

Julio 2018

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos



Diseño e Impresión 3D en cerámica

Autor: Lorenzo Pérez Sánchez
Tutor: Manuel Martínez Torán



Este proyecto cierra una etapa donde he crecido y me he desarrollado como persona y diseñador. Pero ha sido un camino todo menos solitario y se lo debo a muchas personas.

A mis padres, apoyo incesante en los buenos y malos momentos. Me han empujado siempre hacia delante, confiando en mí y en aquello que me gustaba.

A mis amigos y gente querida, porque la unión hace la fuerza y sin ellos no habría evolucionado como lo he hecho. Ahora nos toca demostrar al mundo de lo que somos capaces.

A Manolo Martínez (Fablab Valencia), por poner a disposición las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo y abrir puertas con vista al futuro.

A Juan Carlos Iñesta (Domanises) y Vicente Díez (Díez Ceramics) por haberme acogido como aprendiz de oficio y haber confiado en mí desde el principio, acabado como una familia que está por hacer proyectos increíbles.

1. Introducción	6
2. Inicios de la impresión 3D	6
2.1. Pioneros en la impresión 3D	6
2.2. Otros revolucionarios de la impresión 3D	9
3. Tipos de impresión 3D	11
3.1. Método por Estereolitografía	11
3.2. Método por Sinterizado Selectivo por Láser	13
3.3. Método por Deposición de Material Fundido	15
4. Análisis del mercado de impresoras 3D de cerámica	17
5. Situación actual de la impresión 3D con cerámica	20
6. Puesta en marcha de la impresora	34
6.1. Acondicionamiento del espacio	34
6.2. Desglose de componentes a usar	35
6.3. Guía de preparación	41
6.3.1. Montaje de la Impresora	41
6.3.2. Desmontaje de la impresora	49
6.3.3. Limpieza	53
6.4. Manual de uso de la impresora Wasp	54
6.5. Preparación de archivos 3D	59
6.6. Preparación de archivos Gcode con Cura	60
7. Desarrollo de la masa	64
7.1. Pruebas con la pasta de Wasp	64
7.2. Pruebas con la pasta Diez Ceramic	70
8. Casos prácticos	99
9. Desenlace de la investigación	109
10. Webgrafía	111

1. Introducción

Se propone indagar en la tecnología 3D usando como herramienta una impresora de cerámica. Este novedoso sistema de impresión está aún por descubrir en cuanto a sus posibilidades, en esta investigación se pretende interactuar y ver hasta que límites se puede llevar esta nueva forma de creación.

2. Inicios de la impresión 3D

2.1 Pioneros en la impresión 3D

Para comprender realmente en que consiste esta tecnología empezaremos por el inicio.



Imagen 1. Doctor Komoda

En 1980 el Doctor japonés Hideo Kodoma del instituto de Investigación Industrial Municipal de Nagoya, fue el primero en inventar un método de prototipado rápido mediante un haz único de láser UV. Describió su sistema de la siguiente manera: consiste en una cubeta de material fotopolímero (Sustancia sintética que sufre cambios en sus propiedades por acción de la luz, normalmente ultravioleta, formando una diferenciación física entre las partes que han sido expuestas de las que no lo han sido) el cual se expone a una luz ultravioleta que endurece la pieza y construye el modelo capa a capa. Este invento que hubiera revolucionado en su momento lamentablemente, por un problema de financiación, durante la tramitación de la patente no se cumplió ciertos requisitos en el plazo desde la solicitud y no fue validada.

Algún año después el joven ingeniero electroquímico Alain le Méhauté se encontraba investigando sobre la geometría fractal, se vio obligado a crear un objeto fractal (característico por sus propiedades locales equivalentes a sus propiedades globales) para demostrar a sus colegas que sus ecuaciones eran correctas. El problema era que en 1984 no existía maquinaria que pudiera crear una geometría tan compleja. Fue hablando de esta falta de tecnología con Olivier de Witt, que se encontraba trabajando

con la tecnología láser para Cilas (una filial de Alcatel), que le explicó que cuando dos láseres se cruzan un líquido (monómero) puede convertirse en un sólido (polímero). Siendo una posibilidad para fabricar el objeto fractal.

Sus primeras pruebas no fueron muy concluyentes. Entonces presentaron su proyecto a Jean-Claude André, que era investigador en el CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique). Este aportó la idea de construir el objeto capa por capa y no desde el bloque. Esto fue clave para desarrollar la impresora 3D. Desafortunadamente el CNRS no se tomó el proyecto en serio. Por falta de ecuaciones y por no ver ninguna aplicación empresarial. Sin el respaldo del CNRS fue muy difícil encontrar fondos para continuar con el desarrollo de la máquina 3D, por lo que se vieron obligados a abandonar el proyecto.

Lo que el mundo no sabía era que ya en 1983, un año antes, Chuck Hull en el garaje de su casa de Colorado estaba desarrollando una impresora 3D. Su iniciativa como otras muchas nació de una necesidad.

Chuck en aquel entonces trabajaba en una empresa que hacía revestimientos para mesas y tableros con lámparas ultravioletas, se encontraba continuamente problemas para fabricar las piezas pequeñas de plástico para los prototipos. Propuso en su empresa investigar una nueva forma de fabricación usando rayos UV colocando miles de capas delgadas una encima de otra hasta crear la pieza deseada. Le aceptaron su propuesta y durante sus momentos libres fue desarrollando esta técnica con un precario sistema de prototipado con el que en primer lugar se creaba un molde y posteriormente se inyectaba plástico. Y así poco a poco fue mejorándolo hasta conseguir la primera máquina de prototipado rápido, que denominó como proceso de estereolitografía (SLA).



Imagen 2 Primera pieza impresa, por Chuck Hull

Este consiste en una forma de tecnología de manufacturación usada para la producción de modelos, prototipos, patrones o piezas definitivas. No fue hasta 1984 que patentó el equipo de estereolitografía. En 1986 crea la empresa 3D Systems que se convertiría en la primera compañía de impresión 3D del mundo. En aquel entonces los procedimientos de prototipado requerían de una considerable inversión de tiempo y dinero, con esta tecnología revolucionaría el método tradicional.

Actualmente la empresa comercializa impresoras de estereolitografía (SLA), impresoras de plástico Multijet (MJP), Impresoras de cera Multijet, Impresoras 3D de color, impresoras de metal (DMP) y de siterización selectiva por láser (SLS).

3D Systems ofrece servicio a múltiples sectores, a continuación comentaremos algunos de los proyectos más resaltados.

En el sector aeroespacial han colaborado en varias ocasiones con la NASA. En la misión Mar's Exploring Rover se requerían mecanizar piezas con grosores minúsculos, para su correcto desarrollo se utilizó GibbsCam, un software desarrollado por 3D Systems, que facilitó el entendimiento entre Next Intent (empresa encargada de mecanizar las ruedas para el Rover) y el proyecto Mar's Exploring.

Otra colaboración destacada fue la misión llevada a cabo por Planetary Resources, que pretendía establecer un nuevo paradigma sobre la utilización de los recursos que traerá al sistema solar dentro de la esfera de influencia económica de la humanidad, para ello ha fabricado una nave espacial del tamaño de una caja de cereales. Para su viabilidad requiere de máxima optimización, solo piezas impresas en 3d hacen posible que varias partes sean integradas en una sola pieza, que a través de los métodos tradicionales sería imposible realizar.



Imagen 3 Pieza del EcoJet

En automoción han intervenido con distintas técnicas para proveer a sus clientes las mejores soluciones mediante hardware, software y servicios. Junto al MTI (Metal Technologies Inc) ayudó al equipo de English Racing a producir un nuevo engranaje con patea para disminuir la presión del aceite, esta pieza se había estado intentando fabricar desde hacía dos años pero debido a su alto coste de producción se había ido posponiendo. Mediante el Prox DMP 300 (impresora de metal) el prototipo inicial imprimió en tan solo 5 horas.

Gracias a la ingeniería inversa y la impresión 3D se pueden generar piezas finales, fue el caso con el comediante Jay Leno, coleccionista de coches clásicos, que gracias a esta tecnología se pudo restaurar uno de los respiraderos de su EcoJet.

En el sector de la salud la tecnología 3D está revolucionando por aquello de poder fabricar dispositivos y herramientas completamente personalizadas, sin alcanzar un coste desorbitado.

3D Systems ha colaborado con cirujanos, profesionales sanitarios y fabricantes de dispositivos médicos ofreciéndoles una amplia gama de soluciones sanitarias de precisión, tales como simuladores de realidad virtual, modelos anatómicos impresos en 3D, planificación quirúrgica virtual, guías quirúrgicas específicas para el paciente, instrumentos e implantes. Han colaborado con el Dr. George Frey usando tecnología que facilita la colocación de tornillos para tratar parálisis de la espina dorsal, 3D Systems se ha asociado con proveedores de dispositivos médicos que representan a una amplia gama de procedimientos para prácticamente todos los aspectos de la anatomía humana.

En odontología gracias a escáneres, software y materiales 3D se están abriendo innumerables flujos de trabajo. Esta empresa proporciona la tecnología necesaria para fabricar prótesis, implantes, ortodoncias y dentaduras postizas de alta fidelidad.

No menos importante esta empresa apuesta por la formación de jóvenes y colabora en proyectos de distintas instituciones formativas. 3D Systems se encargó de crear paquetes educativos basados en software CAD/CAM para la formación del KCCI (Instituto de formación profesional de Corea). Esto condujo, tras un proceso de evaluación, a una unificar la diversificación de los distintos software. Porque no hay mejor estrategia que formar a quienes en el futuro deberán usar tu tecnología.

2.2 Otros revolucionarios de la impresión 3D

Volviendo un poco atrás, presentamos a Carl R. Deckard, fue a quién se le ocurrió la idea del SLS como estudiantes en la Universidad de Texas en Austin. Continuó desarrollándola junto al Doctor Beaman, que era el investigador principal, hasta que recibieron una subvención de 30.000 dólares de la National Science Foundation para avanzar en la tecnología, fue cuando construyeron la máquina llamada "Betsy". Llegado a este punto, las piezas que salían de la máquina eran lo suficientemente buenas como para usarlas como patrones de fundición para piezas reales. En 1987 el equipo de investigación de UT formó la primera compañía de SLS llamada Nova Automotion. La carrera en la universidad de Deckard fue paralela a su carrera comercial. Mientras en la universidad se dedicó a investigar y producir en Nova Automation trabajó en la mejora de la tecnología para su uso comercial. Más tarde, en 2001 3D System compraría la empresa por 45 millones de dólares.



Imagen 4 Deckard y Joe Beaman en el Austin American-Statesman

Un absoluto punto de inflexión en técnicas de impresión 3D fue de la mano de Steven Scott Crump, el inventor del modelado por deposición fundida (FDM). En 1989 inventa y patenta esta tecnología junto a su esposa Lisa Crump. En este mismo año funda Stratasys junto a su mujer. Actualmente tiene como asociados GrabCAD (comunidad donde ingenieros, estudiantes y diseñadores comparten modelos 3D, tutoriales, cualquier tipo de información en torno al mundo de la impresión y modelado 3D), MakerBot (empresa que fabrica impresoras 3D accesibles al usuario medio, nacida en Nueva York en 2009 vendida en 2013 por 403 millones de dólares a Stratasys), SolidScape (empresa dedicada a fabricar impresoras de alta precisión, ideales por permitir la impresión de modelos de cera ideales para aplicarlos a la fundición a la cera perdida y fabricación de moldes).

Crump está detrás de los primeros trabajos sobre otra innovación utilizada por las máquinas FDM, el filamento de plástico ABS. Este permite a los ingenieros formular piezas totalmente funcionales que tienen hasta el 75% de la resistencia de una pieza modelada real.

3 Tipos de impresión 3D

A continuación explicaremos los distintos tipos de impresión 3D para comprender un poco mejor las técnicas con las que podremos contar hoy en día.

3.1 Método por Estereolitografía

Comenzaremos por la comentada, la estereolitografía o también conocida por SLA (diminutivo de *stereolithography*). Es la técnica de prototipado y fabricación rápida más antigua. La primera persona conocida en usar esta tecnología fue el Doctor japonés Hideo Kodoma, aunque el que posee la patente como inventor es el estadounidense Chuck Hull.

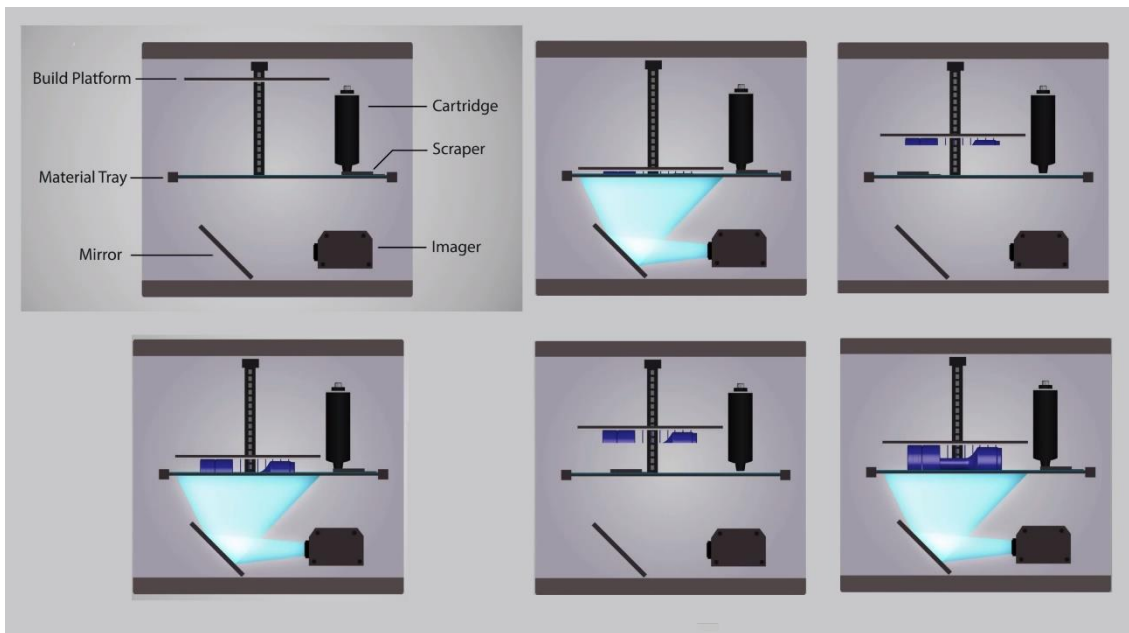


Imagen 5 proceso de la impresión SLA

Este proceso de fabricación por adición que emplea resina que cura (es decir, que se genera una superficie cerrada) mediante luz ultravioleta en un tanque, y un láser ultravioleta para construir los objetos. Estos objetos en tres dimensiones son obtenidos mediante la adición de finas capas, impresas una sobre otra. Cada capa representa una sección transversal del objeto que el láser traza en la superficie de la resina, que es el material consumible. La resina líquida cura y se solidifica mediante la exposición al láser de luz ultravioleta, quedando así la capa recién solidificada pegada a la capa previa que existía debajo de ella. A continuación la plataforma de elevación del equipo asciende una distancia equivalente al grosor de una capa de resina solidificada. Una barrera a modo de limpiaparabrisas barre la pieza dejando una nueva capa de resina líquida uniforme en la superficie de la cubeta, lista para la siguiente capa. De esta forma se va creando capa a capa una pieza tridimensional. Una vez que la pieza tridimensional se ha completado, esta se sumerge en un baño químico que retira el exceso de resina y, posteriormente, curada en un horno de luz ultravioleta.



Imagen 6 Cámara impresa al completo mediante SLA usando distintas resinas

Como muchos otros métodos de impresión 3D, la estereolitografía necesita estructuras para soportar la pieza a la plataforma de elevación, con esto se consigue evitar la deflexión o deformación de la pieza. Estos soportes están posicionados en salientes, estructuras internas o huecos, que posteriormente serán retirados.

Esta técnica reluce por su rapidez. Los objetos funcionales que se producen dependiendo de su dimensión y complejidad pueden variar de una impresión de unas horas a más de un día. Otro gran beneficio de esta técnica es su acabado de gran calidad, siendo mejor del que se obtiene mediante SLS. Además si una vez impreso se limpia bien como es indicado hacerlo (de lo contrario dejaría una superficie pegajosa) se obtiene un acabado suave y sin restos de polvo.

Mediante la estereolitografía las piezas que se obtienen poseen una dureza apta para ser mecanizadas post impresión. También son viables para usarlas como moldes maestros para moldeo por inyección, termoconformado, moldeo por soplado y algunos procesos de forja. También ofrecen una ventaja frente a otras técnicas de impresión por su poca porosidad, siendo impermeables al agua o aire. Aunque si son sensibles tanto a la humedad ambiental como a la temperatura, pero existen procesos que remedian estas debilidades.

En este tipo de impresión se usan resinas más frágiles y menos flexibles que en el sinterizado láser (SLS). Un inconveniente específico de esta tecnología es dado que son resinas fotosensibles, es decir, se curan con luz ultravioleta. Debido a esto, las piezas recién impresas tienen un grado de curado que les aporta una dureza y resistencia concretas, pero dichas propiedades cambian a lo largo del tiempo por la luz ultravioleta recibida del ambiente, haciéndolas cada vez más frágiles.

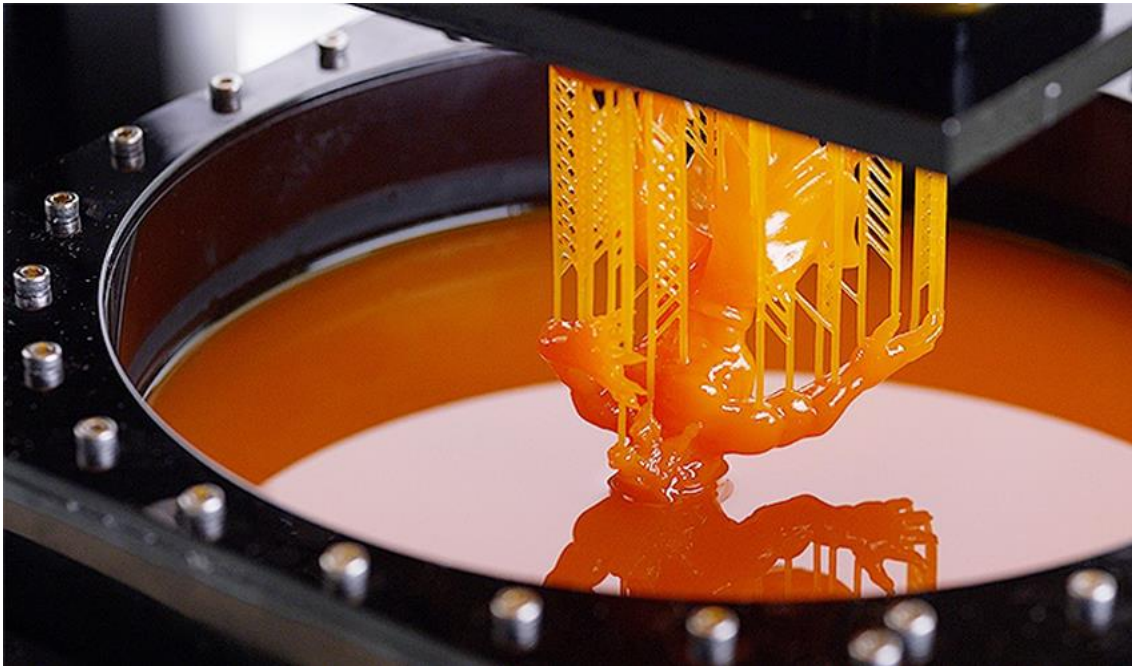


Imagen 7 Pieza recién impresa mediante SLA

3.2 Método por Sinterizado Selectivo por Láser

·La siguiente técnica de impresión 3D a comprender será el método SLS (siglas del término en inglés *selective laser sintering*, que en español sería Sinterizado selectivo por láser). Como ya hemos explicado fue desarrollada y patentada por Carl Deckard y el profesor investigador Joe Beaman.

El funcionamiento para la impresión de objetos mediante SLS requiere el uso de un láser de alta potencia (normalmente un láser de CO₂) el cual se encarga de fusionar pequeñas partículas.

Este tipo de impresión al usar material en formato de polvo abre muchas más posibilidades de fabricación, siendo posible imprimir en plásticos, metales, cerámicas o incluso cristal.

El láser funciona fusionando de forma selectiva el material en forma de polvo en una cubeta mediante el barrido de finas capas transversales que van generando el objeto. Una vez que la sección transversal o capa se va formando, la cubeta de polvo descende una distancia equivalente al espesor de la capa formada, y una nueva capa de material base es añadida a la superficie. El proceso se repetirá tantas veces como capas se necesiten fundir para crear el objeto tridimensional deseado.

La densidad de cada pieza dependerá más de la potencia pico del láser que de su duración. Los equipos SLS usan un láser de pulso, esto quiere decir que es un láser que emite luz en forma de pulsos, al contrario que los láseres que emiten luz de manera continua. Los láseres de pulso o pulsados emiten pulsos de muy corta duración, hasta unos pocos femtosegundos, aun ritmo de miles de pulsos por segundo.

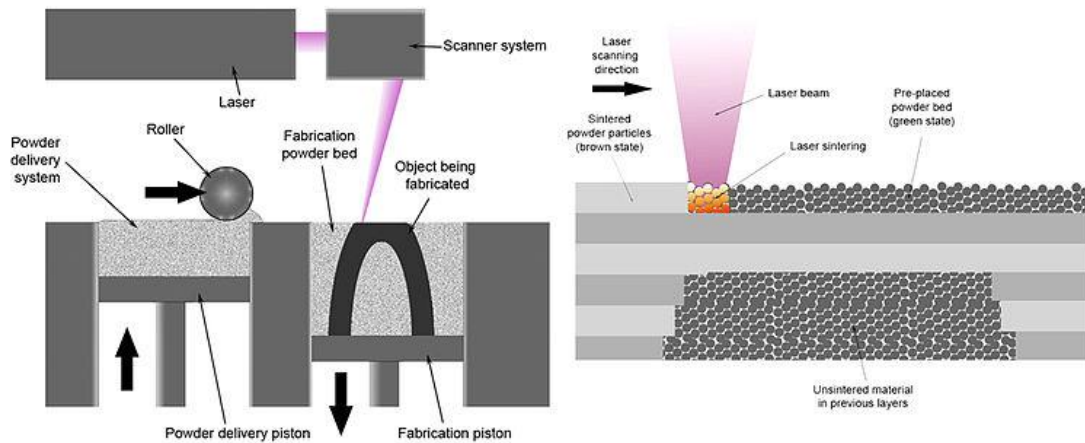


Imagen 8 Funcionamiento de impresora SLS

El equipo SLS precalienta el material polvo base en la cubeta a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión de dicho material. De esta forma hace que la fusión del material por calentamiento sea más sencilla.

En comparación a otros procesos de fabricación por adición, como la estereolitografía y deposición de hilo fundido, la sinterización selectiva por láser no necesita de soportes ya que la parte sinterizada está todo el tiempo rodeada de polvo sin sinterizar que actúa de soporte.

