

LABORATORIO DE MATERIALES CERÁMICOS, FACULTAD DE
QUÍMICA, UNAM.

Manufactura aditiva del Laboratorio de Materiales Cerámicos

Clave SAE XCAD000985

PRESTADOR DEL SERVICIO SOCIAL

Estrella de Abril Hernández Chávez

2162036920

Licenciatura en Diseño Industrial, CYAD.

PERIODO DE DURACIÓN

Del 21 agosto de 2023 al 21 de marzo de 2024.

RESPONSABLE Y ASESOR DEL PROYECTO

Dra. María de Lourdes Chávez García

ÍNDICE

Introducción

Objetivos generales

Actividades realizadas

Metas alcanzadas

Resultados y conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía y Referencias electrónicas

Portafolio

INTRODUCCIÓN

El grupo de investigación del Laboratorio de Materiales Cerámicos se ha centrado en la investigación y desarrollo de pigmentos cerámicos con propiedades luminiscentes y magnéticas; nanocompuestos de arcillas con hierro magnético para la remediación de suelos y lagos contaminados; geopolímeros para la industria de la construcción en sustitución del cemento Portland y los biomateriales cerámico-polímero, entre otros muchos. Hace cuatro años, se inició la síntesis de biomateriales por impresión 3D en el desarrollo de andamios para aplicaciones médicas en sustitución y reemplazo óseo. Por lo que la fabricación aditiva se convirtió en eje de crecimiento, limitada por la pandemia. El proyecto presente se inicia con el fin de ampliar la impresión por inyección de pastas cerámicas. De esta forma, se continúa la labor principal de la Universidad, de formar a los profesionistas a través de la exploración de las tecnologías avanzadas, entre la que destaca la fabricación aditiva y su potencial de investigación y producción, dentro de la llamada industria 4.0.

OBJETIVOS

Objetivo general

El objetivo del proyecto fue implementar la sección de impresión 3D en el Laboratorio de Materiales Cerámicos de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. Con el propósito de realizar tareas de investigación y docencia, que apoyen los proyectos de investigación en el futuro con esta tecnología.

Objetivos particulares

El objetivo del proyecto del servicio social es apoyar en el desarrollo y funcionamiento de la sección de la impresión 3D tanto por filamento, como por inyección de materiales cerámicos. Los objetivos de aprendizaje para el prestador de servicio social son:

- Adquirir y profundizar los conocimientos de la tecnología de manufactura aditiva de modelado por deposición fundida y de pastas cerámicas; así como, sus ventajas y sus limitaciones.
- Adquirir un conocimiento práctico en la utilización de las máquinas, los materiales y los equipos.
- Conocer las distintas tecnologías y los materiales empleados hasta la actualidad en la fabricación aditiva y analizar las posibilidades que ofrecen.
- Desarrollar el sentido crítico; ampliar la capacidad en la toma de decisiones; facilitar el desarrollo de la creatividad en la solución de problemas específicos; mejorar su habilidad en el trabajo de equipo, comunicación, uso de herramientas y software especializado.

ACTIVIDADES REALIZADAS

La sección de la impresión 3D tanto por filamento como por inyección de materiales cerámicos, para su desarrollo y funcionamiento, se conformó en tres etapas:

Primera

etapa

En la primera etapa, el apoyo para la investigación del funcionamiento de las máquinas, consistió en poner en marcha las impresoras, tanto la 3D Flashforge Creator Pro 2, específicamente con su módulo para impresión por filamento, así como, la Impresora 3D MakerMex MM1, con sus módulos, para impresión por filamento y para pasta, figura 1 (ver portafolio). Además, el funcionamiento de la extrusora de polímero Filastruder, figura 2 (ver portafolio). En cuanto a los materiales para impresión, la investigación se centró en los disponibles para uso en el laboratorio, que fueron los filamentos para impresión PLA y ABS; los tipos de pastas cerámicas y la investigación de los geopolímeros. En el caso del software, se me permitió elegir los programas, de acuerdo a mi experiencia, el Rhinoceros y el Meshmixer para el modelado de piezas en 3D; así como, el UltiMaker Cura y el FlashPrint para el laminado de los modelos 3D, los que me permitieron ajustar los parámetros para la impresión.