Algunos equipos SLS usan un polvo de un único componente, como en el sinterizado directo de metal por láser. Sin embargo, la mayoría de equipos utilizan un polvo bi-componente (polvo recubierto o una mezcla de polvos).

Como ya hemos comentado en comparación con otros métodos de fabricación por adición, el SLS puede producir piezas a partir de un rango relativamente amplio de materiales de polvo. Estos incluyen polímeros como el nailon puro o con fibras, poliestireno, metales (como aceros, titanio, aleaciones y compuestos) y cerámica.

El proceso químico puede conllevar un fundido completo, parcial o sinterizado en fase líquida. Dependiendo del material se pueden conseguir piezas con densidades hasta puras del material en cuestión, obteniéndose una pieza comparable a métodos tradicionales.

La expansión de esta tecnología se debe a la capacidad de fabricar piezas con geometrías complejas directamente de los modelos digitales CAD. Empezó como método de obtención de prototipado rápido pero hoy en día se está usando cada vez más para la producción de tiradas cortas y personalizadas de piezas para su uso final.

Al tratarse de una poliamida sus características mecánicas son próximas a las que corresponderían al material definitivo. Además por sus características soportan temperaturas más elevadas que en el caso de la SLA.

3.3 Método por Deposición de Material Fundido

La tercera Impresión que procedemos a explicar es la técnica FDM (Impresión por deposición de material fundido) como fue registrado por Stratasys o como lo denominaron los miembros de RepRap, huyendo de las patentes registradas, FFF (Fabricación por Fusión de Filamentos). Este proceso de impresión 3D funciona mediante el uso de filamento continuo de material termoplástico, esto quiere decir que se vuelve flexible o moldeable cuando se supera una temperatura concreta y que una vez se enfría se solidifica.

El filamento normalmente viene almacenado en bobinas, de modo que el extrusor se alimenta continuamente de material. El cabezal posee un motor con un engranaje que va capturando el filamento, de modo que se tiene un control de la velocidad de impresión y te permite la retracción de material, por ejemplo cuando se realizan desplazamientos donde no se quiera imprimir. Este motor se encarga de empujar el filamento hacia el cabezal de impresión. En el cabezal de impresión se encuentra un motor que va tirando del filamento que va introduciendo en el extrusor donde se encuentra la resistencia que se encarga de calentar el filamento que irá entrando en la boquilla, el material fundido es expulsado por esta y se deposita en la cama de impresión y posteriormente en la capa de trabajo. Las camas de impresión generalmente tienen una resistencia que hace que se puedan calentar al igual que el extrusor, las impresoras con cama caliente, esto facilita que la primera capa de la pieza a imprimir se adhiera mucho mejor evitándose que se desprenda durante la impresión. De no tener cama caliente se recomienda extruir a mayor temperatura para facilitar la adherencia a la base.

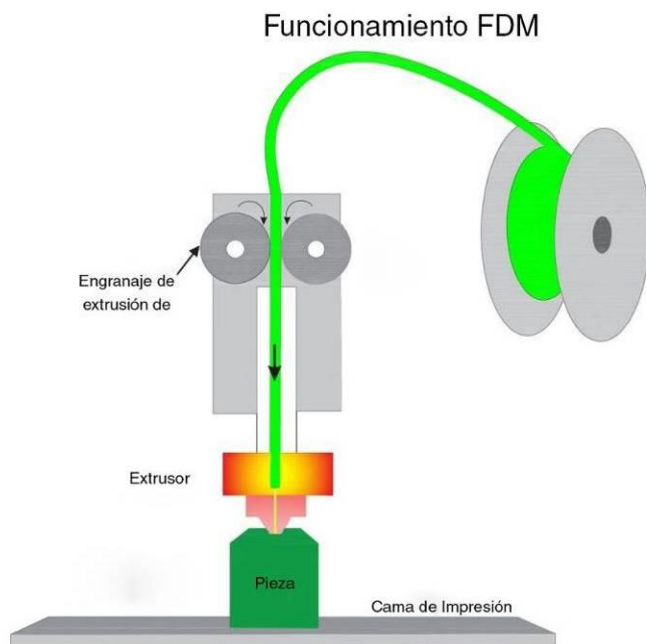


Imagen 9 Funcionamiento de impresora FDM

Por lo general, la cabeza funciona mediante capas, moviéndose primero en dos dimensiones para depositar en el plano horizontal XY, a continuación se moverá ligeramente en el eje vertical Z para imprimir la siguiente capa, esta distancia vendrá determinada por la altura de capa definida.

Hay dos tipos de estructuras de impresoras FDM, la Cartesiana y la Delta.

La primera, el extrusor imprime moviéndose en los ejes XY o XZ y la cama se desplazaría en Z o en Y, respectivamente. Estas impresoras generalmente son fáciles de calibrar, tienen una considerable de recursos opensource y hay gamas para nivel usuario.

En el caso de las impresoras Delta, posee una cama circular fija y el extrusor se encuentra suspendido sujetado por tres brazos articulados que se deslizan hacia arriba y abajo. Estas impresoras ofrecen mayor velocidad de impresión y gran definición, pero son tediosas de calibrar al principio.

En la investigación que se procede a desarrollar se usará como herramienta una impresora con funcionamiento base de una FDM, en cuanto a forma de impresión por filamento que en nuestro caso en vez de plástico consistirá un hilo de porcelana obtenido por extrusión del material.

·Por último hablaremos de las impresoras Multijet Printer (MJP). Funcionan por un proceso de impresión donde el cabezal deposita capas de resina de plástico fotocurable o de cera de fundición. MJP se utiliza para construir piezas, patrones y moldes con todo tipo de detalles. Una gran ventaja es la sencilla eliminación de los soportes, impresos en cera, que incluso las partes más internas y complejas se limpian a fondo sin dañarlas.



Imagen 10 Piezas impresas mediante MJP, donde las partes blancas son de cera y las azules de resina

Algo por lo que realmente resaltan estas impresoras es su capacidad de ser usadas para aplicaciones de fundición inversa directa, esto para el sector de joyería, dental, médico y aeroespacial abre una puerta muy interesante, por disminuir gastos y tiempo.

4 Análisis del mercado de impresoras 3D de cerámica

Hoy en día la información libre que circula por internet es inmensa y en el sector de impresión 3D hay infinidad de foros y plataformas donde puedes documentarte desde configuraciones entorno a la impresión hasta fabricarte tu propia impresora. Por lo que la mayoría de diseñadores e investigadores se están haciéndose sus propias impresoras de cerámica. Pero cierto es, que las pocas empresas que distribuyen impresoras 3D de cerámica te ofrecen un producto de mayor calidad.

Wasp

Hablamos de en primer lugar de Wasp. Esta empresa con sede en Ravena (Italia) se dedica a la fabricación y distribución de impresoras 3D de pequeño y gran formato. A parte de venta de maquinaria dedica gran parte de su esfuerzo a la investigación. Uno de sus proyectos más resaltables se trata de la impresora de 12 metros de alto pensada para fabricar casas con materiales que se puedan encontrar en la zona de construcción, de la que hablaremos a continuación. De este proyecto, surgió la necesidad de estudiar su viabilidad a menor escala, por lo que se hizo un prototipo usando un material similar siendo este la cerámica. Así es como fabricaron el primer modelo de la impresora que hemos usado en nuestro proyecto, la Delta Wasp 2040 con el extrusor LDM, este se caracteriza por poder regular el flujo y por eliminar las burbujas de aire atrapadas en la masa evitando así que las piezas se rompan durante la cocción. El precio de la impresora Wasp Clay con área de impresión 20 cm de diámetro por 40 cm de alto es de 3000 €, con la posibilidad de obtener solo el kit del extrusor por 650 € y acoplarlo a otra impresora tipo delta gracias a su compatibilidad con otras marcas.



Imagen 11 Delta Wasp Clay

StoneFlower

Otra empresa que se dedica a la distribución de impresoras 3D para cerámica es Stone Flower, la tecnología usada es FDM también con un rango de boquillas que te permiten una altura de capas desde 0.5 mm hasta los 3 mm si se quiere un rendimiento máximo. La salida al mercado de esta empresa se hizo oficial a principios de 2018. La impresora comercializada es la StoneFlower 2.0 Multimaterial y tiene un precio de mercado de 4299 €, su volumen de impresión es de 50x50x50 cm. La característica llamativa del extrusor que han desarrollado es que aparte de imprimir porcelana y yeso te permite impresión de cera incluso de alimentos. Es un proyecto que nació gracias a kickstarter.



Imagen 12 FlowerStone 2.0 Multimaterial Printer

3D Potter (Deltabots)

La siguiente empresa de la que hablamos es de las primeras en comercializar impresoras de cerámica, se trata de 3D potter de Deltabots. Esta empresa con sede en Florida lanzó a principios de 2015 la Potter Clay 3D que se caracterizaba por su extrusora RAM constante. En los nuevos modelos usan una configuración cartesiana, donde se realiza un movimiento de la base en X e Y mientras la extrusora asciende y desciende en el eje Z. Actualmente posee cuatro modelos que van desde los 3000 € hasta cerca de los 6000, variando volumen de impresión y rendimientos.

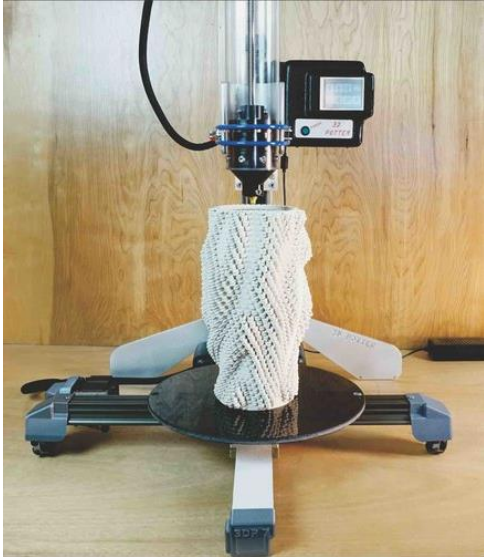


Imagen 13 3D PotterBot

VormVrij

De quién hablamos a continuación persigue unos valores comerciales basados en la sostenibilidad y la fomentación de la interacción humana con las cosas físicas. La empresa está formada por dos diseñadores procedentes de la DAE, después de probar una época en un estudio de diseño decidieron cambiar radicalmente sus vidas para crear una ONG en África. Unos años después se fueron a los Países Bajos pero esta vez desde un punto de vista más funcional. Fue entonces cuando desarrollaron la impresora 3D de cerámica, con la idea de solventar los problemas del desecho que general una de plástico. Siendo la arcilla una materia natural inmediatamente reciclable y obtenido localmente. A parte los objetos creados son productos finales, duraderos y pueden ser funcionales. Ahora mismo comercializan tres impresoras, la mayor tiene un volumen de impresión de 45x44x74 cm. La tercera que comercializan posee dos extrusores, permitiéndote imprimir con dos materiales. La pequeña ronda los 6000 € mientras la grande y la que tiene dos extrusores pasan los 7000 €.



Imagen 14 Impresoras Lutum

5 Situación actual de la impresión 3D con cerámica

Nuestro tema de análisis se centra en una revolucionaria técnica de producir objetos en cerámica mediante impresión 3D, cuando se dice nueva quiere decir que lleva dándose unos años y no unas décadas como el resto de técnicas de impresión. A continuación procedemos a mostrar todo el movimiento que se está generando alrededor de esta alternativa de diseño y creación, donde se han visto atraídos diseñadores, artistas, ingenieros, investigadores, artesanos o simplemente gente curiosa.

Gianluca Pugliese

Empezaremos por Gianluca Pugliese, diseñador e investigador para *Wasp*. Su trabajo está lleno de innovación y desarrollos de nuevas técnicas de representación. Es uno de los creadores de la extrusora LDM para la impresora de cerámica, a partir de la cual ha profundizado en el campo de los posibles materiales destinados a ser usado en la *Wasp Clay*.

A destacar es su proyecto con la impresión de luz. Esto funciona con una impresora Delta WASP Turbo a la cual se acopla un extrusor de luz que Gianluca ha creado. Básicamente es un extrusor LED RGB permitiendo elegir el color de la luz; Para representarlo habrá que posicionar una cámara en frente de la máquina en modo Bulb (esto es cuando el obturador de la cámara queda abierto, permitiendo la entrada de luz hasta que se desee) con la finalidad de hacer una larga exposición, de forma que quede registrado todo el recorrido del LED. Siendo capaz de generar geometrías increíbles.

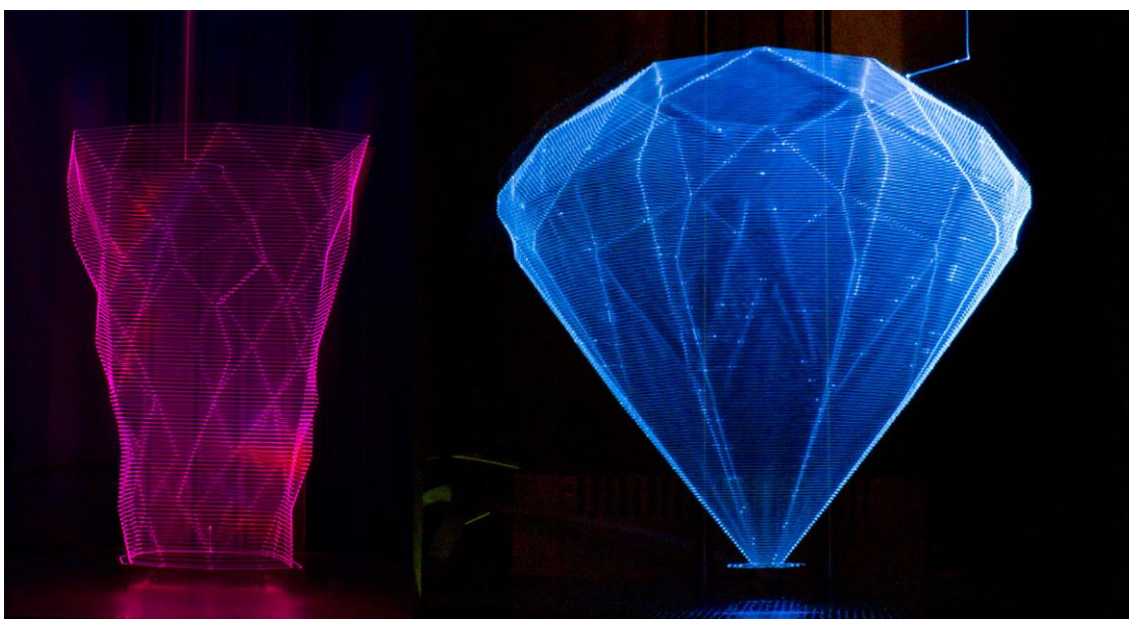


Imagen 15 Impresión con luz, por Gianluca Pugliese

Otro proyecto conjunto con *Wasp* es una impresora 3D de 12 metros de altura pensada para imprimir casas circulares de 6 metros de diámetro y hasta 4 de alto. Las piezas de esta impresora no superan los 3 metros, para su fácil transporte. Está pensado para poder funcionar con paneles solares, para poder acceder a zonas donde no haya fuentes de electricidad y sea totalmente sostenible. Esta máquina puede usar varios tipos de materiales, pero ha sido ideada para usar materiales del terreno y paja, aunque aún se está definiendo este factor para crear el material más viable.



Imagen 16 Construcción de casa de adobe, por Wasp



Imagen 17 Concepto de casa de adobe, por Wasp

Su objetivo principal, es que sirva para la construcción en zonas tras una catástrofe u otro lugar donde se requiera el realojo de personas de forma urgente. Esto es posible con una inversión de 48 euros, 1 semana de construcción y la mano de obra de dos personas.

Sin embargo el proyecto más contribuyente a la causa de este proyecto es el extrusor de cerámica desarrollado con Wasp, ya que es el usado en esta investigación.

El LDM (liquid deposit modeling) es como se llama este extrusor, adaptable a la mayoría de las impresoras 3D. El extrusor se compone de un motor que se encarga de rotar un sistema giratorio formado por un rodamiento que hace girar el tornillo extrusor; Una vez entra el material por un lateral del tornillo este va arrastrándolo hacia abajo en sentido horario, una vez en la punta sale al exterior por una boquilla de 1.2 mm. Este extrusor funciona mediante un depósito a presión, que expulsa el material a través de un tubo conectado a este. Más adelante se tratará en profundidad el funcionamiento exhaustivo de la impresora.

Investigando con este material, Gianluca quiso rediseñar el clásico botijo (usado para mantener refrigerada el agua, mediante la expulsión de esta por los poros del recipiente) aportándole una nueva imagen sin perder su funcionalidad. Para conseguir la porosidad necesaria para que cumpla su función refrigerante usó una mezcla compuesta de cerámica, celulosa y papel; al hornearlo el papel es eliminado y se obtienen los poros requeridos.



Imagen 18 Botijo impreso en cerámica con celulosa

Oliver Van Herpt

Pasamos a uno de los principales referentes mundiales de la impresión 3D, por ser de los pioneros y por su innovativa al crear sus diseños y conceptos. Se trata del holandés, Oliver Van Herpt.

Este diseñador industrial asentado en Eindhoven se dedica a investigar usando tecnología, diseño y artesanía. Para ello se construye sus máquinas y desarrolla métodos para cada uno de sus proyectos.

Para Solid Vibrations colaboró con Ricky van Broekhoven. Ricky se es especialista en diseño de sonido, suele crear paisajes a partir de ruidos inspirados en ideas que le pasan por la mente. Combinando impresión 3D con estos sonidos traídos de la naturaleza, en este proyecto pretenden encapsular una canción como un sonido en un objeto, quedando grabado para siempre. Esto lo consiguen usando las vibraciones de los sonidos para crear formas en la impresora 3D. Para ello pusieron como base de la impresora un altavoz y así se producirían patrones de Moiré.



Imagen 19 Patrones creados mediante vibraciones



Imagen 20 Pieza impresa en 3d con patrones de Moiré

Otro de sus proyectos a destacar lo realizó en una comisión especial para COS. Olivier creó una colección de cinco jarrones impresos en cerámica en 3D, que se han expuesto en las tiendas COS de Berlín, Estocolmo, Londres, Rotterdam y New York.



Imagen 21 Algunas de las piezas diseñadas para COS

Taekyeom Lee

Otro grande de la impresión 3d en cerámica se trata del profesor Taekyeom Lee, actualmente es profesor asistente de Diseño Gráfico en la Universidad Estatal de los Apalaches en Boone, Carolina del Norte. Su encuentro con la tecnología 3D surge con su exploración de crear una nueva forma de diseñar tipografías tangibles en el espacio tridimensional. Como parte de la investigación, construyó una impresora 3D y diseñó sus extrusoras de pastas para producir objetos y tipos con cerámica. Esto le ha convertido en uno de los iconos mundiales de impresión 3D en cerámica.



Imagen 22 tipografías diseñadas por el Profesor Lee

Como parte de su investigación explora métodos no convencionales para crear tipos tridimensionales con materiales y técnicas innovadoras. Su inquietud por adentrarse a explorar nuevos materiales y nuevas formas de expresión nace sobre su incertidumbre de no saber dónde pertenece la tipografía en la era post-digital. El profesor Lee dice, “El debate se centra en un cambio de paradigma en las artes con respecto al desarrollo de la tecnología, ya que el entorno digital emocionante y rápidamente cambiante lo afecta. Hoy en día, la convergencia tecnológica y los nuevos procesos de fabricación utilizando Controles Numéricos de Computadora, como la impresión 3D, fresado CNC, y el corte con láser han ampliado las posibilidades creativas y la percepción de la experiencia tridimensional para artistas y diseñadores. Estas nuevas tecnologías han introducido nuevas herramientas para superar los límites del medio, tanto en términos de concepto como de materialidad. En respuesta a este movimiento, mi investigación infunde la impresión 3D y el diseño digital en el campo de la tipografía y la cerámica. Sin embargo, en un sentido amplio, mi investigación tiene el objetivo de desarrollar, probar y encontrar el lugar de las tecnologías emergentes en el proceso de diseño y las prácticas creativas.”



Imagen 23 Interpretación de la letra W, por Taekyeom

Esta filosofía que propone Taekyeom crea una conexión directa con el proyecto que aquí de desarrolla, siendo el arte manual de la tipografía equivalente al oficio artesanal de la cerámica que se pretende relacionar al mundo digital en nuestro caso.

Tom Lauerman

Seguimos con Tom Lauerman, es profesor de cerámica y escultura en la Escuela de Artes Visuales de la Universidad Penn Sate. Tom venía interesándose por la impresión 3D desde que vio a Tony Hepburn en 1999 hablar de esta tecnología, pero hasta nueve años después no tuvo contacto con una de plástico, más adelante compró una MkarBot Replicator 2 con la universidad y ahí empezaría a investigar exhaustivamente. En 2014 se construyó su propia Prusa i3 con la que imprimió cientos de piezas en plástico. Ese año conoció al británico Potter Jonathan Keep que comenzó un foro llamado “Make your own Ceramic 3D Printer” (Crea tu propia impresora 3D de cerámica). Fue entonces cuando el profesor Laurman se propuso alejarse del plástico y comenzar a investigar con la arcilla, ya que la impresión 3D le seguía entusiasmado por la herramienta que suponía para un artista.



Imagen 24 La misma pieza impresa, a la izquierda en 2015 y a la derecha en 2018



Imagen 25 Pieza impresa por Tom Laverman

Tom Laverman, sigue investigando con materiales, técnicas y nuevas mejoras de la propia máquina. Una faceta honorable es que toda esa información la hace llegar a sus alumnos, haciéndolos partícipes de sus proyectos y compartiendo todos sus frutos en su blog personal.

Francesco Pacelli

Hablamos del artista Francesco Pacelli, que viene colaborando con la empresa de impresión 3D Wasp explorando e investigando los posibles procesos y aplicaciones para la impresión con cerámica. Ha sido uno de los encargados del desarrollo del extrusor LDM (Liquid Deposition Modeling), de materiales cerámicos potencialmente extruibles y diversos parámetros de impresión para obtener piezas 3D funcionales.



Imagen 26 Francesco Pacelli, Manglar de metal, 2015, cerámica y reducción de fuego total.

Pacelli reflexiona, "Todo el arte ha sido contemporáneo. Realmente creo en el desarrollo de conceptos y pensamientos que combinan las técnicas más novedosas y las herramientas actuales, sin olvidar las más antiguas, que mezclan lo digital y lo analógico, lo virtual y lo físico, la fe y la ciencia. Como artista, intentaré comunicar la importancia de compartir ideas, técnicas y mentes, como parte fundamental del proceso evolutivo del conocimiento."

Esta visión sobre la comunicación existente entre tecnología y lo analógico, lo virtual y lo tangible es la filosofía que se pretenderá inculcar en este proyecto como propuesta a lo establecido actualmente, en la amplia mayoría de casos, en el mundo 3d y la era digital.



Imagen 27 Francesco Pacelli, Pyromania, 2015, cerámica y reducción de fuego total

Jonathan Keep

Debemos de hablar de este alfarero y artista no solo por su obra cerámica en 3D, también por su exploración y análisis de la comunidad y la experiencia de esta como seres vivientes y cultura. Keep se considera alfarero en apoyo de la aceptación gradual de la cerámica en el arte contemporáneo occidental dominante. Comenzó su carrera artística en Sudáfrica cuando el arte europeo sufría escepticismo.

Su trabajo se basa en cuestionarse la realidad del arte y la cultura como la concebimos. "Intento explorar la relación entre naturaleza y cultura; la relación entre lo que hacemos, por qué lo hacemos y los recursos y procesos utilizados para hacer, como una exploración para comprender nuestra existencia." afirma el artista.

Keep da numerosos workshops, exposiciones e investiga sin parar. Explicamos algunos de sus proyectos. Sound surface, son vasijas generadas a partir de sonidos. Esto se consigue codificando un espacio virtual para ir formando una espiral que crece en forma de jarrón creando una malla tridimensional. La superficie de la malla adquiere textura progresivamente al reproducir los sonidos digitales, haciendo que la pista vaya ascendiendo en forma de espiral por el mallado base.

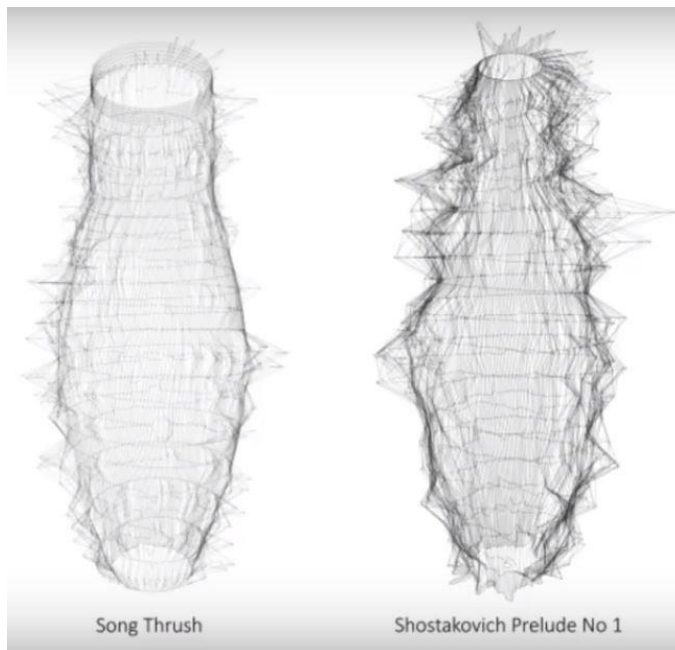


Imagen 28 Representación del sonido en las vasijas

Convirtiéndose la superficie, desde la base hasta el borde, en una representación del tono y el ritmo de la música. La duración de la canción determina la altura del jarrón. La diferencia del ritmo y el volumen de cada secuencia de sonido cambian la textura y forma básica de cada jarrón como se observa en las imágenes.



Imagen 29 Benjamin Britten Four Sea Interludes

Otro proyecto interesante desarrollado por Jonathan se trata de Seed Bed. Basada en la función matemática de Armónicas esféricas, este trabajo se relaciona con el concepto fundamental de morfologías evolutivas y crecimiento creativo. Generando en el ordenador código, el método de trabajo se presta a alterar el código que te permite crear formas relacionadas y con una evolución. Las armonías esféricas son importantes en muchas aplicaciones teóricas y prácticas, particularmente en el cálculo de configuraciones de electrones orbitales atómicos, en los planetas y en las estrellas.

De modo que el hecho de que no sean exactamente la forma de las semillas, existe una representación de sus características en las piezas.



Imagen 30 colección Seed bed

Unfold Studio

Seguimos nuestra exploración por los referentes de la impresión 3D en cerámica, sin duda el estudio belga Unfold Studio. Fundado en 2002 por Claire Warnier y Dries Verbruggen, graduados en diseño por la Design Academy Eindhoven, desarrollan proyectos donde investigan nuevas formas de crear, fabricar, financiar y distribuir en un contexto cambiante. Un contexto en el que vemos una fusión de aspectos de la economía artesanal preindustrial con métodos de producción industrial de alta tecnología y redes de comunicación digital. Un contexto que tiene el potencial de cambiar el poder, desde los productores industriales y aquellos que regulan la infraestructura hasta el diseñador individual y el consumidor.

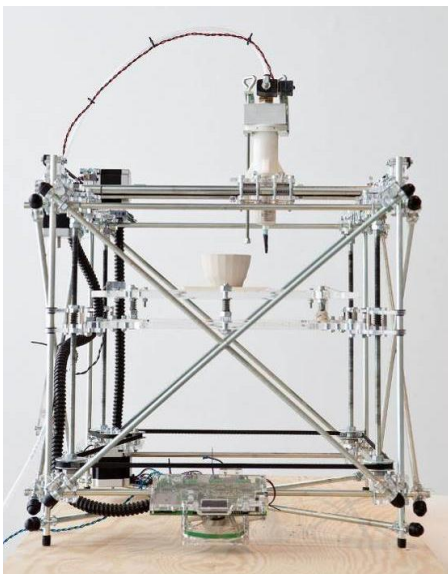


Imagen 31 Impresora de cerámica fabricada por el estudio

En el estudio se fabricaron su propia impresora de cerámica en 2009, esta es usada como herramienta para desarrollar alguno de sus proyectos. Durante mucho tiempo los instrumentos de producción eran sistemas cerrados. Esto está quedando en el pasado, ya que con un ordenador y algunos bienes de los avances tecnológicos, han dado paso al fabricante personal que ha provocado el renacimiento de la idea de hacer tus cosas propias. Esta nueva especie de diseño, artesanía semi-industrial, y aunque artesanía normalmente se refiere a trabajar con las manos, en este contexto refleja un interés renovado en la construcción del conocimiento a través de la repetición y la práctica de un oficio calificado utilizando la ayuda de herramientas.

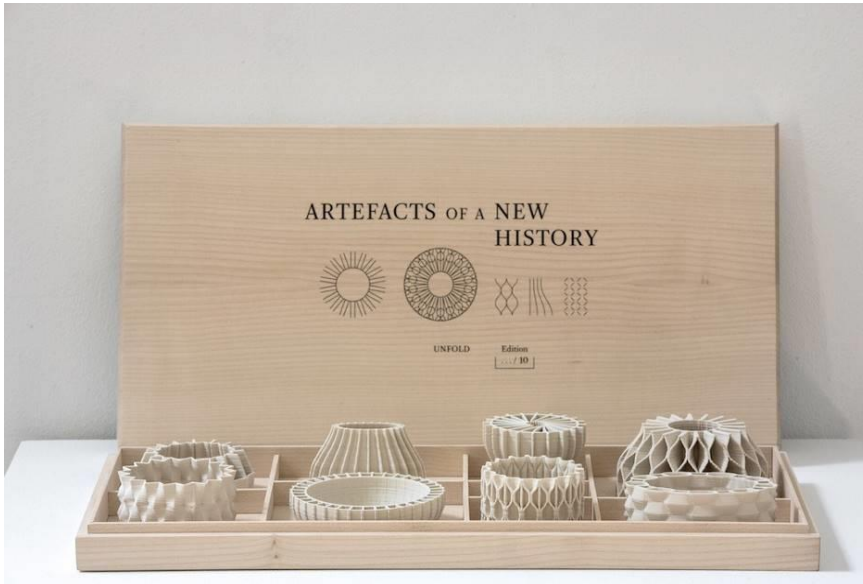


Imagen 32 Colección de piezas impresas en 3D

En el estudio hacen investigaciones con distintas técnicas tanto de impresión 3D, como de soplado de vidrio como virtual. Juegan con los sentidos y pretenden crear un entendimiento con los usuarios interactuando con ellos.



Imagen 33 Proyecto The Peddler

Uno de sus proyectos más interesantes se trata de L'Artisan Electronique, donde colabora el estudio con Tim Knapen para investigar la intersección entre artesanía y la fabricación digital. El proyecto se compone de un torno de alfarero digital, conectada a una impresora 3D. Una vez comienza a girar la figura base virtual, el usuario podrá modelar la pieza torneándola con la mano, esto se efectua pasando la mano por un láser. El modelo creado, sin ni siquiera haberte manchado las manos, se envía a la impresora 3D de cerámica la cual fabricará la pieza diseñada. Este impactante trabajo se ha expuesto en Abu Dhabi Art (Abu Dhabi), en el Museum of Arts and Design (New York), en Le Lieu du Design (Paris) y en números sitios emblemáticos.

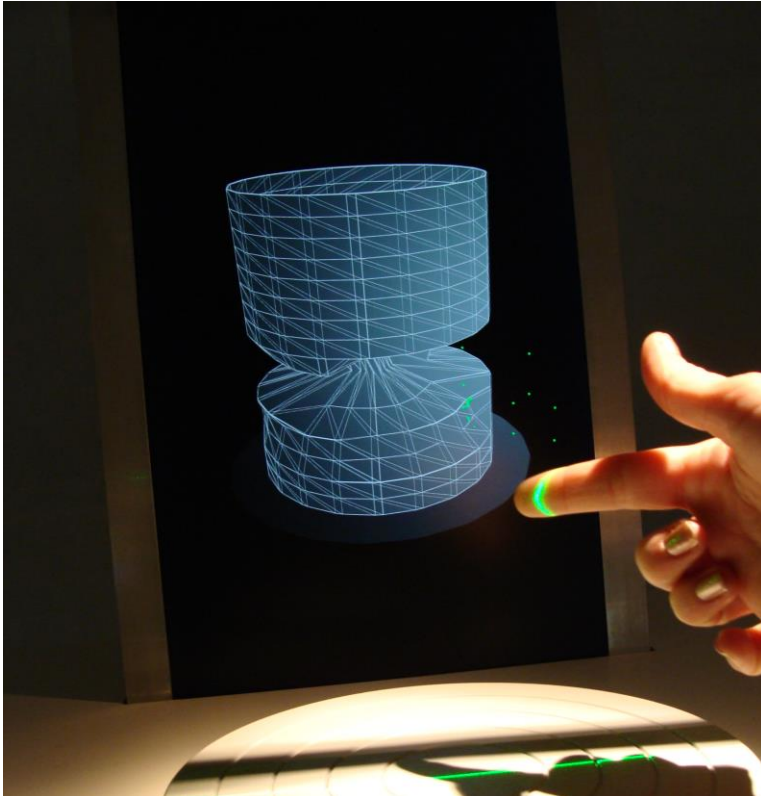


Imagen 34 Proyecto L'Artisan Électronique

Alterfact

La siguiente fuente de inspiración también salido de la Design Academy Eindhoven, son el estudio Alterfact situados en Australia. Se trata de un estudio de diseño experimental creado por Lucile Sciallano y Ben Landau en 2014. Desde que se graduaron en Eindhoven han trabajado conjuntamente en varios proyectos mediante diferentes medios. Su colaboración culminó con la creación del estudio, una plataforma donde exploran temas del presente y del futuro y los traducen en experiencias, instalaciones y objetos. El estudio realiza investigaciones críticas con materiales y datos traducidos a través de la fabricación de todo tipo de cosas. Actualmente el estudio se centra en el uso de la impresión 3D con arcilla para producir pequeños lotes de productos. Su estilo se basa en buscar los límites de esta herramienta generalmente usada con plástico, y juegan con sus connotaciones de utilitarismo.



Imagen 35 Teapots Menagerie, por Alterfact Studio

Este proyecto de teteras que podemos ver en la imagen de arriba, representan un desafío formal y nos pone en la tesitura de la indecisión en cuanto a si lo que vemos parte hacia lo funcional o lo estético. El estudio lo describe como “Se tratan de un conjunto de objetos que se alejan de las plantillas tradicionales de la funcionalidad y las acercan a un objeto ornamental puramente estético”.

La ocupación del espacio de esta colección lucha entre la función y la belleza, insinuando la continua investigación que Alterfact desarrolla a través de los métodos de fabricación que llevó a cabo para estos recipientes.



Imagen 36 Serie Elaboration

La serie Elaboration se relaciona con la investigación básica de Alterfact sobre la yuxtaposición entre la impresión 3D de cerámica y la historia de la cerámica.

La uniformidad de los cilindros está en desacuerdo con las intervenciones únicas y orgánicas de los artistas. La colección comienza con un tubo blanco liso, a partir de este los objetos van evolucionando y transformándose, lo que ilustra la posibilidad de este proceso es el potencial de la impresora y la belleza de la arcilla. Elaboration demuestra cómo determinados elementos pueden insinuar objetos industriales perfectos o la idiosincrasia de los objetos hechos a mano.

·Por último hablamos de Ryan Barrett, su carrera profesional está entorno al modelaje pero se sentía atraído por la cerámica por lo que de forma autodidacta comenzó a adentrarse en este mundo. Fue en 2013 cuando en el cobertizo de su abuela creo su taller cerámico.

Su estilo está influenciado por el arte abstracto moderno y de mediados de siglo. Se siente atraído por las superficies y las texturas, experimentando constantemente con esmaltes y minerales naturales para crear nuevos tonos. En sus piezas impresas se evidencian todas estas vacaciones que tienen el artista.



Imagen 37 Pieza impresa 3D por Ryan Barrett

6 Puesta en marcha de la impresora

Con el fin de un correcto desarrollo del proyecto se describirá exhaustivamente todas las pautas a seguir para permitir que la investigación pueda progresar adecuadamente, evitando que altercados ajenos a esta se interpongan.

6.1 Acondicionamiento del espacio

Comenzaremos por el entorno de trabajo donde localizaremos nuestra zona de investigación. Debemos saber que durante la manipulación de la cerámica se ensucia con facilidad el área de trabajo, por lo que tendremos que salvaguardar la limpieza en todo momento.

Otro factor condicionante del espacio a escoger será tener en cuenta la influencia que ejercen los cambios climáticos, refiriéndose a temperatura y humedades. Debido a que la pasta se comportará de forma completamente distinta a una temperatura alta que a una baja o en un entorno con gran humedad respecto a otro con poca. Este cambio se notará por ejemplo en los cambios de estaciones. Teniendo en cuenta estas condiciones es aconsejable establecerse en un puesto donde se puedan controlar en la medida de lo posible. También se debe aclarar que los valores que se aportarán estarán acogidos a rangos por estos motivos.

Podríamos establecer tres zonas claves.

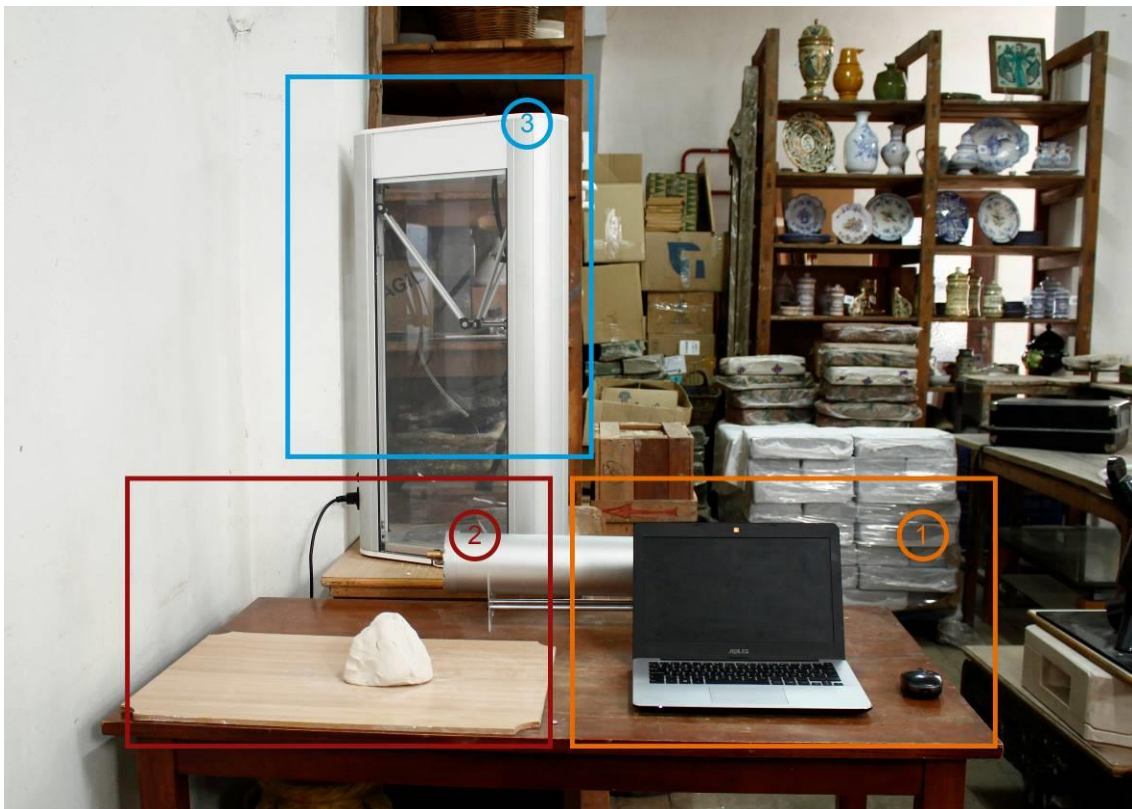


Imagen 38 Sugerencia del establecimiento de áreas

La primera zona se destinará al trabajo de diseño, modelado y preparación de archivos. Para esta se requiere de fuentes de corrientes y un ordenador, en esta área se aconseja la disponibilidad de un espacio amplio para un correcto desarrollo del

trabajo. Este espacio disponible dependerá de la circunstancia de cada caso. Para un desarrollo satisfactorio de la impresión se tendrán que tener en cuenta ciertos aspectos tanto en el diseño, como en el modelado y los valores de impresión que se otorguen. Se indagará profundamente en esto más adelante.

La segunda zona será necesaria para amasado de la pasta, en esta zona se desarrollará la pasta. Para esta investigación en torno a la obtención de una pasta de porcelana para su posterior impresión se requiere de una zona dedicada para su cometido. Para este proceso un amplio espacio donde poder trabajar cómodamente es clave, teniendo en cuenta que se crearán las mezclas y se harán los testeos. A lo largo de este proceso se suele ensuciar el entorno, por lo que se aconseja tener un área amplia para el desarrollo de la misma (la estructuración en la foto es simplemente representativa, en la realidad cada área de trabajo se ejecutaban en mesas distintas).

La tercera se destinará para posicionar la impresora, depósito de pasta, compresor y utensilios. Esta área se cierra al lugar que ocupen los componentes necesarios para la impresión. La impresora y el depósito deberán posicionarse a una altura similar y en una superficie lo mejor nivelada posible, el compresor sin embargo se podrá situar donde se quiera, por el ruido que produce se puede evitar esto con una caja ventilada e insonorizada.

6.2 Desglose de componentes a usar

Para conocer los componentes a los que nos vamos a referir en el desarrollo de la investigación es necesario identificarlos.

-Compresor



Imagen 39 Compresor de aire

El compresor será el encargado de proporcionar la presión a nuestro depósito, haciendo que este expulse la porcelana hacia el extrusor. El compresor está compuesto por la válvula de drenaje (1) la cual habrá que abrir cada dos o tres semanas (todo dependerá del uso que se le dé) para purgar el agua condensada, de no realizar esta acción el agua podría deteriorar el interior del compresor. Tenemos dos barómetros (2) el de la izquierda nos indica la presión que contiene el depósito del compresor, el de la derecha y más cercano a la salida de aire nos indica la presión que obtendremos por la salida de aire y por tanto será el que regularemos hacia los 6 bares. La válvula de salida (3) es donde enchufaremos el tubo que conectará el compresor con nuestro depósito. El regulador de presión (4) como su nombre indica lo usaremos para regular la presión que queramos obtener, normalmente viene grabado en el mismo botón hacia qué lado se aumenta y disminuye la presión. Por último tendremos el botón de encendido y apagado (5).

·Tubo de nylon, este tubo de 6 mm de diámetro se encarga de transportar la presión regulada en el barómetro del depósito al depósito.



Imagen 40 Tubo de nylon

·Depósito de capacidad 3L, en el introducimos el material con el que vamos a imprimir. Para cargar el material, abrimos por la tapa de salida empujamos manualmente el embolo, introducimos el material y cerramos la tapa. El deposito posee un embolo en la parte interior que es quien se encarga de comprimir y extruir el material.



Imagen 41 Depósito de la pasta

·Tubo de teflón de 12mm, este se encarga de transportar el material desde el depósito al extrusor de impresión.



Imagen 42 Tubo de teflón

-Extrusor Wasp LDM, se trata de un instrumento pensado para la deposición de material fluido denso como mezcla de arcilla y materiales experimentales. La innovativa tecnología de este extrusor comparado a otros extrusores se trata de su capacidad de eliminar burbujas de aire. También posee un sistema del control de la extrusión mediante retracción, algo clave si se desea realizar cortes de la extrusión durante la impresión. A continuación descomponemos las partes del extrusor:

-Motor con tornillo sin fin, este se encarga de desplazar el material hasta la boquilla, este sistema de extrusión permite la retracción y eliminar las burbujas de aire que hayan quedado en la pasta.

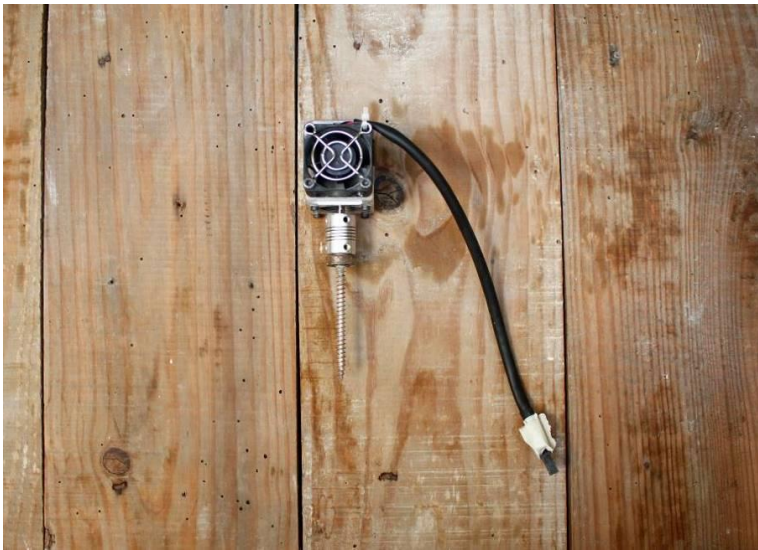


Imagen 43 Tornillo sin fin

-Carcasa del tornillo, esta contendrá al tornillo sin fin y será el conducto de unión de la entrada de material del tubo de teflón con la boquilla. Este dispositivo va fijado a la plataforma móvil de la impresora.



Imagen 44 Carcasa del tornillo

-Adaptador del tubo al extrusor, esta pieza se enrosca en la carcasa del tornillo por un lado y por el otro se introduce mediante encaje el tubo de teflón.



Imagen 45 Adaptador del tubo al extrusor

-Boquilla, se trata de una boquilla de acero intercambiable con un diámetro de salida de 1.2 mm.