El método de impresión a utilizar durante el proyecto se delimitó a la deposición fundida, FDM (por sus siglas en inglés), que es uno de los más utilizados, debido a su costo bajo y sencillez. Esta técnica es empleada en la fabricación de termoplásticos y materiales compuestos obligándolos a pasar a través de una boquilla que una vez depositada se solidifica al enfriarse. En cuanto a la deposición de pasta, PDM, la pasta se inyecta y se deposita a temperatura ambiente, solidifica por evaporación de agua o de los disolventes empleados (Ordoñez, 2019). Este tipo de impresión por inyección de pastas es una de las más recurridas para la impresión de materiales cerámicos.

Los manuales de la impresora Flashforge Creator Pro 2 y del extrusor Filastruder, se complementaron para el funcionamiento correcto de los equipos. Las impresoras se calibraron; en el caso de la impresora Flashforge requirió de mantenimiento ya que los cabezales de impresión se encontraron fuera de nivel.

Segunda etapa

En la segunda etapa, se realizaron las pruebas en ambos equipos, el Flashforge y el MakerMex, por medio de la modificación de los parámetros de impresión para definir los adecuados para cada una, de acuerdo a los materiales a utilizar.

Como se puede apreciar en las figuras 3, 4, 5 y 6 que aparecen en el portafolio, las impresiones con los polímeros ABS y PLA, se obtuvieron definidas y sin errores, después de diferentes pruebas; por lo que estos parámetros se asignaron como los óptimos para cada material dentro del laboratorio. Una vez terminadas las pruebas con los polímeros, se instaló el módulo para pastas en la impresora MakerMex MM1.

Para la impresión de las pastas cerámicas se realizaron pruebas diversas. La pasta cerámica utilizada es la codificada como KTD-7 de ARCICOR, para una temperatura de trabajo máxima de 1050 °C. La barbotina se preparó con 3.5 Kg de la pasta cerámica, con un tamaño de partícula a 125 µm; a la mitad de la pasta se le adicionó 1 lt de agua, con agitación constante y vigorosa; una vez que la pasta se volvió densa y sin grumos se le adicionaron 10 ml de silicato de sodio, Na₂SiO₃; posteriormente, se añadió 1 lt más de agua y 10 ml de Na₂SiO₃; para determinar la densidad

idónea, alrededor de 1.7 mg/ml, una semana antes de su uso final, se filtró y maduró; por último se tamizó, para asegurar que estuviera libre de grumos, basuras o piedritas.

La impresión de la pasta cerámica requirió menos parámetros en comparación con la impresión de los polímeros. Aunque el reto para la impresión 3D de las pastas cerámicas es la preparación previa a su impresión, la que está en función de la fluidez y a su vez ésta, de la densidad. Se puede apreciar la secuencia de impresión 3D para pastas cerámicas en la figura 7 del portafolio.

Las pruebas de impresión para la barbotina, con una densidad alta, se realizaron con las boquillas de calibre, 14G o 1.9 mm y 16G o 1.5 mm. En contraste, la pasta con una densidad baja, que resultó ser más fluida, con la boquilla 14G, en este caso la fluidez de la pasta evitó darle forma al modelo de impresión; para lo cual se ajustó con una boquilla calibre 16G; lo que, ayudó a que el hilo de la barbotina fuera más delgado, proporcionando estructura al modelo 3D; aunque no permitió detalles finos, las capas quedaron delimitadas.

La barbotina preparada con defloculante se dejó a la intemperie para eliminar el agua excedente, para obtener una pasta densa; con ayuda de una boquilla 14G, se imprimieron capas delimitadas y gruesas, generando estructuras resistentes.

Por último, las pruebas para una barbotina más fluida se decidió probar con la boquilla de punta metálica del mismo calibre que la plástica, de 14G; la impresión con la punta de metal permitió que el material fluyera, sin derramarse, y a su vez, proporcionó una textura lisa y uniforme, textura que no se obtuvo con las dos combinaciones previas, figuras 8 (revisar portafolio).

De esta etapa se obtuvieron, para cada tipo de material, los parámetros de impresión siguiente:

Polímeros-ABS y PLA, parámetros experimentales. Los parámetros elegidos para el polímero ABS, después de las pruebas preliminares, fueron la altura de la capa de 1.5 mm; la temperatura de impresión a 230 °C y para la cama de impresión a 95 °C; los ventiladores para el enfriamiento de la impresión, al 30%; la velocidad de impresión a 50 mm/s y la de retracción a 25 mm/s, con una distancia de 1 mm. Un error con la prueba para la impresión del ABS fue la colocación de los soportes en el modelado 3D; es de notar que los soportes hay que considerarlos al generar el modelo final para la impresión.