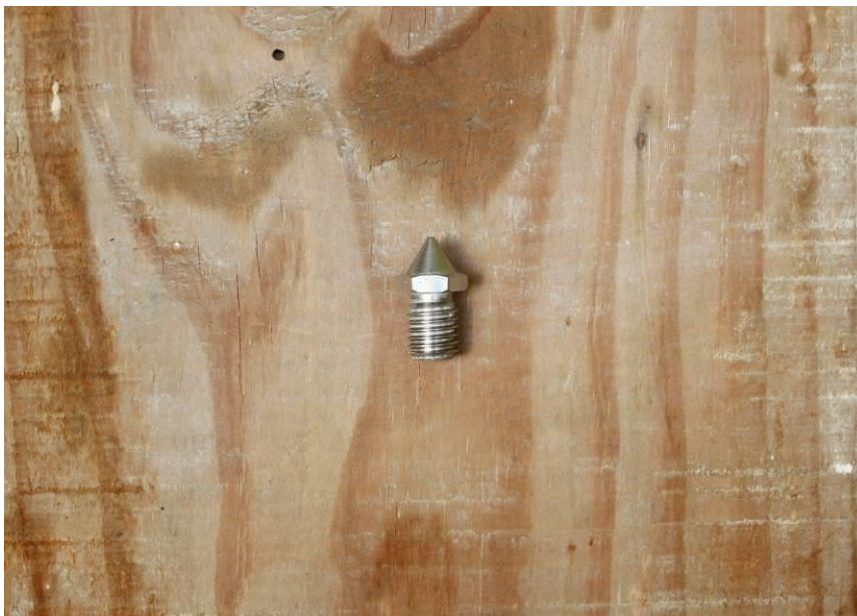


Imagen 46 Boquilla del extrusor

·Impresora



Imagen 47 Impresora Delta 2040 Wasp

La impresora que nos disponemos a usar para el desarrollo de este proyecto se trata de una Wasp Delta 2040. Se trata de una impresora tipo delta, esto significa que tiene tres ejes y una cama fija, esto permite impresiones más rápidas y una precisión muy alta dado que se producen menos vibraciones que en una impresora cartesiana.

El interruptor de encendido (1) se encuentra en la parte posterior de la impresora, que bastará con pulsarlo para encender y apagar la máquina. En la entrada de la tarjeta SD (2) introduciremos la tarjeta SD con los archivos .Gcode que se pretendan imprimir. El botón multifunción (3) se usará para moverse por el menú del display de la impresora. Los ejes (4) se encargan de mover la base donde se encuentra fijado el extrusor, se tratan de 3 ejes dobles otorgando más precisión de impresión. La cama (5) en nuestro caso no la calentaremos, pero tendremos que nivelarla con los tres reguladores, situados en cada lado de la base. Y por último el conector (6), que se encarga de transmitir la información del display al extrusor.

6.3 Guía de preparación

En este capítulo trataremos un punto circunstancial para el mantenimiento correcto de nuestra impresora Wasp y es crucial seguir los pasos de montaje y desmontaje dado que se ejecutan de un modo distinto. Este orden se ha desarrollado durante la investigación y aseguran minimizar lo posible el esfuerzo que soporta la máquina.

6.3.1 Montaje de la impresora

Comenzaremos por el montaje. La impresora se deberá situar en una superficie lo mejor nivelada posible. Una vez situada, se enchufa el cable de alimentación eléctrica a la impresora.



Imagen 48 Paso 1: Introducir tornillo sin fin en carcasa

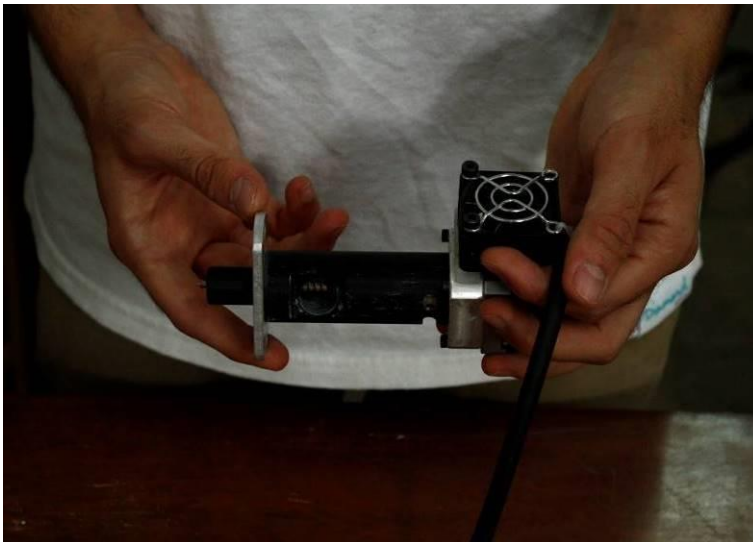


Imagen 49 Paso 2: Enroscar las dos piezas



Imagen 50 Paso 3: Enroscar el adaptador del tubo a la carcasa



Imagen 51 Paso 4: Enroscar la boquilla a la carcasa



Imagen 52 Paso 5: Atornillar el extrusor a la plataforma



Imagen 53 Paso 6: Conectar el extrusor a la impresora

A continuación se montará el extrusor, para ello se introduce con cuidado el motor sin fin con el tornillo sin fin dentro de la carcasa (Paso 1), a continuación se enrosca el motor con el tornillo sin fin en la carcasa hasta que quede correctamente fijado (Paso 2), asegurarse que se aprieta bien ya que durante la impresión se producen vibraciones que pueden aflojar estas dos partes perjudicando en consecuencia a la

impresión. La tercera parte a fijar será el adaptador del tubo al extrusor, que irá enroscada en el lateral de la carcasa quedando un poco por debajo de la mitad del extrusor. La función de este será alimentar de material al extrusor, el hecho de quedar cerca de la boquilla permite un paso casi directo y permitiendo a su vez que el aire pueda salir hacia la parte de arriba del extrusor (Paso 3). Seguido a esto se enrosca la boquilla y el adaptador del tubo (Paso 4), al igual que en el paso anterior se debe asegurar su correcta fijación por el bien de la impresión. El siguiente paso será fijar el extrusor ya montado con los dos tornillos y ayuda de la llave allen a la plataforma de impresión (Paso 5), como venimos diciendo se debe ajustar correctamente para evitar una vibración indeseada posteriormente. Por último conectar el extrusor a la impresora por el conector (Paso 6), este se encarga de transmitir alguno de los valores que hemos establecido previamente, como el flow o la retracción.



Imagen 54 Paso 7: Amasar la pasta

El proceso de amasado (Paso 7), es posiblemente una de las partes más delicadas y complicadas de controlar al principio si no se tiene un previo conocimiento en la materia. Por lo que, como ha sido el caso de quien ha desarrollado esta investigación, si desconoce la técnica del amasado se le recomienda paciencia y tratar de ganar memoria táctil. Esto se irá adquiriendo con el método del fallo, error y aprendizaje.

Para un buen amasado se debe trabajar la masa sobre una superficie firme. La técnica consiste en presionar la masa hacia abajo con las palmas de las manos, acto seguido se efectúa el plegado y compresión con una sola mano.

Teniendo en cuenta que uno de los pilares de esta investigación ha consistido en desarrollar la pasta idónea para la impresión 3D, es cierto que el punto de esta deberá ser siempre más fluida que una que se usaría para el torneado. Consiguiendo esta característica ya se conseguiría imprimir, solo que no poseería las propiedades que se ha llegado a conseguir con la formulación final. Otro punto fundamental que se irá adquiriendo la técnica con la práctica será un amasado uniforme y sin dejar burbujas de aire, ya que estas supondrán uno de nuestros mayores enemigos. Así que asegurar un amasado correcto antes de proseguir.

Un factor crucial a tener en cuenta es la influencia cambiante del tiempo y entorno donde se trabaje sobre la pasta. Esto quiere decir que si se trabaja en un lugar donde se produzcan cambios de temperatura y/o humedad el comportamiento de la pasta se

verá afectada. Por eso se aconseja un área donde estos cambios climatológicos se puedan controlar, aunque inevitablemente por el simple cambio de estación nos veremos afectados. Con esta aclaración se pretende dejar vigente que establecer unos valores exactos es absurdo por lo que siempre habrá que contemplar unos rangos de trabajo.



Imagen 55 Paso 8: Introducir la pasta en el depósito

Una vez hayamos amasado la pasta concienzudamente, haremos varias bolas o cilindros con las bases redondeadas. Que los extremos sean redondos tiene su funcionalidad para evacuar todo el aire posible, el procedimiento para introducir el material en el depósito (Paso 8) consistirá en meter la pasta y una vez dentro se deberá compactar siempre empujando desde el centro hacia a fuera (si la impresora ha sido usada con anterioridad el embolo se deberá empujar hasta una profundidad deseada). Por último tapamos el depósito (Paso 9).



Imagen 56 Resultado de pasta dentro del depósito



Imagen 57 Paso 9: Cierre del depósito

A continuación se conecta el tubo de nylon del barómetro del depósito al depósito (Paso 10) y el tubo de teflón se conectará al depósito por la tapa de salida (Paso 11). Más adelante cuando el material emerja del tubo se conectaría al extrusor, esta acción se deberá de hacer con sumo cuidado dado que pueden sufrir los brazos de la impresora.



Imagen 58 Paso 10: Fijación del tubo de nylon en el barómetro



Imagen 59 Paso 10.1: Fijación del tubo de nylon en el depósito



Imagen 60 Paso 11: Inserción del tubo de teflón

Por último se conectaría el compresor al depósito por la manguera que une estos dos.

El tubo de teflón se dejará desconectado por el extremo que va conectado al extrusor, una vez se encienda el compresor y que la pasta comience a salir, sería entonces cuando se ha de conectar al extrusor.

Manual de montaje



Paso 1: Introducir tornillo sin fin en la carcasa y enroscar



Paso 2: Enroscar boquilla y el adaptador del tubo



Paso 3: Atornillar el extrusor a la plataforma



Paso 4: Conectar el extrusor a la impresora



Paso 5: Una vez amasada la pasta, introducirla en el depósito



Paso 6: Procurando no dejar burbujas de aire, cerrar el depósito



Paso 7: Fijar el tubo de nylon al barómetro y al depósito



Paso 8: Inserción del tubo de teflón en el depósito

6.3.2 Desmontaje de la impresora

Procedemos a explicar el desmontaje. Se ha diferenciado del montaje ya se procederá en orden distinto. Lo primero que haremos será apagar la impresora, para evitar que sufran los motores de los ejes cuando se esté manipulando las distintas partes. A continuación apagamos el compresor y sacaremos toda la presión del depósito con la válvula de este hasta llegar a cero bares (Paso 1). Esto evitará que al desconectar el tubo de teflón no siga saliendo material y que nos permita abrir el depósito con mayor facilidad.



Imagen 61 Paso 1: Quitar la presión del depósito

El siguiente paso, muy importante este orden, será desenroscar el adaptador del extrusor sin sacar el tubo de teflón (Paso 2), esto se debe hacer así para evitar el sobreesfuerzo de la plataforma de impresión y los ejes de la impresora.



Imagen 62 Paso 2: Desenroscar el adaptador del extrusor

A continuación, despiezamos el extrusor. Lo primero será desconectar el cable del extrusor y se desatornillar este de la plataforma de impresión (Paso 3). Seguidamente se despiezará el extrusor desenroscando el motor con el tornillo sin fin y de la carcasa (Paso 4), prosiguiendo con la boquilla. El siguiente paso será quitar el adaptador del tubo de teflón y este de la tapa del depósito (Paso 5). Por último quedaría desconectar el tubo de nylon del depósito y desenroscar la tapa (Paso 6).



Imagen 63 Paso 3: Desconectar el extrusor y destornillar de la plataforma



Imagen 64 Paso 4: Desenroscar el Tornillo de la carcasa



Imagen 65 Paso 5: Desconectar el tubo de teflón del depósito



Imagen 66 Paso 6: Desenroscar la tapa del depósito

Manual de desmontaje



Paso 1: Quitar toda la presión del depósito



Paso 2: Desenroscar el adaptador del extrusor



Paso 3: Desconectar el cable del extrusor



Paso 4: Desatornillar el extrusor de la plataforma



Paso 5: Desconectar el tubo de teflón del depósito



Paso 6: Desconectar el tubo de nylon del depósito



Paso 7: Destapar el depósito



Paso 8: Desenroscar todas las partes del extrusor

6.3.3 Limpieza

Nos disponemos a explicar el procedimiento de la limpieza, este paso es de suma importancia ya que de este depende la maquina se conserve en óptimas condiciones y sobretodo que nos ahorre problemas a la hora de la impresión. Los utensilios limpieza que utilizaremos se pueden encontrar fácilmente, un estropajo, una escobilla de limpieza pequeña, un palillo de dientes para las zonas pequeñas y una pistola de presión.



Imagen 67 Utensilios de limpieza

Comenzaremos por el extrusor. Diferenciamos cuatro partes, el adaptador del extrusor, la carcasa el tornillo sin fin, el tornillo sin fin y la boquilla. El tornillo sin fin se recomienda limpiar con el canto del estropajo y el resto con el cepillo limpiador, tener en todo momento cuidado con no forzar el tornillo ya que es delicado. Es fácil que queden pequeños restos de arcilla en las piezas, si fuera necesario ayudarse con un palillo de dientes para quitarlos ya que podrían obstruir la boquilla en la próxima impresión.

La siguiente parte que limpiamos es el depósito, la parte interior con ayuda del estropajo será suficiente al igual que para la tapa. Y para la salida de la tapa usaremos el cepillo limpiador. Puede pasar que cuando queramos cargar de pasta el depósito, empujar el embolo queden al descubierto restos de pasta seca que deberemos de limpiar.



Imagen 68 Pistola a presión

Para limpiar el tubo de teflón, la técnica más sencilla sería conectar al compresor una pistola de presión y usarla para sacar la pasta que queda dentro. Para limpiar los restos que quedarán en su interior basta con meter agua y mover el tubo un poco.

6.4 Manual de uso de la impresora Wasp

En este apartado se desarrollarán las funciones más importantes que se pueden realizar con la impresora. Desde su puesta en funcionamiento como las acciones de comprobación y personalización.

Comenzaremos por su puesta en funcionamiento. Ya hemos comentado algunos pasos de este proceso, pero aquí los veremos en profundidad.

Ya que en nuestro caso solo imprimiremos con cerámicas, tenemos que configurar la impresora en el modo Clay. Para ello hacemos lo siguiente, nos encontramos en la pantalla inicial, pulsando la rueda entraremos en el menú principal.



Imagen 69 Pantalla inicial



Imagen 70 Menú principal

Una vez en el menú principal, rotando la rueda bajamos hasta Advanced settings y pulsamos la rueda. Esto nos llevará al submenú de Advanced settings, donde bajamos hasta LDM **mode clay** y pulsamos la rueda. Una vez dentro giramos la rueda si estuviera en Mode OFF y lo ponemos en Mode ON. Una vez lo tengamos pulsamos para retroceder al submenú, pulsando en Main retrocedemos al menú principal.



Imagen 71 Submenú Advanced settings

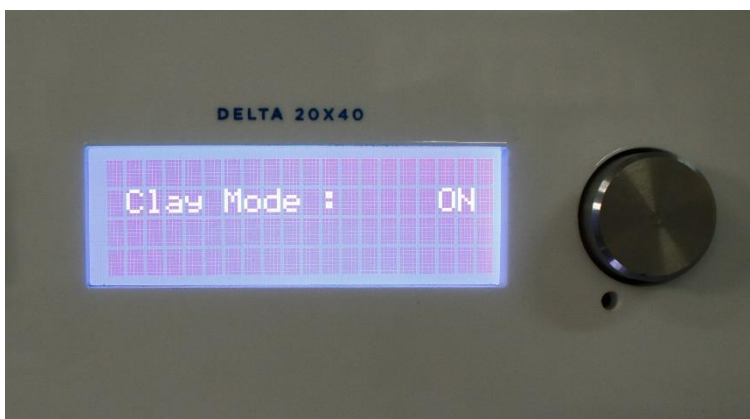


Imagen 72 Activación del Mode Clay

A continuación lo que haremos será **nivelar** la base. Para ello, una vez estemos en el menú principal donde se encuentran las distintas opciones que puedes realizar con la impresora, bajaremos girando la rueda hasta Prepare y pulsaremos la rueda. Así

entramos en el submenú de preparación de la impresora. Para nivelarla bajamos con la rueda hasta Manual Leveling y pulsamos la rueda.



Imagen 73 Menú Prepare, donde se procede a nivelar la base

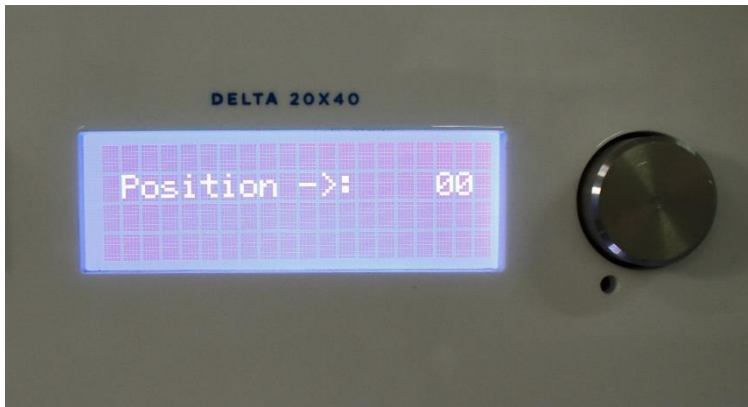


Imagen 74 Modo de nivelado

En este momento entramos en el modo Leveling, tendremos que ajustar cuatro puntos. Tres puntos correspondientes a un triángulo inscrito en nuestra área de impresión y un punto situado en el centro. El procedimiento consiste en dejar entre el extrusor y nuestra base de impresión 1 mm de distancia, para comprobar esta distancia generalmente se usa un papel el cual debe quedar libre pero deberá rozar mínimamente con la punta de la boquilla. Para comprobar cada punto se gira la rueda y el extrusor automáticamente irá cambiando de punto.

Para nivelar simplemente se deberá girar las ruedas situadas en las bases hacia la izquierda o la derecha dependiendo si se pretende subir o bajar ese punto de la base. Se recomienda una vez se hayan calibrado todos los puntos hacer una vuelta de comprobación.



Imagen 75 Nivelado mediante hoja de papel

Normalmente se imprimirá sobre una base, el espesor de esta habrá que configurarlo en la impresora para que tenga como punto origen en z la superficie de esta base. Para cambiar esta altura del eje z, deberemos ir al submenú Advanced settings y movernos hasta Modify Z MAX. Entrando en este podremos, girando la rueda, establecer nuestra z cero.



Imagen 76 Modificación de Z origen

Una vez la impresora este configurada, procedemos a la fase de **impresión**. Lo primero será comprobar que todas las partes están completamente limpias, ya que al secarse las piezas suelen aparecer zonas sucias de cerámica. Al igual puede ocurrir cuando se empuje el embolo del depósito para introducir la pasta, suelen aparecer restos de cerámica que habrá que limpiar.

Con todas las piezas limpias y la impresora correctamente montada, tendríamos que amasar un poco la pasta para calentarla. El amasado previo es clave, esto nos proporciona mejorar su fluencia y uniformidad en la pasta. Ya que la masa se va asentando poco a poco quedando la parte exterior más blanda que la interior que suele estar más comprimida, de forma que para evitar que una vez se comience a extruir la zona interna de problemas de fluidez un amasado previo siempre es recomendable. Durante esta investigación se ha usado masa recién mezclada (que no es aconsejable porque resulta demasiada blanda y poco consistente), masa con unos días después de su fabricación (esta es la forma idónea de uso de la pasta ya que le ha dado tiempo a asentarse y coger cuerpo, siempre habrá que amasarla antes de

usarla en la impresión) y masa reutilizada de otras impresiones (en estos casos es crucial amasar y se debe haber conservado de forma que no haya perdido humedad, como metiéndola en una bolsa). Una vez tengamos la masa en el punto que deseamos se introduce en el depósito como ya se ha explicado anteriormente, evitando en la medida de lo posible cámaras de aire internas. Cerramos la tapa y ponemos el tubo de teflón dejando libre el extremo que se introducirá en el extrusor.

En este momento podemos encender el compresor, que normalmente como fijarlo en 6 bares tendremos suficiente. Este será el límite de bares que podremos obtener en la impresión, donde iremos regulando la presión requerida con el barómetro del depósito. El factor presión se tendrá que ir comprendiendo al igual que el punto exacto de la pasta, con la experiencia se irá sabiendo la influencia sobre la impresión. Esto quiere decir que no se puede hablar de un valor exacto de impresión sino de un rango, durante toda la investigación se ha impreso desde los 4 bares hasta los 7, pero normalmente estaremos situados entre los 5 y 6 bares.

Es entonces cuando podremos abrir la válvula de presión de la impresora, en este punto se puede ir observando el comportamiento de la pasta. El inicio de impresión, se ha denominado con este término al momento en el que la pasta va saliendo por el tubo de teflón, suele hacerse entorno a los 4 bares. Todo dependerá del punto de la pasta, ya que si resulta más dura habrá que llegar incluso hasta los 6 bares. El inicio de impresión siempre se realiza a una presión inferior a la que posteriormente se imprimirá.

Una vez comience a salir material por el extremo abierto del tubo se limpiará el material extruido y con cuidado se introducirá en el adaptador del extrusor, se empujará hasta notar que se bloquea. En este momento se aumenta un poco la presión ajustándolo desde el barómetro de la impresora.

Llegados a este punto tendremos la impresora encendida y habremos introducido la tarjeta SD con el archivo que se desea imprimir (en el siguiente punto se explicará cómo preparar dicho archivo). Si nos encontramos en el menú principal, bajaremos hasta Print from SD. Pulsando nos llevará al contenido de la tarjeta SD, solo quedaría buscar el archivo deseado y pulsar para iniciar la impresión.

Normalmente tarda un poco en iniciar a extruir material, dado el caso esperaremos a que comience a salir material y entonces se pulsará el botón y bajaremos hasta Stop Print. Una vez se haya detenido volveremos a darle a imprimir al archivo para recomenzar la impresión, esta vez asegurándonos que saldrá material desde el principio.

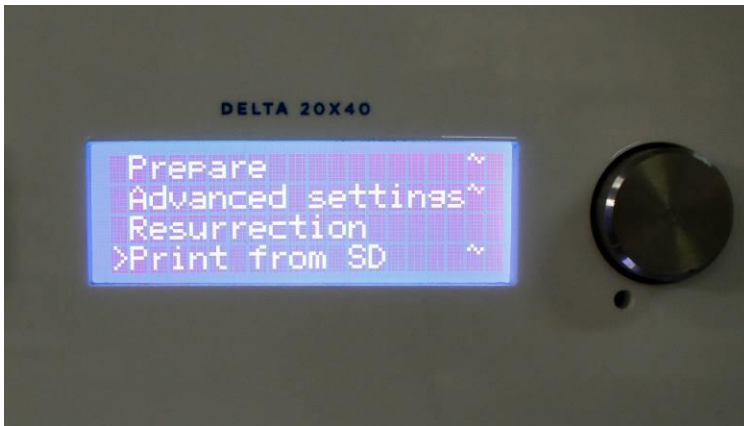


Imagen 77 Print from SD



Imagen 78 Contenido de la tarjeta SD

Una vez se inicie la impresión veremos una pantalla donde podremos observar datos del transcurso de la impresión, como el porcentaje que lleva, el porcentaje de velocidad y el tiempo transcurrido.

6.5 Preparación de archivos 3d

En este apartado se aconsejarán algunos tips a tener en cuenta en la preparación del modelo 3D a imprimir.

Un problema que se puede encontrar al usar la impresora 3D, es diseñar con total libertad sin pensar en cómo se va construir, creando piezas inviables para su impresión. Por lo que es crucial diseñar pensando en los límites de la impresora.

Lo primero a tener en cuenta son las tolerancias de impresión, en una impresora de plástico las tolerancias se mantienen constantes ya que el material se comporta siempre igual. Sin embargo al usar como material pasta de cerámica, las tolerancias serán mayores respecto a las de filamento de plástico ya que el chorro extruido se expande más. También habrá que tener en cuenta la influencia de la viscosidad que tenga la pasta, si es más viscosa se expandirá más mientras si está densa el hilo será más redondo y por tanto se acercará a la medida establecida. Algo clave es que la medida que más difiere son las dimensiones en el plano XY mientras en Z dado que lo controla el extrusor suelen ser bastante fieles.

Por lo que se recomienda hacer alguna prueba con la pasta para conocer la tolerancia exacta. En nuestros casos ha variado mínimamente, ya que también depende del grosor de la estructura, cuanto más sea el espesor más se acumula el error y la tolerancia aumentará.

En cuanto a la estructura se aconseja hacer un test de inclinaciones, que serán orientativas a la hora de modelar. Si es cierto que en este caso también la pasta, las dimensiones del diseño y el espesor de pared serán determinantes, por lo que no se puede dar datos concretos. Por ejemplo si se hace una superficie a 45 grados de 5 cm de alto no tendrá la misma resistencia estructural que un modelo a 45 grados de 10 cm de alto. En cuanto al espesor de pared afecta de igual modo. Con esto se quiere decir que una vez que se conozca el comportamiento de la masa se diseñará bajo los criterios de la experiencia, pero al principio es conveniente acotar rangos de actuación.

Algo importante a la hora de modelar es tener en cuenta el filamento que obtendremos con nuestro extrusor, en nuestro caso de 1.2 mm, y crear grosores de paredes equivalentes al ocho del filamento. Esto hará que a la hora de la impresión no haga relleno entre capas, proceso que suele dañar el resto de la estructura.

Por último, resaltar que se debe de modelar un diseño lo más limpio posible. Esto quiere decir generar superficies cerradas, quitar elementos duplicados o diseño incoherentes.

6.6 Preparación de archivo gcode con Cura

Existen cada vez más software de preparación de archivos gcode como Slic3r, Repetier, Octoprint o Cura. En el desarrollo de la investigación se ha usado Cura 2.3.0, un programa sencillo e intuitivo que prepara el modelo 3D para su impresión y además es gratuito, por lo que es accesible para todos. A continuación se explicará la configuración básica, la cual se ha ido mejorando conforme se ha ido avanzando y comprendiendo el funcionamiento. Si te tiene algún conocimiento de impresión en plástico será mucho más sencillo, porque tienen fundamentos parecidos. Lo único que difiere es el comportamiento de la materia prima usada.

Lo primero será configurar la impresora, para ello nos vamos a ajustes, luego a impresora y agregar impresora. Como la impresora que se ha usado no consta en el listado, debemos personalizarla. De forma que pinchamos en Custom y la denominamos como queramos, en este caso le pusimos Wasp 2040 Clay que hacer referencia al modelo que usaremos (Paso 1). A continuación se introducirán datos sobre las dimensiones del área de impresión, la localización del origen, el tipo de Gcode que usaremos y el tamaño de la boquilla.

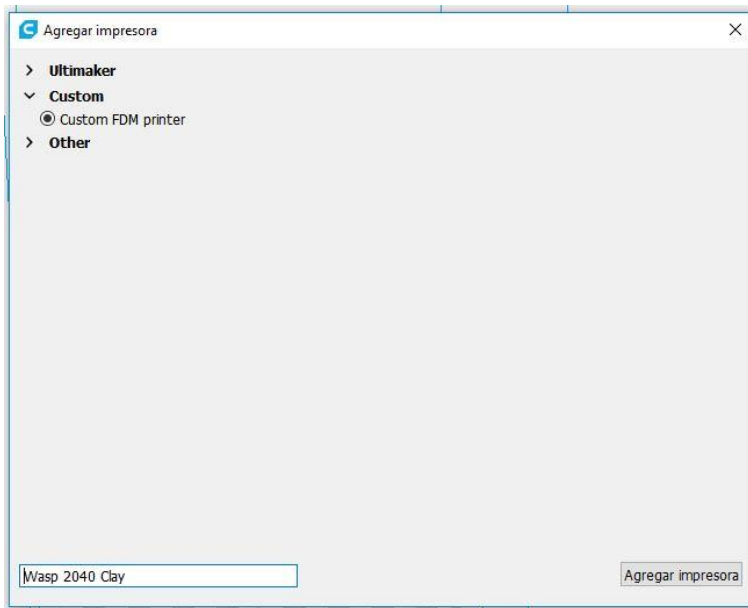


Imagen 79 Paso 1

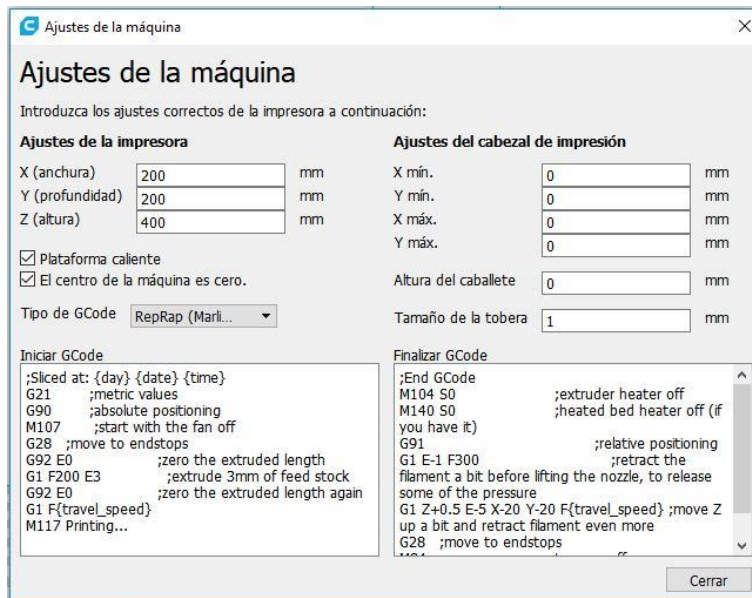


Imagen 80 Paso 2

Pasamos a la segunda fase que consistirá en configurar la impresión. Lo primero que necesitaremos será nuestro modelo 3D en formato .STL, se deberá guardar en dicho formato desde el software de modelado 3D que hayamos utilizado para crear nuestra pieza.

Empezamos con la Altura de capa, como su nombre indica establecerá la altura de cada capa. Se ha conseguido imprimir desde 0.4 mm hasta 1 mm, no se recomienda bajar de 0.4 mm ya que aplastaría demasiado la capa y acabaría soltando material no deseado pero tampoco es recomendable subir el 1 mm ya que el filamento para que quede integrado deberá quedar mínimamente aplastado simulando la técnica del churro de la artesanía cerámica. El hecho de poner más o menos altura afectará a la calidad de nuestra impresión y a la velocidad con la que se efectúe, a mayor altura mayor velocidad pero menor precisión y viceversa. Este valor de deberá tener en cuenta dependiendo del diseño que se realice, ya que sobretodo en curvas las

transiciones se realizarán mucho mejor con altura de capa menor. También decir que estos límites de altura vienen establecidos por el diámetro de nuestra boquilla que es de 1.2 mm

El ancho de línea se refiere al filamento que se extrusiona, que en nuestro caso se trata de la boquilla que usamos que es de 1.2 mm. Aunque se puede forzar un poco disminuyendo el valor para obtener mejores impresiones (Paso 3).

Calidad	
Altura de capa	0.6 mm
Altura de capa inicial	0.6 mm
Ancho de línea	1.2 mm
Ancho de línea superior/inferior	1.2 mm

Imagen 81 Paso 3

El grosor de pared establece el espesor de las paredes en dirección horizontal. Este valor dividido por el ancho de línea definirá el número de pasadas que hará el extrusor en cada capa, es sumamente recomendable que sea realmente múltiplo de lo contrario rellenará entre pasadas y suele causar problemas. El grosor superior e inferior establece el espesor vertical, la división entre la altura de capa definirá el número de capas inferiores y superiores (Paso 4).

Perímetro	
Grosor de la pared	2.4 mm
Grosor superior/inferior	3 mm

Relleno	
Densidad de relleno	0 %

Imagen 82 Paso 4

La temperatura será 0 ya que la impresión se realiza con pasta cerámica. El diámetro se establece en 1.2 mm, este valor vendría referido al filamento de plástico que es diferente al ancho de línea. El flujo es la cantidad de material extruido, normalmente se establece al 100%. La retracción se debe activar para que cuando la tobera no deba extruir, como en desplazamientos, retraiga material de forma de pare la salida de material. La distancia de 6 mm se ha establecido a base de pruebas y se considera que funciona correctamente. La velocidad de retracción será de 70 mm/s, valor bastante alto pero debe realizar su cometido a mayor velocidad que el desplazamiento de la tobera (Paso 5).

Material	
Temperatura de impresión	0 °C
Diámetro	1.2 mm
Flujo	100 %
Habilitar la retracción	<input checked="" type="checkbox"/>
Distancia de retracción	6 mm
Velocidad de retracción	70 mm/s
Salto en Z en la retracción	

Imagen 83 Paso 5

Al inicio de la impresión el material suele tardar unos segundos en llegar del tubo de teflón a la boquilla, para asegurarnos de que comienza la impresión de la pieza extruyendo material es necesario la falda, básicamente se imprime a lo largo del área de la base de nuestra pieza. El recuento de líneas establece el número de pasadas que realiza el extrusor antes de comenzar la impresión de nuestra pieza. La distancia de la falda se refiere a la distancia comprendida entre nuestra pieza y la falda. Y la longitud mínima de falda es el perímetro mínimo que realizará esta falda (Paso 6).

Adherencia de la placa de impresión	
Recuento de líneas de falda	1
Distancia de falda	3 mm
Longitud mínima de falda/borde	150 mm

Imagen 84 Paso 6

Una herramienta muy útil que posee Cura es la visualización de todas las capas de impresión. Es aquí donde podemos pre visualizar el recorrido que va a recorrer la tobera, pudiendo observar fallos del modelado que no habíamos considerado y simplemente malas interpretaciones del modelo 3D. Esto nos da la oportunidad de rectificar y solventar estos altercados antes de comenzar la impresión (Paso 7).

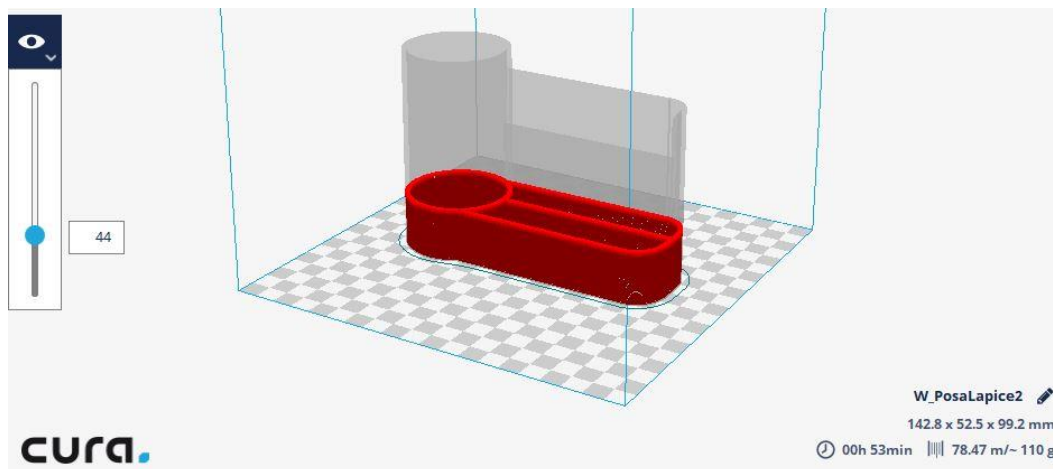


Imagen 85 Paso 7

7. Desarrollo de la masa

La investigación que aquí se desarrolla consiste en examinar y determinar los distintos aspectos que puedan rodear a la impresora 3D. Esto concierne tanto a finalidades donde se pudiera introducir esta herramienta, como tipo de materiales con los que trabajar. En este apartado, habiendo sido el objetivo en el que nos hemos centrado, se expondrá el desarrollo de la pasta cerámica que se ha ido realizando hasta conseguir un resultado óptimo y personalizado.

Para alcanzar este resultado minucioso y específico se han tenido el placer de contar con la ayuda continua de Vicente Díez CEO de la empresa Díez Ceramic, del maestro ceramista Juan Carlos Iñesta fundador de Domanises y al FabLab Valencia por proporcionarnos la impresora.

Díez Ceramic es una fábrica y distribuidora de pastas cerámicas, esmaltes y productos técnicos orientados al sector cerámico. Una faceta muy importante que desempeña esta empresa es su laboratorio de desarrollo de pastas y esmaltes, esta especialidad que desarrolla ha sido crucial en el apoyo proporcionado a nuestro estudio. Vicente Díez ha aportado todos los conceptos técnicos al investigador aquí presente, haciéndole comprender un mundo desconocido para un diseñador.

Domanises es un taller cerámico situado en Manises. Por él han pasado los diseñadores más reconocidos de Valencia, pero aún mejor han pasado los jóvenes diseñadores que están por descubrir. Juan Carlos Iñesta apuesta por proyectos innovadores y desafiantes, esto le convierte en un ceramista único en su especie y le permite un acercamiento a las nuevas generaciones. Él ha sido quien ha acogido el desarrollo de este proyecto en su propio taller, que a la vez es su casa, asesorando en todo momento.

Junto a la impresora se proporcionaba una pasta de porcelana que funcionaba considerablemente bien, pero se creyó mejorable y se inició su desarrollo. Para la comprensión del proceso seguido, se expondrá cada prueba con composiciones, errores y sus correspondientes conclusiones.

7.1 Pruebas con la pasta de Wasp

Prueba 1

Para la comprensión del uso de la impresora, aunque se ha ido ampliando y mejorando con el transcurso de la investigación, se realizaron pruebas con la porcelana proporcionada por con la impresora.

Los primeros intentos de impresión fueron fallidos, ya sea por fallos técnicos como podrían ser la configuración de la máquina o el desconocimiento inicial del el material que se tenía entre manos. El problema principal que se venía observando era que el material no conseguía atravesar ni si quiera el tubo de teflón.

Ante este problema detectado se optó por la hidratación de la pasta, ya que se dedujo que el impedimento residía en la consistencia excesiva de la pasta. Se probó mediante dos técnicas.

La primera consistió en trocear un bloque de porcelana en pequeños cubos y dejarlos sumergidos durante un día en un cubo con agua para que absorbieran. La segunda fase consistió en aplastar cada pequeño cubo e integrarlos entre sí, hasta crear esferas con masa uniforme. El resultado no fue el esperado ya que quedó demasiada blanda, y la impresión obtenida hubiera tenido muy poca resistencia.



Imagen 86 Sumersión de la pasta Imagen 87.1 Integración Imagen 88.2 Resultado de la pasta

El segundo método de hidratación, visto el resultado anterior que habría absorbido agua en exceso, se realizó añadiendo agua progresivamente a la pasta de forma inclusiva. Este proceso comenzó en un amasado previo para crear una masa uniforme, a continuación se inciden pequeños huecos como fueran pequeños cráteres en una lámina de pasta y se le añade un poco de agua en sus concavidades. Seguidamente se amasa hasta integrar el agua añadida. Como recomendaban en los manuales de la impresora se debería de añadir un 5% de alcohol sobre la masa sólida, esto ayudaría al secado de la pasta. Se estaba trabajando con 1100 gramos de sólido, por lo que añadió 55 g de alcohol. Para integrar el alcohol se procede como con el agua, mezclando hasta conseguir unificar la masa.



Imagen 89 Preparación de la masa Imagen 90.1 Integración del líquido 91.2 Resultado final

Una vez se han creado esferas de tamaño medio, se introducirán en el depósito como se explicó en capítulos anteriores. Se puede observar que en este caso se han realizado esferas de tamaño medio, sin embargo en la explicación del uso de la impresora se indica que se hacen esferas o cilindros de mayor tamaño. Esto es debido a la evolución de la técnica, donde el investigador aquí presente ha concluido que es mejor la introducción de bloques mayores de material, por el simple hecho de evitar cámaras de aires dentro del depósito creadas entre esferas.

Composición de la Pasta	1110 g de Porcelana Wasp con una adición del 5% de alcohol equivalente a 55 ml
Inicio de la impresión	Se realizó en 5 minutos, con una presión ascendente de 3 a 4 bares
Desarrollo de la impresión	-El material extruye de manera correcta aunque a veces tiene poca adherencia entre capas -Parada de la impresión al 71%, motivo desconocido. No pudo ser por falta de material
Observaciones	-Mejorar adherencia de la pieza con la base



Imagen 92 Impresión 011518

Prueba 2



Imagen 93 Rotura de filamento



Imagen 94 Impresión 011718

Composición de la Pasta	Pasta de la prueba 1, dejándola en el depósito y la manguera durante dos días
Inicio de la impresión	No se contabilizó porque había pasta en el tubo
Desarrollo de la impresión	-El filamento no tiene elasticidad y se va rompiendo conforme va extruyendose -Problema de paro de impresión. Sigue sin ser problema de falta de material
Observaciones	-Mejorar pasta, para que no se seque tan rápidamente -El paro de la impresión puede ser debido a problemas de la tarjeta SD

7.2 Pruebas con la pasta Diez Ceramic

Para el desarrollo de las pastas porcelánicas desarrolladas junto a Diez Ceramic y Domanines se utilizarán las materias descritas a continuación.

Cada pasta estará compuesta por un porcentaje de sólido y un porcentaje de líquido. El sólido estará compuesto de caolín, cuarzo, fundente y arcilla blanca. Estos porcentajes serán fijos ya que es la composición básica de la porcelana. El porcentaje líquido será un 30% del sólido que se añada, estará formado por una mayor parte de agua, por un emulsionante un plastificante y un retardante. Serán estos valores que irán determinando las diferentes pastas.

Explicamos brevemente los distintos aditivos que usaremos:

-Aditivo emulsionante y plastificante; Este consiste en un defloculante para barbotina, el cual ayuda a las partículas sólidas a quedar en suspensión, evitando que se cree un poso en el fondo formado de estas y consiguiendo una mezcla heterogénea. Por otra parte la característica plastificante que otorga este aditivo mejora considerablemente la elasticidad del material haciéndolo más resistente a la hora de su extrusión, ayudando así a evitar la rotura del filamento.



Imagen 95 Aditivo emulsionante

-Aditivo fijador y plastificante, este compuesto se trata de un CMC (carboximetil celulosa) que ayuda al secado del material dándole más resistencia a la pieza, la ventaja de este aditivo respecto al alcohol es que el secado que se produce es mucho menos agresivo, es decir más progresivo, haciendo a su vez que el arrastre de agua en su evaporación sea menor. Este aditivo a su vez aporta elasticidad al material haciéndolo más elástico y resistente en su deformación.



Imagen 96 Aditivo fijador

· Aditivo retardante del secado, se trata de un glicol, este en concreto está en su forma más simple. Cuanto más simple sea, el agua rompe la más fácilmente y el material seca más rápido. En nuestro caso que interesa que la pieza impresa seque medianamente rápido por eso se usa esta fórmula. El material podría permanecer con la viscosidad adecuada incluso meses si se aumentara su porcentaje. Este compuesto comparado con el alcohol nos permite un secado menos agresivo y más controlado, evitando roturas.



Imagen 97 Aditivo retardante

Prueba 3

Se plantean dos vías de obtención de una pasta para la impresión. La primera consiste en obtenerla partiendo de la mezcla en polvo hasta conseguir la pasta fluida o una vez se tenga la pasta de porcelana añadir aditivos hasta conseguir la viscosidad adecuada.

En esta prueba se procede con una barbotina preparada para colado con un alto porcentaje de agua, un 1% de defloculante y un 3% de bentonita sobre el total del sólido, posteriormente se añadió un 2% extra de bentonita porque se percibía demasiada blanda. La bentonita aportará exceso de plasticidad absorbiendo agua, esto impedirá la fluidez del líquido y le aportará viscosidad. Con esta pasta se pretendía poner en el límite la impresión para ver cómo se comportaba la impresión ante una pasta tan blanda.



Imagen 98 Barbotina con bentonita

Composición de la Pasta	2100 g de porcelana de baja en polvo, 820 g de líquido con un 1% de defloculante y 3%+2% bentonita del total del sólido.
Inicio de la impresión	3 minutos a 2 bares
Desarrollo de la impresión	-La adherencia de las primeras pruebas es buena, por su alta viscosidad -En cuanto avanzó unas capas la impresión se empezó a deformar la estructura
Observaciones	-Si se quiere obtener la pasta idónea desde la mezcla inicial debe ser bastante más densa



Imagen 99 Inicio de deformación Imagen 100.1 Derrumbamiento de la impresión 012518

Prueba 4

En esta prueba se prueba obtener la pasta de impresión desde la pasta de porcelana a la que se le irá buscando el punto adecuado. La pasta se realizó con porcelana (formada por caolín, cuarzo y fundente) a la que se le añadió inicialmente una composición de líquido de 450 ml con un 95% de agua, 4% de retardante y 1% emulsionante, posteriormente se ajustó.

Composición de la Pasta	1500 g de porcelana de baja, 450 ml de líquido (4%+1%retardante, 1%+1% emulsionante y 95%+1% de agua)
Inicio de la impresión	20 minutos a 5 bares
Desarrollo de la impresión	-Se observan burbujas de aire en el tubo, causado por un mal amasado -No se llegó a extruir, pasta demasiado densa
Observaciones	-Se debe asegurar el amasado, de forma que quede completamente uniforme -Se debe conseguir pasta más blanda

Prueba 5

Dado que se requería mayor fluencia, elasticidad y uniformidad en la pasta se aumentaron considerablemente los aditivos. Esta vez se usó 1000 g de porcelana en polvo y 300 ml de líquido (formado por 5% fijador, 10% retardante, 10% emulsionante y 75% agua)

Composición de la Pasta	1000 g de porcelana de baja, 300 ml de líquido (5% fijador, 10% retardante, 10% emulsionante y 75%+10 ml de agua)
Inicio de la impresión	20 min con una presión de 4 a 6 bares
Desarrollo de la impresión	-La impresión se realizó a 7 bares -La impresión se desarrolló en general correctamente -Dificultades en algunas curvas salientes
Observaciones	-Las formas orgánicas las imprimió adecuadamente -La masa sigue estando un poco dura -Se puede alcanzar una pasta más uniforme



Imagen 101 Detalle de la impresión



Imagen 102 Impresión 013118

Prueba 6

Se observó en la prueba anterior que la pasta le costaba un poco el secado, por lo que se optó por reducir el porcentaje de retardante de secado de un 10% a un 7%. Por lo que el porcentaje del líquido quedaría 5% fijador, 7% retardante, 10% emulsionador y 78% de agua. El inicio de impresión se realizó en 23 minutos entre los 5 y 6 bares.

Hasta ahora se había probado a imprimir piezas que traía la impresora de serie, por lo que no se habían regulado los datos de impresión. Esta prueba se intentó con una pieza diseñada por el investigador y configurada con los valores facilitados por la empresa, que visto el resultado fallido posterior se evidenció que no son los correctos.

Se probó a imprimir a una velocidad de capa de 25mm/s, una velocidad de impresión de 55mm/s, una capa inicial de 0,5 mm. El resultado fue un movimiento del extrusor muy lento y del tornillo muy rápido comparado, esto dio lugar a que no extruyera material. Se deberá estudiar el comportamiento de la máquina en la impresión de cerámica.

Prueba 7

La complejidad que supone imprimir con cerámica viene por la cantidad de factores que puede alterar el resultado. Un pequeño detalle que quizás pase desapercibido puede desembocar en una impresión no deseada. Ya que con la pasta desarrollada hasta ahora se ha conseguido imprimir, nos centraremos en la configuración de la impresión.

Se hicieron un total de 15 test variando dato a dato para comprender exactamente como influía sobre el comportamiento de la impresión. Se concluyó con los siguientes datos:



Imagen 103 Una de las pruebas de impresión

Altura de capa	0.6 mm
Altura inicial	0.8 mm
Grosor superior/inferior	1.8 mm
Superposición de relleno	1.2 mm
Velocidad impresión	40 mm/s
Velocidad relleno	40 mm/s
Velocidad pared	40 mm/s
Velocidad superior/inferior	30 mm/s
Velocidad de retracción	80 mm/s

A lo largo de la investigación se fueron comprendiendo como interactuar con la configuración, la importancia de usar la correcta presión por ejemplo.

Se aprovechó estas impresiones para comprobar la capacidad de imprimir modelos con agujeros en su estructura. Dónde se observó que los triángulos se comportar bastante bien, mientras que los círculos se derrumban por la parte superior, seguramente probando con óvalos resistiera la estructura al ser más progresiva la curva.



Imagen 104 Test 15, impresión 021218

Prueba 8

La pasta funciona bastante bien pero se notó que podríamos necesitar un poco más de elasticidad en el filamento y más uniformidad. Por lo que a la composición actual se le fue añadiendo defloculante hasta 10 ml. Por lo que la composición del líquido sería 300 ml (formado por 5% fijador, 10% retardante, 10% + 10 ml emulsionante y 75% agua)

En esta ocasión probaremos un test de ángulos, a partir de la información obtenida tendremos en cuenta los resultados para los futuros diseños.

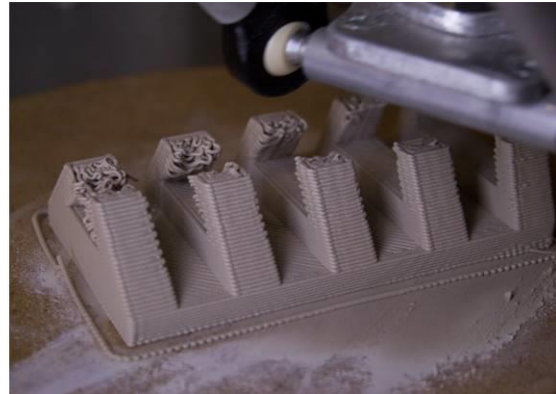
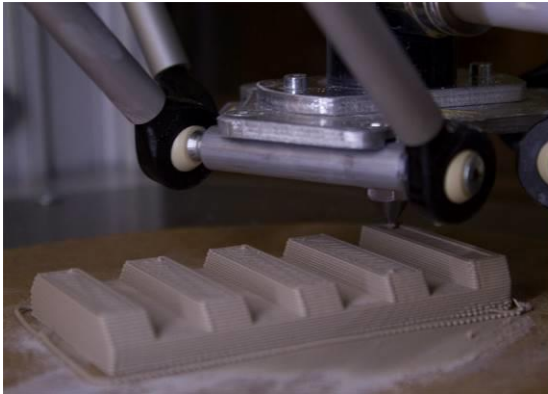


Imagen 105 Proceso de impresión del test de ángulos

Composición de la Pasta	1000 g de porcelana de baja, 300 ml de líquido (5% fijador, 10% retardante, 10%+10 ml emulsionante y 75% agua)
Inicio de la impresión	14 minutos a una presión entre 5 y 6 bares
Desarrollo de la impresión	<ul style="list-style-type: none">-La impresión se realizó a 7 bares-La base se efectuó correctamente-La velocidad y fluidez fueron optimas-El extrusor aplica demasiada presión sobre la capa
Observaciones	<ul style="list-style-type: none">-En el ángulo de 60° se obtuvo el mejor resultado- A los ángulos de 45° y 50° en las paredes interiores los filamentos no se asentaron correctamente por una inclinación excesiva-En los ángulos de 60° y 70° el extrusor deformó las estructuras hasta desfazar la altura de la capa y distorsionar el resultado.

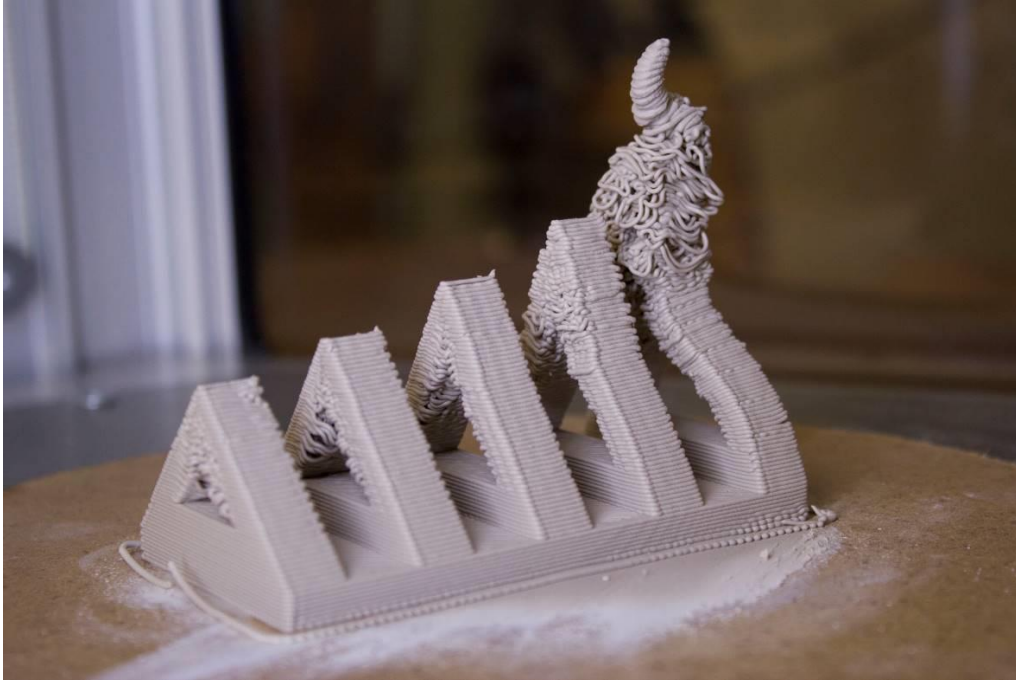


Imagen 106 Impresión 022218

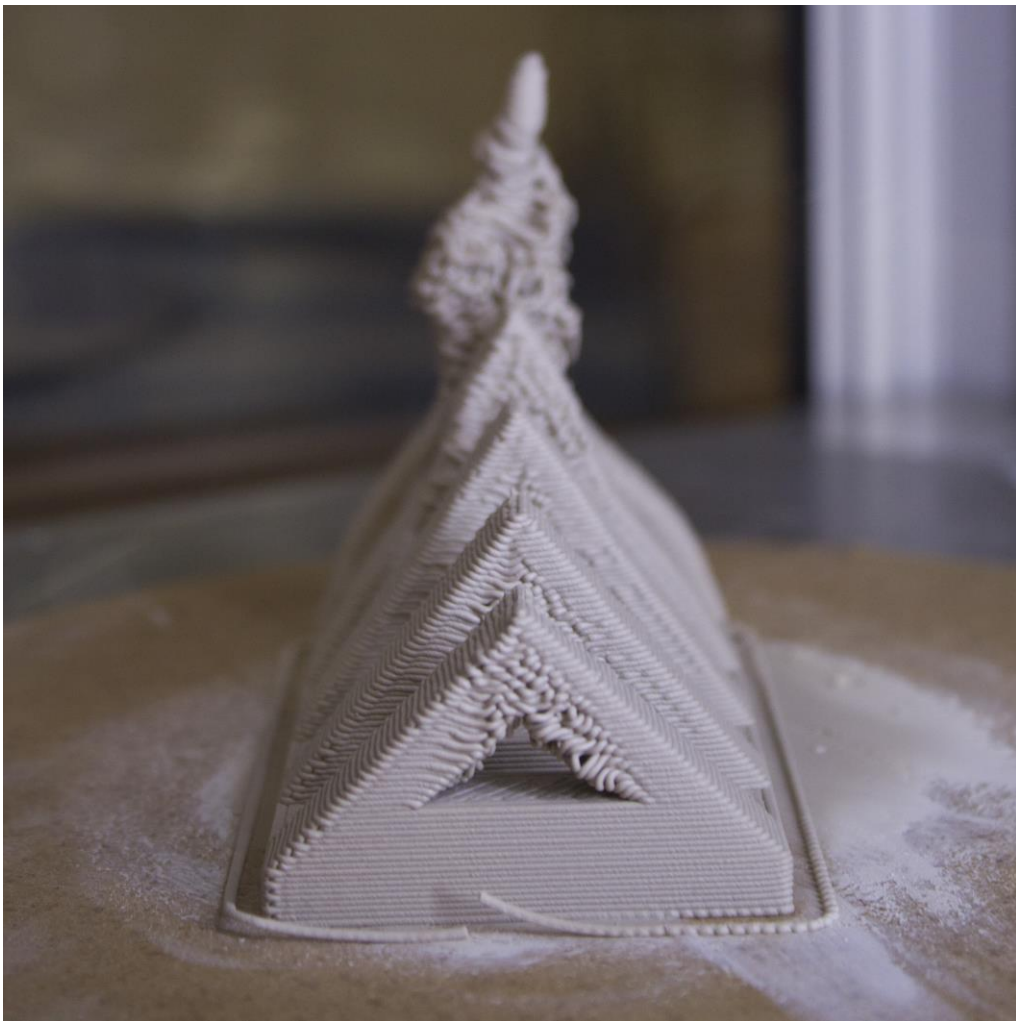


Imagen 107 Compararica de ángulos

Prueba 9

Hasta la pasta de porcelana se había realizado en fábrica. El proceso de obtención de la pasta comienza con el tamizado del caolín, el cuarzo, el fundente y la arcilla blanca. El siguiente paso sería crear una mezcla homogénea de las cantidades establecidas de cada componente. A continuación se mete en una mezcladora junto a la cantidad indicada de líquido. Una vez que queda una pasta uniforme, se introduce en la extrusora que se encarga de extruir un cilindro de esta pasta pero completamente compactada de forma que elimina todas las burbujas de aire.

Imitando este proceso, el investigador pretendía reproducir la obtención de la pasta manualmente. Como de los fracasos se obtienen grandes fuentes de conocimientos vamos a explicar el proceso que se siguió.



*Imagen 108 Tamizado de los componentes de la porcelana Imagen 109.1 Mezcla de los componentes
Imagen 110.2 Fase de mezcla Imagen 111.3 Pasta final*

La Parte sólida estaba formada por 130 g de caolín y 370 g de una mezcla de cuarzo, fundente y arcilla blanca. De líquidos se usó 150 ml con las proporciones que se venía usando.

Como veníamos comentando el resultado no fue el esperado, el problema básico fue el método manual de mezcla que no conseguía homogeneizar perfectamente la parte sólida y la parte líquida. Problema que se podría resolver con una mezcladora. Se pudo concluir que a partir de ese momento se harían las pastas usando la mezcladora y la extrusora de pastas.

Prueba 10

Para esta prueba volvimos a usar la pasta hecha en la prueba 9 pero fue correctamente integrada con una mezcladora. Se añadió un poco de sólido ya que quedó descompensada y un 4% extra de defloculante que se encarga de reducir la viscosidad, se pretende probar una pasta más dura y que contenga menos agua.

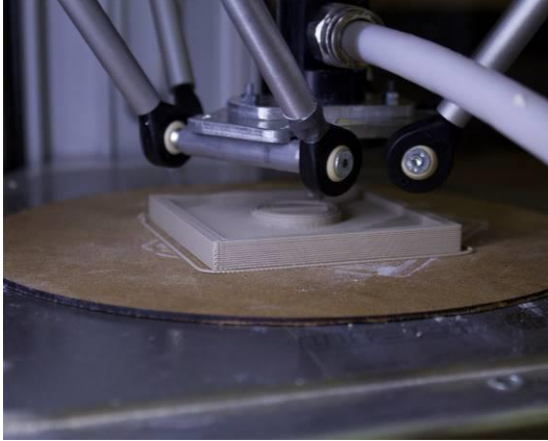


Imagen 112 Proceso de la impresión

Composición de la Pasta	566 g de sólido, 200 ml (10% emulsionante, 4% defloculante, 10% fijador, 7% retardante)
Inicio de la impresión	6 minutos a una presión entre 2 y 3 bares
Desarrollo de la impresión	<ul style="list-style-type: none">-La impresión se realizó a 5 bares-La base se efectuó correctamente-La velocidad y fluidez fueron optimas-El espesor de pared no se superponía-Paro de la impresión por falta de material
Observaciones	<ul style="list-style-type: none">-Para solucionar la separación en la pared, aumentar superposición del forro-Prever el material que se requerirá para cada impresión

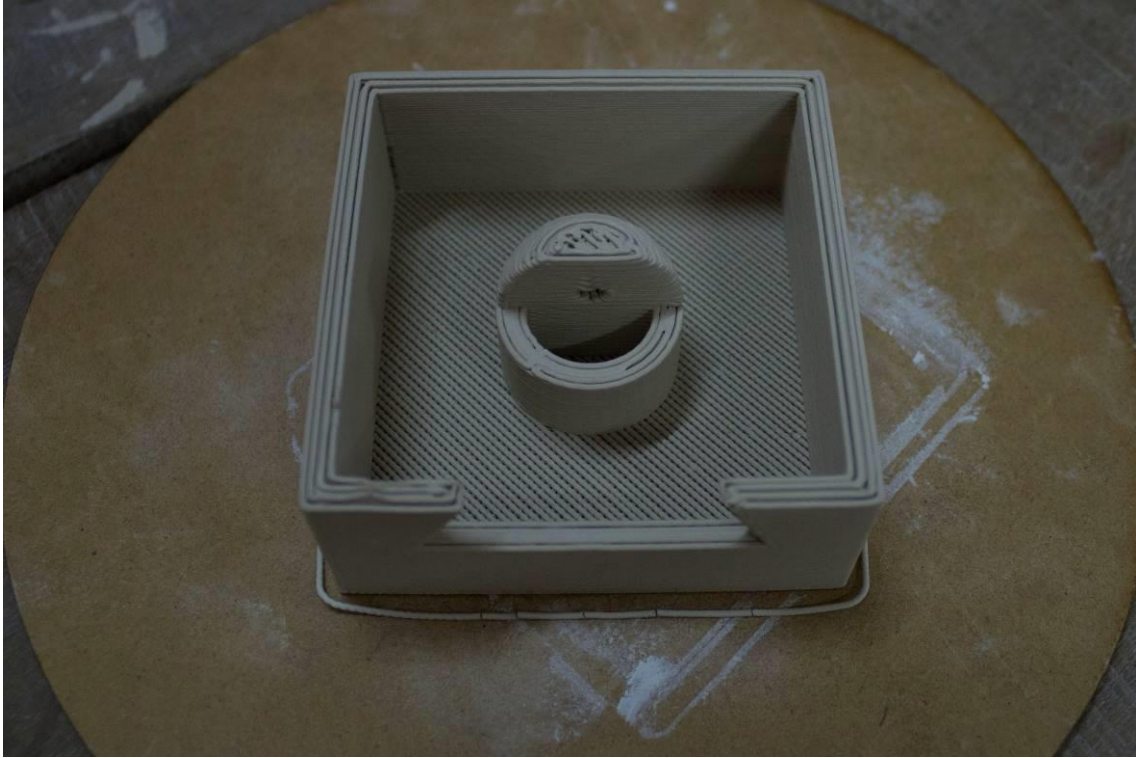


Imagen 113 Detalle de separación entre capas

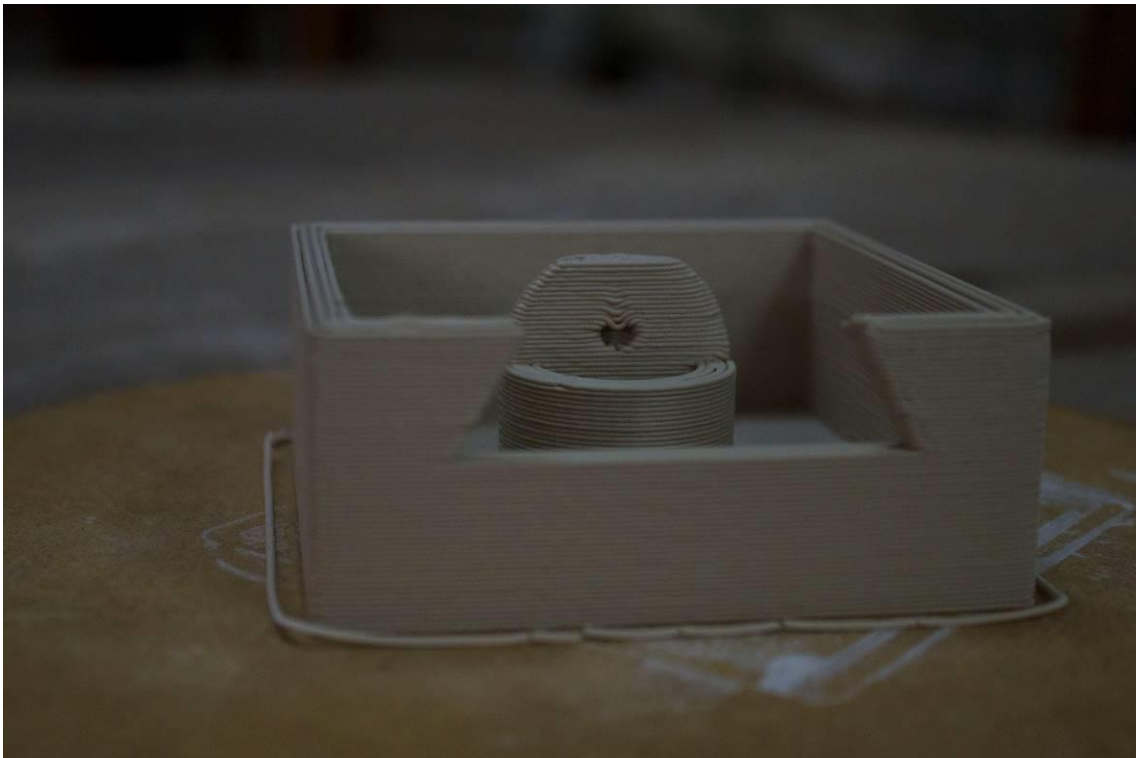


Imagen 114 Impresión 03818

Prueba 11

Para esta prueba volvemos a usar el modelado anterior. Y probamos una nueva composición de pasta, se le vuelve a subir el retardante a 10% y el fijador se baja al 5% (se pretende comprobar si se puede hacer un equilibrio retardando el secado y disminuyendo la plasticidad. También se añade un pequeño porcentaje de agua, en vez de un 30% lleva un 32% de la mezcla total.

Composición de la Pasta	700 g de sólido, 320 ml (10% emulsionante, 4% defloculante, 10% fijador, 7% retardante)
Inicio de la impresión	15 minutos a una presión de 5 bares
Desarrollo de la impresión	-El filamento se corta -Las capas se superponen demasiado
Observaciones	-El desplazamiento hace un surco en la base -Se necesita una pasta más pegajosa.



Imagen 115 Impresión 031518

Los problemas propuestos en su día, hoy se conoce que el motivo de esta es falta de presión durante la impresión.

Prueba 12

En esta prueba se utiliza la masa de la prueba 11 donde se añadió 16 ml de agua, ya que pasaron 5 días desde la prueba anterior. La impresión salió satisfactoriamente pero con irregularidades en las capas.

Como novedad, se prueba una nueva base de impresión, un cuadrado de vidrio. Esto supone una mejora en comparación al círculo de DM que se combaba con el uso, pero la adherencia sobre la lámina del vidrio no es idónea porque desliza la pasta. Para solucionar esto se generó una película de porcelana.



Imagen 116 Proceso de impresión

Composición de la Pasta	700 g de sólido, 320 ml (10% emulsionante, 4% defloculante, 10% fijador, 7% retardante y 69% de agua)
Inicio de la impresión	15 minutos a una presión de 5 bares
Desarrollo de la impresión	-La pasta aparentemente correcta, quizás le falta más fluencia o quizás sea demasiada plástica -Las capas son irregulares
Observaciones	-Quitar defloculante para conseguir una pasta menos pastosa -Se podría revisar el flujo de la impresión para solucionar un resultado un poco pastoso



Imagen 117 Impresión 032018



Imagen 118 Vista superior de la pieza

Prueba 13



Imagen 119 progreso de la impresión

EL inicio del diseño se realizó bastante preciso, pero al llegar a la zona curva en voladizo se produjo un hundimiento de la estructura que quedaba por encima. Esto repercutió en el resto de la impresión ya que se encontraba desfasada la altura de la pieza respecto al extrusor generando esta especie de fideos desordenados.

Composición de la Pasta	500 g de sólido, 155 ml (10% emulsionante, 5% fijador, 7% retardante y 78% de agua)
Inicio de la impresión	13 minutos a una presión de 5 bares
Desarrollo de la impresión	<ul style="list-style-type: none"> -La pasta aparentemente correcta -Las capas son mucho más regulares que la prueba anterior -Impresión a 6 bares -En la estructura con voladizo se produjo hundimiento
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> -Las zonas superiores le faltaba flujo, probar subiendo presión -Cambiar relleno de líneas a concéntrico, para que no fuerce a la pieza -Subir la altura de capa de 0.6 a 0.8 para que se solapen menos cada capa

En la sección se puede observar que en la parte de voladizo se produce un aplastamiento de la estructura, para solucionar esto se podrían generar unos soportes.

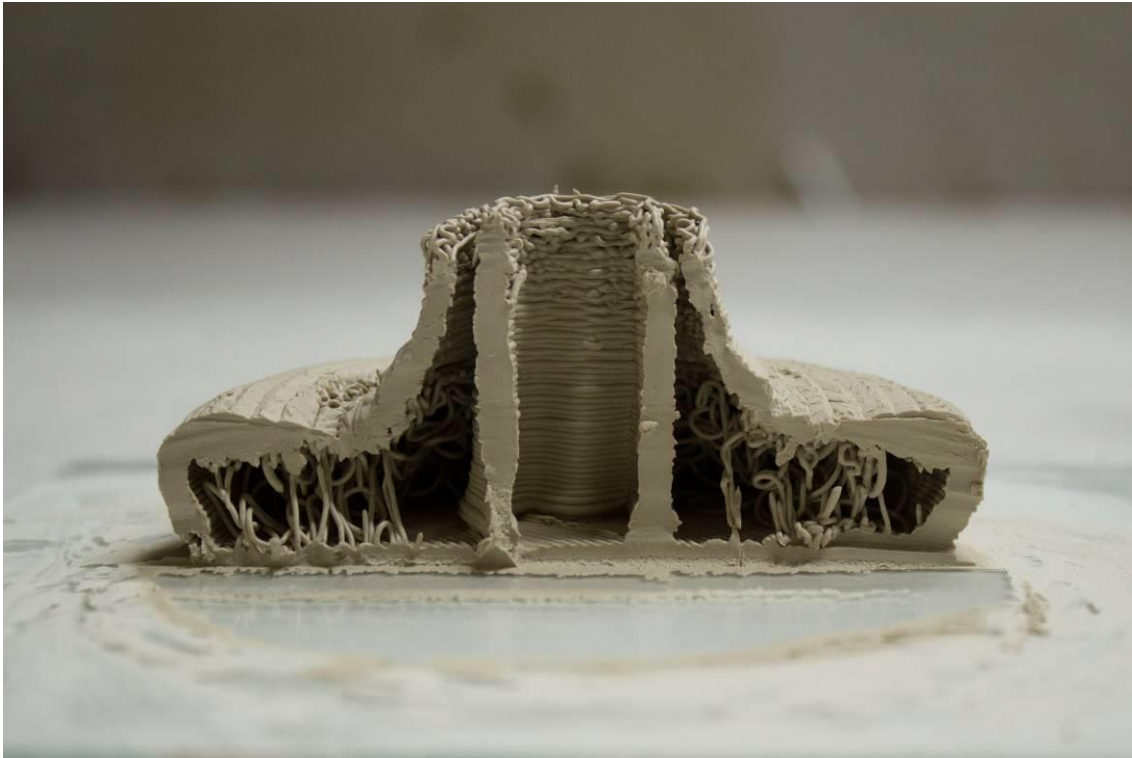


Imagen 120 Sección de la impresión 032218

Prueba 14

Normalmente la pasta para que su uso sea idóneo se tendrá que haber dejado reposar unos días. Lo que ocurre es que en el momento del amasado le aportas velocidad de creciente a las partículas, al moverlas están desordenadas y esto permiten que fluyan. Cuando se deja reposar la masa las partículas se asientan y hace que fluyan menos.

En esta prueba se aumentó la altura de capa a 0.8 mm respecto a los 0.6 de la prueba anterior, que daba como resultado una superposición de capas excesiva.

Composición de la Pasta	1000 g de sólido, 305 ml (10% emulsionante, 5% fijador, 7% retardante y 78% de agua)
Inicio de la impresión	13 minutos a una presión de 5 bares
Desarrollo de la impresión	-La base genera demasiado material sobrante -Se produce un paro de extrusión debido a una burbuja de aire considerablemente grande
Observaciones	-Amasar concienzudamente -Hacer el grosor de pared como la estructura interna para que haga líneas y no relleno entre capas.



Imagen 121 Impresión 032918

Prueba 15

En este caso se quiere comprobar una nueva fórmula añadiendo chamota blanca. La finalidad de esto es ver si se consigue una pasta con mucho más cuerpo, la chamota usada está compuesta de micro partículas. Se le adjuntará un 7% sobre el sólido. También bajamos el fijador para obtener una pasta menos viscosa, pero se mantiene un alto porcentaje de emulsionante para conseguir una pasta uniforme aun añadiendo la chamota.



Imagen 122 Impresión 042518

Composición de la Pasta	1500 g de sólido + 7% chamota, 490 ml (10% emulsionante, 3% fijador, 5% retardante y 81% de agua)
Inicio de la impresión	16 minutos a una presión de 5,5 bares
Desarrollo de la impresión	-La impresión se realizó a 6,5 bares -La pasta no queda homogénea -Obstrucción del extrusor
Observaciones	-Exceso de pasta en la base -No se puede incorporar la chamota a mano porque no queda homogeneizada y obstruye la boquilla. Igual sería viable para boquillas más grandes.

Prueba 16

Viendo que la porcelana usada hasta ahora no responde del todo bien a nuestras exigencias, probaremos con porcelana de torno ajustándola bajo nuestros requerimientos. La porcelana de torno posee un porcentaje mayor de caolín, esto se traduce a que necesita más agua. Hasta ahora estábamos usando un porcentaje del 30% de agua y ahora pasaremos al 50%, matizar que también probaremos bajando cantidad de emulsionante y fijador. La composición exacta es 19% de fundente de alta, 15% de cuarzo, 7 %bentonita, 51% de caolín y un 10% de circonio. La bentonita se encarga de aportar plasticidad mientras que el cuarzo y el circonio son áridos que otorgan elasticidad quitando un poco de plasticidad.

Se ha comenzado a usar como base de impresión un Slim de porcelana cocida, que hace que se adhiera perfectamente con solo humedecer la superficie.



Imagen 123 Proceso de impresión

Composición de la Pasta	1200 g de sólido, 600 ml (4% emulsionante, 3% fijador, 5% retardante y 88% de agua)
Inicio de la impresión	10 minutos a una presión de 5,5 bares
Desarrollo de la impresión	-La impresión se realizó a 6,5 bares -La pasta responde muy bien a formas orgánicas, creando capas uniformes
Observaciones	-Relación de altura de capa, punto de la pasta y presión adecuados

Altura de capa	0.8 mm
Altura inicial	0.8 mm
Ancho línea	1.2 mm
Grosor superior/inferior	2.4 mm
Superposición de relleno	1.2 mm
Patrón	Líneas
Velocidad impresión	40 mm/s
Velocidad relleno	40 mm/s
Distancia de retracción	6 mm
Velocidad de retracción	80 mm/s



Imagen 124 Impresión 05318

Prueba 17

La pasta de porcelana conseguida se puede considerar la definitiva, por su integridad, elasticidad y comportamiento al ser extrusionada como un filamento de 1.2 mm.

A partir de ahora nos disponemos a definir la configuración de la impresión y el comportamiento de la pasta. Dado que la impresión de la prueba anterior actuó de forma correcta, esta vez probamos con la misma configuración.

Composición de la Pasta	1200 g de sólido, 600 ml (4% emulsionante, 3% fijador, 5% retardante y 88% de agua)
Inicio de la impresión	11 minutos a una presión de 5 bares
Desarrollo de la impresión	-La pasta se extruye aparentemente bien -Una vez avanza la impresión se observan irregularidades en las capas
Observaciones	-La irregularidad y exceso de pasta impresa puede venir relacionado por un exceso de presión y por algunas zonas de la geometría.



Imagen 125 Detalle de la impresión de logos Imagen 126.1 Impresión 05818

Prueba 18

En esta prueba se quiere probar la exactitud de producción. Se dispone a imprimir una estructura de una lámpara, para su viabilidad de fabricación mediante la tecnología 3D se imprimirá en dos mitades.

Composición de la Pasta	1200 g de sólido, 600 ml (4% emulsionante, 3% fijador, 5% retardante y 88% de agua)
Inicio de la impresión	14 minutos a una presión de 5.5 bares
Desarrollo de la impresión	-En la primera prueba: Imprimiendo a 6.5 bares se puede observar un exceso de material extruido -En la segunda prueba: Imprimiendo a 5.5 bares la impresión es correcta, no extruye exceso de material y por lo tanto respeta mucho más las medidas estipuladas
Observaciones	-Aun siendo la misma pasta puede variar su comportamiento por matices de su viscosidad final. Un buen resultado se obtendrá con un seguimiento de la impresión y regulación personalizada a cada impresión.

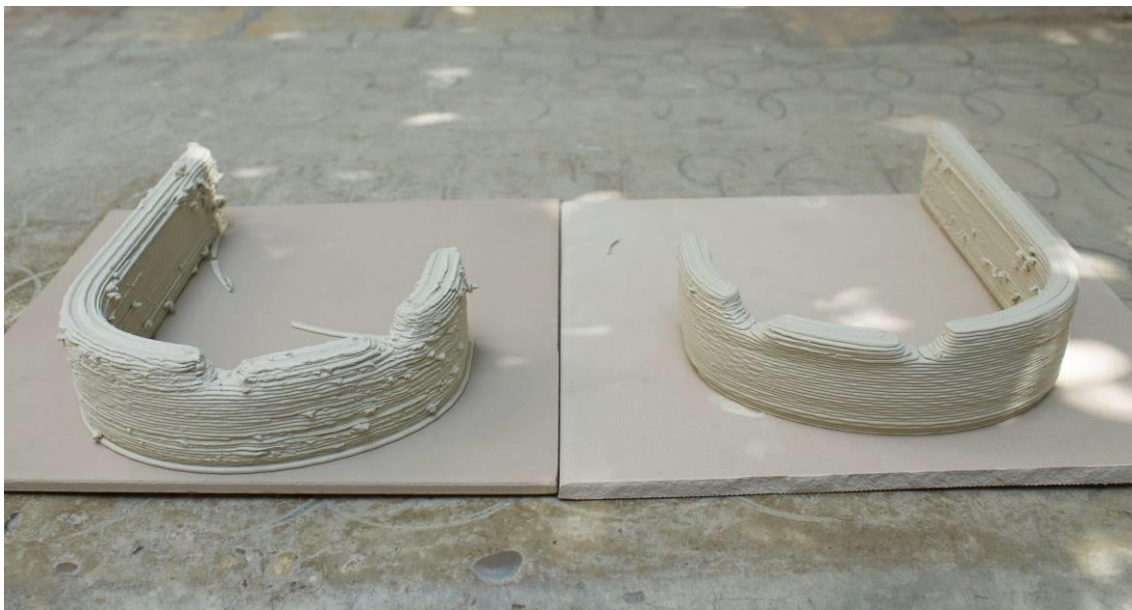


Imagen 127 A la izquierda la primera prueba y a la derecha la segunda

La impresión pese a dar un resultado óptimo, difiere el espesor modelado del real impreso. Esto se puede dar a que la pasta se encuentra un poco más fluida de lo adecuado o que aún se le está aplicando demasiada presión. Aun así se tiene que tener en cuenta el cuándo se deposita el filamento este se aplasta deformando la medida del espesor real.



Imagen 128 Repetición de la prueba fallida

La prueba fallida se volvió a imprimir con los valores de presión correctos y como era de esperar la impresión fue satisfactoria. Como se puede observar en la imagen hay una uniformidad en las capas. A continuación se deberán unir las dos piezas y dejarlas secar antes de cocer. Para ello se hizo un poco de barbotina que se aplicó en las juntas que iban en contacto, una vez colocadas en su posición para aplicar un poco de presión continua se depositó una baldosa. Entre ambas baldosas se insertaron a modo de columnas de sujeción tres pilares con la misma masa que se había usado para la pieza. De esta forma cuando contraiga la pasta lo harán bajo el mismo porcentaje, tanto la pieza como las columnas. Asegurándonos que no quede volando la baldosa superior ni deje de aplicar la presión requerida.



Imagen 129 Unión de las dos partes

Una vez seca la pieza, se quiso dar un acabado liso. Para esto se lijo y esponjó. Posteriormente se tendrá que cocer. Esta estructura forma parte de una lámpara donde una parte está realizada con la impresora 3D mientras que parte de la pantalla la torneó Juan Carlos Ñesta.



Imagen 130 Pieza 051118 acabada



Imagen 131 lñesta torneando la pantalla

La parte que encaja con la estructura se trata de una pequeña pieza que se introduciría en los agujeros y encajaría con la pequeña pestaña que posee. Esta pieza se fabricó con la impresora, ya que una de las facultades de esta herramienta es la precisión de fabricación, siendo esto uno de los valores que podría aportar a la artesanía tradicional.

Para hacer esta pieza, se probó la impresión mediante una sola pasada del extrusor en cada capa. Esto quiere decir que cada capa tendrá aproximadamente el grosor del filamento, aunque siempre es superior dado que este se aplasta por el mismo extrusor

dándole consistencia a la estructura. Para unir la pieza a la pantalla torneada se ralló las superficies de contacto y se aplicó un poco de barbotina.



Imagen 132 Parte de atrás de la pantalla Imagen 133.2 Pos procesado de la pantalla

Prueba 19

Seguimos con ideas de lámparas. Esta vez se arriesgó demasiado. Se pretendía hacer una campana de 25 cm de alto, porque lo que está el factor tamaño, con curvas en voladizo y una apertura vertical, que rompe la fuerza que ejerce una estructura cerrada. Teniendo en cuenta estas características formales era alta la probabilidad de fracaso, de hecho así fue. Pero se sacaron muchas conclusiones.



Imagen 134 Lámpara con hundimiento

Composición de la Pasta	1200 g de sólido, 600 ml (4% emulsionante, 3% fijador, 5% retardante y 88% de agua)
Inicio de la impresión	4 minutos a una presión de 4 bares
Desarrollo de la impresión	-Altura de capa 0,6 mm -En la primera curva se comienza a hundir por el peso sobre el voladizo
Observaciones	-La pasta se llevó a un punto más blando, estas rectificaciones se tienen que hacer pensando en la formalidad de la pieza. En este caso requería más dureza para un mayor aguante

Prueba 20

En esta ocasión nos decidimos por probar la coloración de la pasta. Usamos la pasta definitiva, a la que se le añadió un 15% de color rojo en polvo sobre sólido. En nuestro caso 150 g de color para 1000 g de sólido. Para ello se va incorporando poco a poco a la pasta incorporando un poco de agua, ya el colorante absorbe bastante la humedad. Una vez queda homogéneo el color, se pasa a la integración de la pasta, donde se desgarran trozos que se tiran sobre la mesa de amasado. Lanzando trozo sobre trozo se eliminan las pequeñas partículas de aire.



Imagen 135 Aplicación del color Imagen 136.1 Integración de la pasta

Composición de la Pasta	1000 g de sólido + 15% color, 500 ml (4% emulsionante, 3% fijador, 5% retardante y 88% de agua)
Inicio de la impresión	12 minutos a una presión de 5.5 bares
Desarrollo de la impresión	-Impresión a 6 bares -La altura de capa -La impresión se comportó de forma correcta aunque se produjeron pequeñas ondulaciones en la capa, seguramente producidas por un exceso de presión -Pérdida de definición en la curva del asa, debido al relleno
Observaciones	-Las geometrías en curva pierden definición -Se debe ajustar más la presión

La base se efectuó correctamente y en general las capas eran uniformes, aunque se producían pequeñas ondulaciones. Se puede observar en la unión del asa con el cuerpo que se acumula un poco de material, esto es debido a que en esa zona el espesor es mayor a 2.4 mm de forma que crea relleno entre capas y esto produce exceso de material. El mismo problema sucede en la curvatura superior del asa, al tener la superficie más horizontal la sección es superior al espesor del resto y rellena los huecos, esto crea exceso de material que arrastra a las zonas externas de la pieza.

Aunque las capas no tuvieron el acabado que se esperaba y en el asa tampoco, la pieza supuso un gran avance en la investigación. Primero se trataba de una pieza de gran tamaño, se comprobó que es factible hacer estructuras con ciertos voladizos como las asas y sobretodo se creó un objeto funcional y no meramente decorativo.

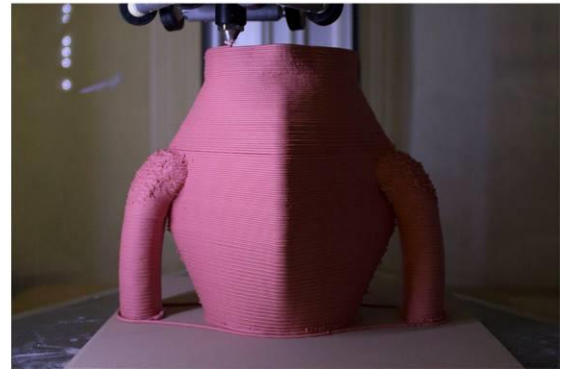
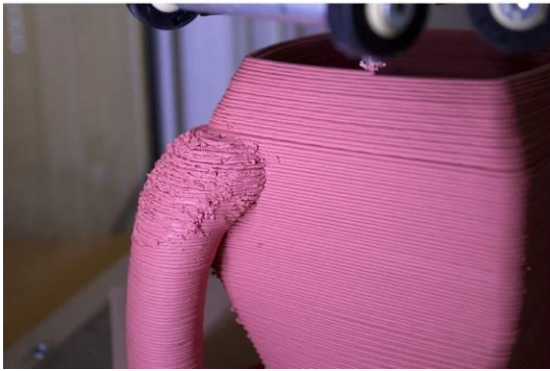
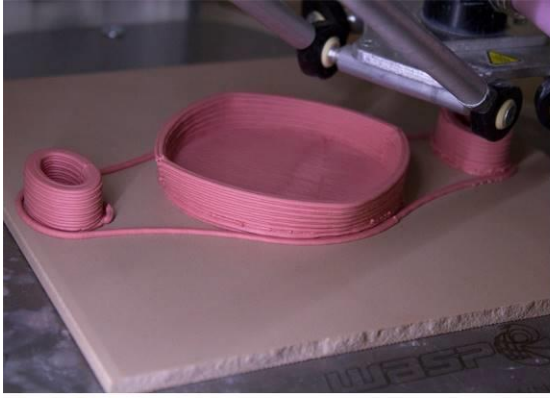


Imagen 137 Vista de la base interior Imagen 138.1 Vista de la unión del asa con el cuerpo

Imagen 139.2 Vista del asa exteriormente Imagen 140.3 Impresión 051618



Imagen 141 Pequeño escarabajo en la tetera

8. Casos prácticos

La tetera con tapa

Con este diseño pretendía que la tecnología traída por el diseñador y la artesanía traía por las manos de Juan Carlos Lñesta (Domanises) se encontraran en un punto medio. Este sería un diámetro de 10 cm, que representaría la abertura de la tetera, el resto sería imaginación por parte de ambos lados. También se pretendía probar la impresión de partes en voladizo sin el uso de sujeciones.

Búsqueda formal

Primero se trató de crear una pieza que pusiera a prueba una estructura voladiza y que tuviera un orificio donde se pudiera encajar la pieza que tornearía el artesano. Entre todas las ideas, alternativa seleccionada fue elegida por su viabilidad en la impresión, su cumplimiento de los requisitos y por su valor estético.

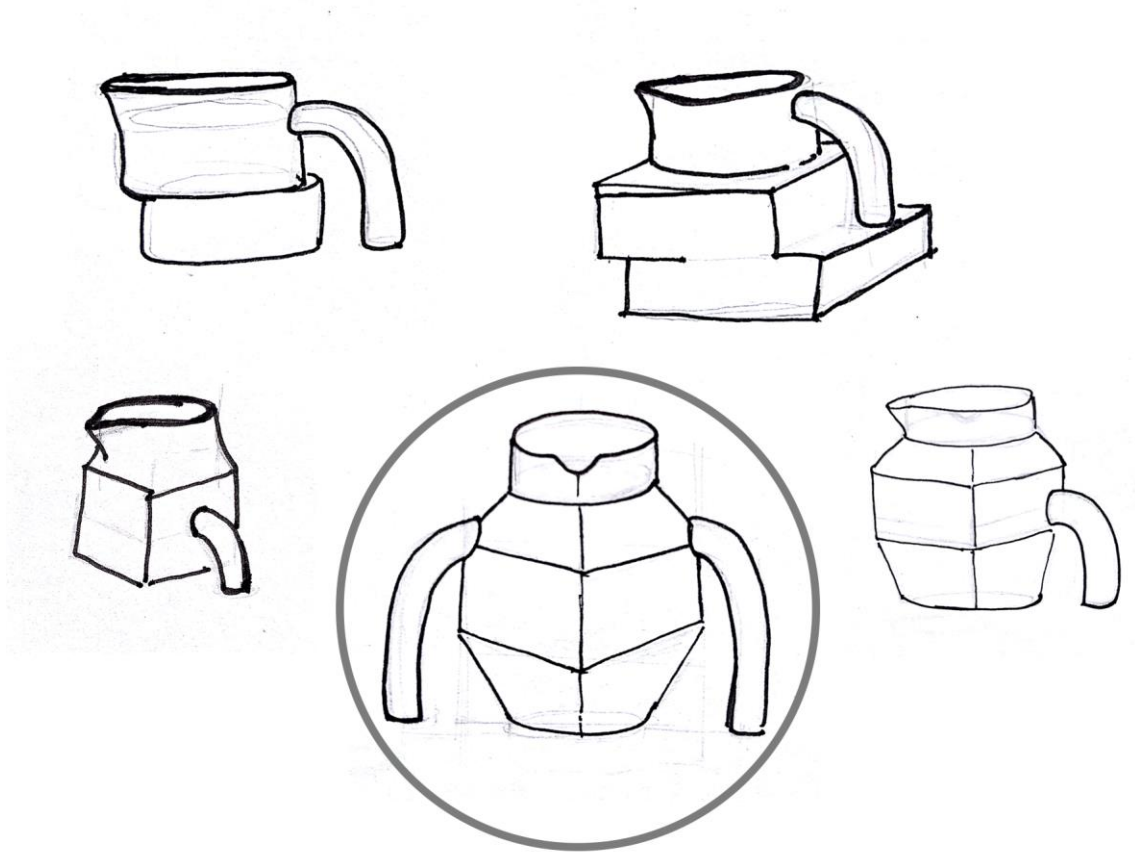


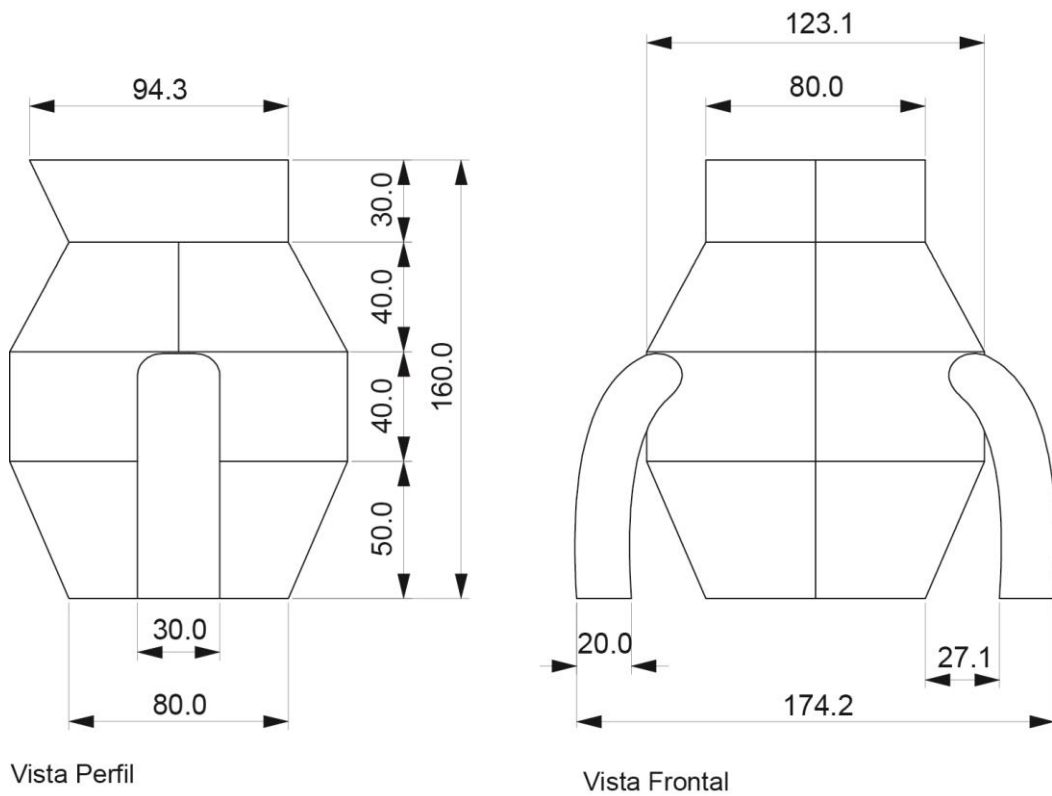
Imagen 142 Búsqueda formal de la Tetera

Alternativa seleccionada



Imagen 143 Representación fotorealista de la Tetera

Dimensiones generales



Vista Perfil

Vista Frontal

E 1:3

Imagen 144 Planimetría de la Tetera

Fabricación de la parte artesanal

El propósito de este diseño era la integración de la tecnología en la tradición cerámica. Esta segunda corrió a cargo del ceramista Juan Carlos Iñesta (Domanises), donde torneó varias tazas. En cuanto a su diseño tenía total libertad excepto en el diámetro del borde, ya que sería el encuentro de la artesanía con la impresión 3D.



Imagen 145 Juan Carlos Iñesta torneando las tazas

Resultado final

El producto resultante de la fusión de estas dos técnicas consiste en una tetera donde la tapa a su vez son tazas para servir el té.



Imagen 146 Tetera impresa en porcelana y Tazas torneadas

Portalápices

Algo interesante que ofrece la impresora 3D es la creación de paredes internas, cosa que mediante la artesanía cerámica supone un gran esfuerzo y a veces imposible por la complejidad de acceder a ciertas partes de la pieza. Por este motivo se consideró interesante generar productos útiles que tuvieran este tipo de geometrías.

Búsqueda formal

Como se ha comentado un factor complicado de ejecutar son las paredes internas, por lo que bajo este criterio se plantearon varias opciones. En ambos casos los diseños definitivos fueron seleccionados por su aportación estética y funcional, ya que ambas poseen distintos compartimentos con capacidades distintas.

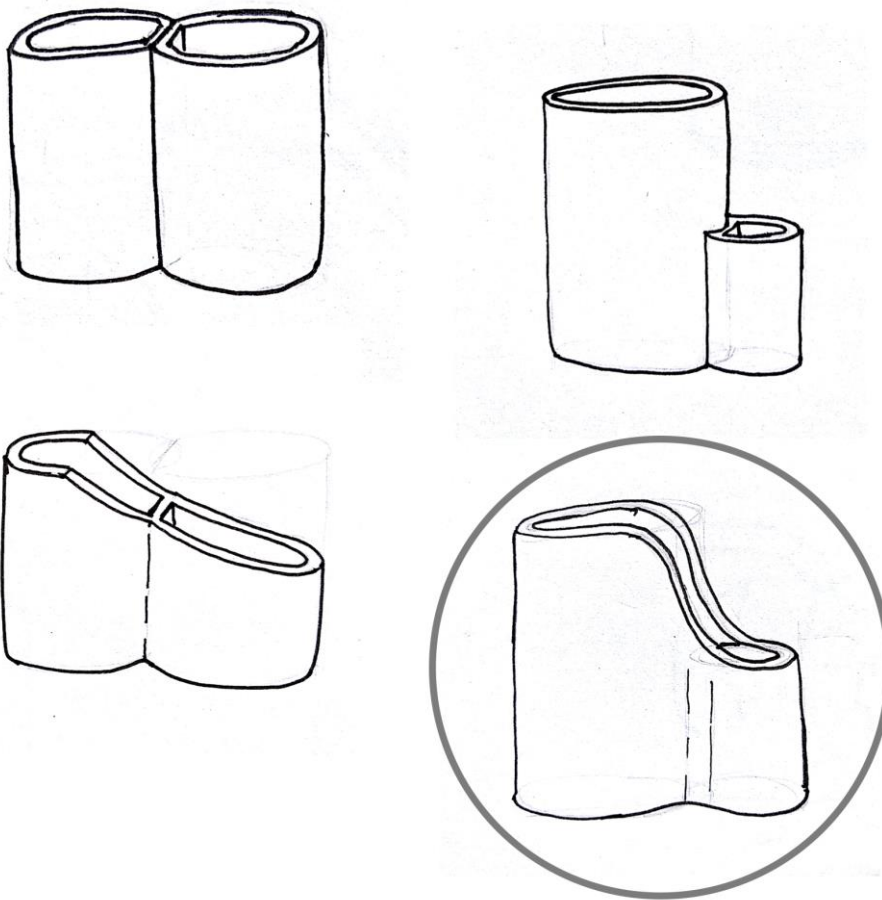


Imagen 147 Búsqueda formal del Lapicero 1

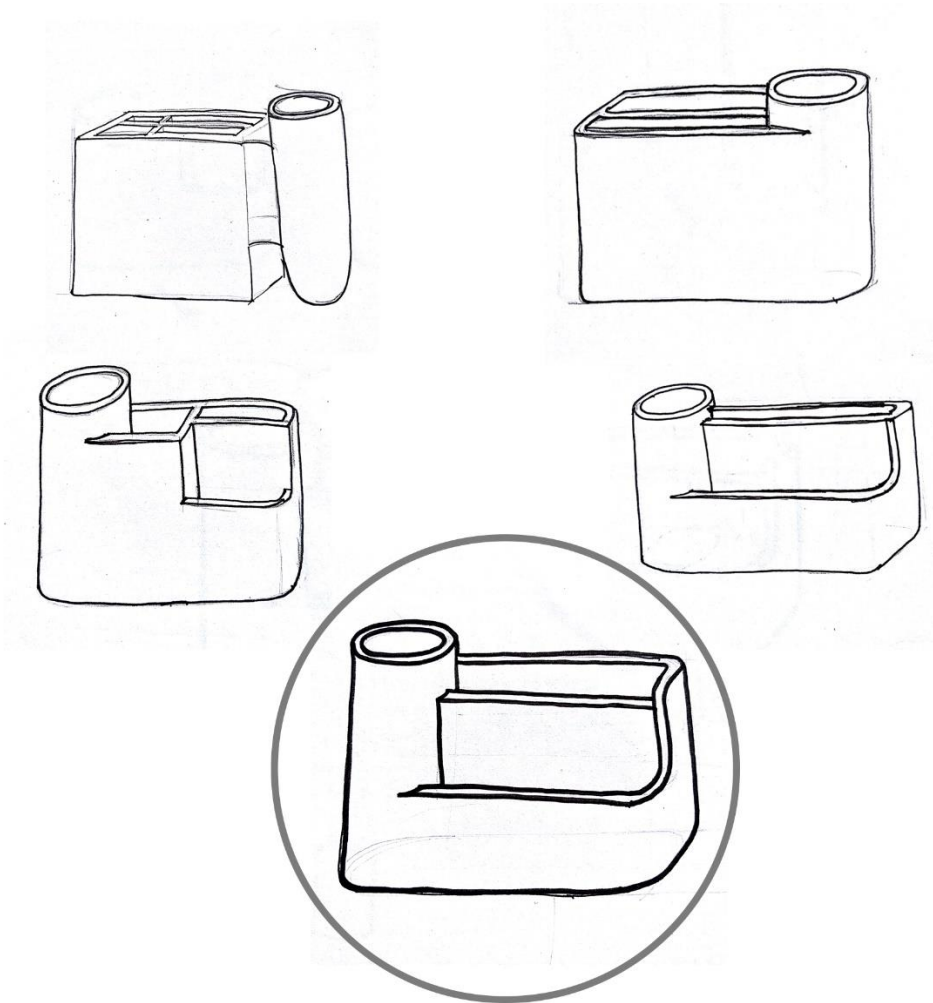


Imagen 148 Búsqueda formal del Lapicero 2

Alternativas seleccionada

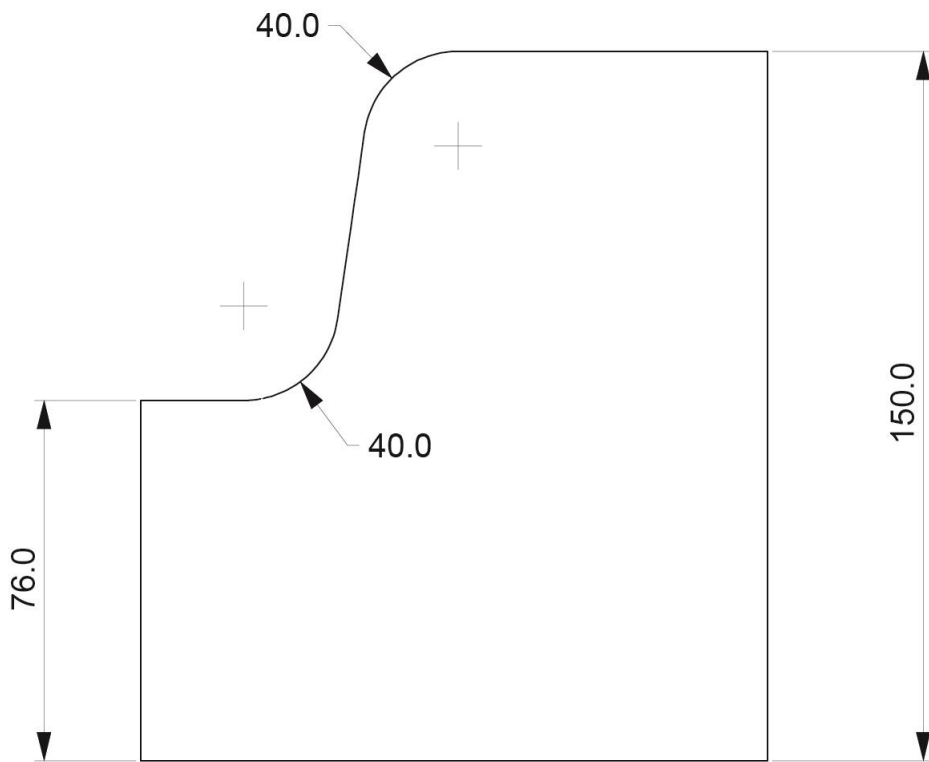


Imagen 149 Representación fotorealista del Lapicero 1

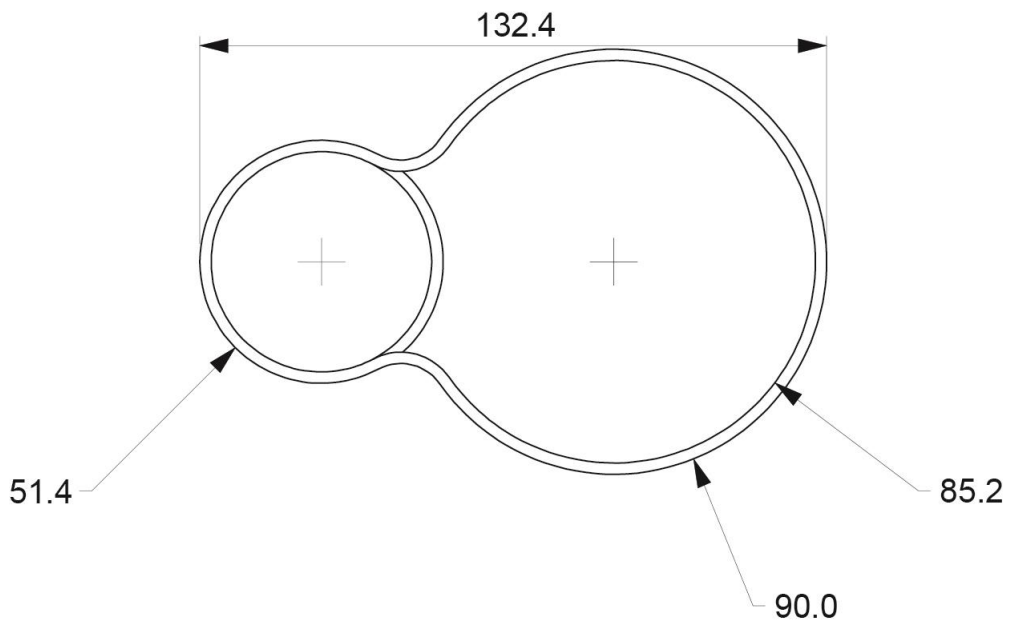


Imagen 150 Representación fotorealista del Lapicero 2

Dimensiones generales

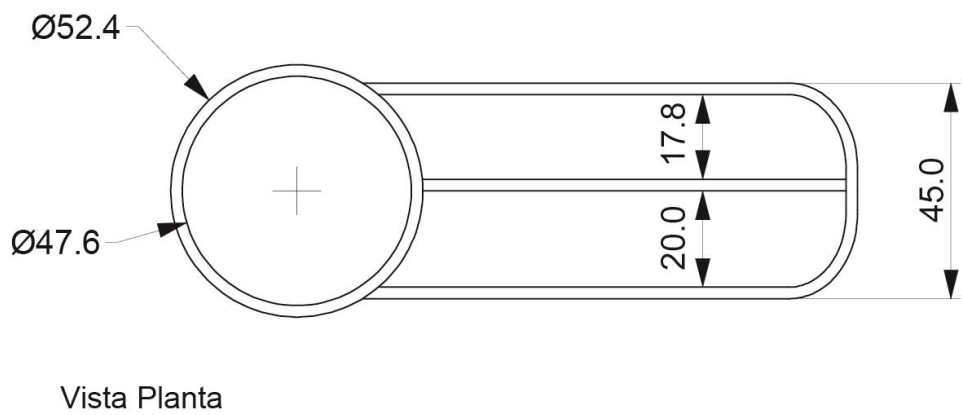
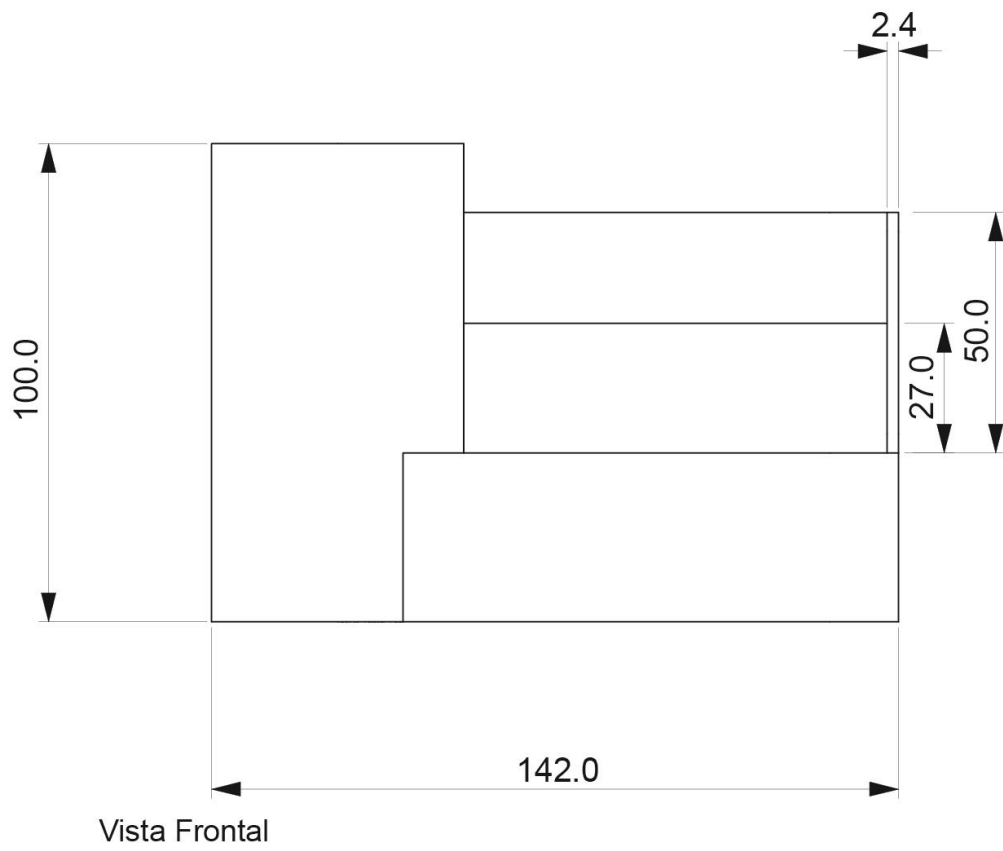


Vista Frontal



Vista Planta

E 1:2



E 1:2

Resultado final

Los productos finales cumplieron con los requisitos de funcionalidad y completación a la artesanía. A parte, su estética y proporciones fueron muy satisfactorias.



Imagen 153 Lapicero 1 impreso en porcelana



Imagen 154 Lapicero 2 impreso en porcelana

9. Desenlace de la investigación

Nos encontramos en la era donde reina lo instantáneo, lo intangible y la exigencia de la perfección. Cuando el ser humano precisamente es un ente lento en evolucionar, que vive de los sentidos y posee imperfecciones por donde se mire. Es incomprensible cómo se está llegando a esta desconexión de lo que somos nosotros mismos.

Esto no quiere decir que haya que oponerse al progreso y a la tecnología, de hecho hay que acogerlas. Pero nunca se deberían perder las interacciones entre personas, ni las sensaciones y aprendizajes que solo trabajando con las manos podremos obtener. La tecnología 3D ha supuesto una revolución y evolución absoluta a nivel mundial, cambiando nuestra forma de vida en muchos aspectos y, sobre todo, a nivel personal, ya que tiene esa gran característica que es la personalización absoluta.

Pero en el sector del diseño ha entrado por la puerta grande sin cuestionar ciertos valores, como la interacción que se crea al trabajar el prototipo a mano o como, en el caso de la cerámica, que sustituya al trabajo artesanal.

Con este trabajo he querido mostrar la aportación que puede suponer la impresión 3D a la cerámica, como hemos podido ver en los casos prácticos finales, como herramienta complementaria al torno o a las manos del artesano.

Al principio de la investigación, antes de comenzar la colaboración con Domanises y Diez Ceramic, pensaba que este trabajo iba a basarse plenamente en indagar los avances de la tecnología. Pero fue en este taller de Manises donde comprendí que sin las técnicas cerámicas no llegaría muy lejos. Entonces concluí en que no se puede huir ni de los valores ni del propio oficio artesanal, sea la era que sea.

A partir de aquí decidí que mi proyecto consistiría en conocer primero la materia prima a la que me enfrentaba, que en mi caso sería la porcelana. Luego tendría que comprender a mi herramienta, que en mi caso sería la impresora 3D; y por último debería crear objetos funcionales que crearan una comprensión entre lo artesanal y lo tecnológico y apoyar donde la artesanía tradicional no pueda llegar.

10. Webgrafía

- 3d Print.* (s.f.). Obtenido de <https://3dprint.com/90082/wasp-3d-printing-light/>
- 3D System.* (s.f.). Obtenido de <https://es.3dsystems.com/resources/information-guides/multi-jet-printing/mjp>
- 3D Systems.* (s.f.). Obtenido de historia: <https://es.3dsystems.com/our-story>
- 3D Systems .* (s.f.). Obtenido de Solutions: <https://es.3dsystems.com/solutions#by-industry>
- 3ders.* (s.f.). Obtenido de <http://www.3ders.org/articles/20140721-italian-designer-3d-printing-with-waste-coffee-and-clay-composite.html>
- alterfacat.* (s.f.). Obtenido de <https://www.alterfact.net/>
- Blog de Benxamin.* (s.f.). Obtenido de <http://elblogdebenxamin.blogspot.com/2009/03/composicion-de-la-porcelana.html>
- Bq.* (s.f.). Obtenido de <http://diwo.bq.com/impresoras-3d-cartesianas-vs-delta/>
- Ceramic Dictionary.* (s.f.). Obtenido de <http://ceramicdictionary.com/es/>
- cfileon.* (s.f.). Obtenido de <https://cfileonline.org/art-technology-francesco-pacelli-demonstrates-wasps-3d-printed-ceramics-contemporary-ceramic-art/>
- clpu.* (s.f.). Obtenido de <https://www.clpu.es/divulgacion/bits/que-es-un-laser-pulsado>
- cos.* (s.f.). Obtenido de https://www.cosstores.com/en_eur/explore/projects/design/cos-x-olivier-van-herpt.html
- formlabs.* (s.f.). Obtenido de <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
- GrabCAD.* (s.f.). Obtenido de <https://grabcad.com/>
- Instructurables.* (s.f.). Obtenido de <http://www.instructables.com/id/Clay-Natural-Refrigerator-botijo/>
- keep art.* (s.f.). Obtenido de <http://www.keep-art.co.uk/index.htm>
- Make Magazine.* (s.f.). Obtenido de <https://makezine.com/2016/09/22/3d-printing-ceramics-self-built-3d-printer/>
- Manises Foro.* (s.f.). Obtenido de http://www.manises.com/forum/forum.asp?FORUM_ID=15
- Olivier Van Herpt.* (s.f.). Obtenido de <http://oliviervanherpt.com/>
- Periódico El Mundo.* (s.f.). Obtenido de <http://www.elmundo.es/pais-vasco/2016/11/19/583020d2e5fdeac4758b4591.html>
- RB ceramics.* (s.f.). Obtenido de <https://www.rbc ceramics.com/>
- Sculpteo.* (s.f.). Obtenido de <https://www.sculpteo.com/blog/2017/03/01/whos-behind-the-three-main-3d-printing-technologies/>

Sculpteo. (s.f.). Obtenido de <https://www.sculpteo.com/en/glossary/3d-printed-wax/>

Taekyeom Lee. (s.f.). Obtenido de http://portfolio.taekyeom.com/2016_003.html

Tom Lauerman. (s.f.). Obtenido de <https://tomlauerman.com/3d-printing-in-clay-1/>

U Texas. (s.f.). Obtenido de <http://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-birth-of-an-industry#ch4>

unfold. (s.f.). Obtenido de <http://unfold.be/>

United States Patent. (s.f.). Obtenido de <http://patft.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnethtml%2FPTO%2Fsrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=4247508.PN.&OS=PN/4247508&RS=PN/4247508>

Univesity of Texas. (s.f.). Obtenido de <http://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-birth-of-an-industry>

Wasp project. (s.f.). Obtenido de <http://www.wasproject.it/w/en/ceramic-art-and-3d-printing/>

wiki, w. (s.f.). *wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Estereolitograf%C3%ADa>

wikipedia. (s.f.). Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/Chuck_Hull

wikipedia. (s.f.). Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing#History

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/S._Scott_Crump

Wikipedia. (s.f.). Obtenido de Scott Crump: https://en.wikipedia.org/wiki/S._Scott_Crump