En el polímero PLA, los parámetros fueron altura de la capa 1.5 mm; la temperatura de la impresión a 190 °C y la de la cama de impresión a 60 °C; los ventiladores para el enfriamiento de impresión, al 100%; la velocidad de impresión 50 mm/s y la de retracción 25 mm/s, con una distancia de 1 mm.

Los parámetros para la impresión con barbotina densa fueron: el diámetro de la boquilla de 1.2 mm; la altura de la capa a 0.8 mm; la temperatura de impresión a 24 °C; mientras que, la cama de impresión, fue apagada; así como los ventiladores para el enfriamiento de impresión; la velocidad de impresión 15 mm/s; sin velocidad de retracción. El calibre de la boquilla utilizada fue 14G. De ésta manera la pasta fluyó de forma natural hacia la cama de impresión. Lo que se buscó con este diseño fue conocer las condiciones para controlar la fluidez de la pasta para la impresión, por lo que no requirió enfocarse en los detalles de la pieza.

Los parámetros para la impresión de la barbotina ligera fluida fueron, el diámetro de la boquilla a 0.9 mm la altura de la capa en 0.5 mm; la temperatura de impresión fue la del ambiente 24 °C y la de la cama de impresión, apagada; los ventiladores para el enfriamiento de impresión, apagados; la velocidad de impresión a 12 mm/s; sin velocidad ni distancia de retracción. Con la boquilla de calibre 16 G o 14 G/0.5 in; ambas boquillas fueron las adecuadas para este tipo de pasta.

Proceso de secado y sinterizado

En la impresión de las pastas cerámicas, la clave es contar con una suspensión de la barbotina sin flocular; para lo cual requiere que el uso de defloculante adecuado, para una fluidez que, en la extrusión no sea demasiado líquida o con demasiados sólidos que tapen el extrusor y las boquillas durante la impresión, que la deposición y el secado de las capas del material fuera de forma gradual.

La adición de silicato de sodio utilizado como defloculante presentó un efecto positivo sobre la pasta, evitó la precipitación de los sólidos, con la formación de aglomerados y cúmulos. Así mismo, durante la preparación de la barbotina fue importante adicionar los polvos de forma progresiva y lenta a la solución líquida, junto con el aditivo; para que, la formulación contuviera la cantidad del líquido requerido para impregnar los sólidos, permitiendo así, una pasta consistente, para provocar que el extrusor inyectara la barbotina para la impresión final a través de la boquilla de forma fluida, sin grumos y estable para su impresión.

Las piezas cerámicas, después del proceso de impresión, se secaron al exponerlas al aire, desde temperatura ambiente de 25 °C hasta 100 °C, por 24 h. Posteriormente, para su cochura fueron sometidas en horno, desde 100°C hasta 1100 °C de forma gradual y controlada; con rampas de calentamiento de 10 °C/min, mientras que se usaron 15 °C/min en el proceso de enfriamiento. Durante el procesamiento térmico, el agua se expulsó de forma gradual y controlada, para evitar fracturas, grietas, poros y porosidad en las piezas finales.

Tercera etapa

El manual para el módulo de pastas se revisó, complementó y completó para permitir hacer pruebas posteriores con otros tipos de pastas cerámicas.

El trabajo “Fabricación aditiva por impresión 3D de materiales cerámicos, polímeros y materiales compuestos”, se presentó en el XIV Congreso de Investigación y Docencia en Química (CIDIQ), en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco; y, el artículo fue publicado en la Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química 2023. En este trabajo se expusieron con detalle, los parámetros estudiados para la preparación de una suspensión estable y libre de aglomerados; como fueron, la carga y el tamaño de partícula de los componentes de la pasta; sus aditivos como fueron los dispersantes y los aglutinantes. De forma similar, los parámetros de procesamiento fueron considerados, por su influencia en la calidad de fabricación, incluida la altura de la capa, el diámetro de la boquilla, el flujo y la velocidad de impresión.

METAS ALCANZADAS

- El funcionamiento de las impresoras 3D se realizó con la elección de los parámetros, calibración y códigos de imágenes.
- Los softwares fueron elegidos para el modelaje y el diseño de las piezas para impresión.
- Las piezas de polímeros ABS y PLA se imprimieron por la técnica de deposición fundida y el método fue optimizado.
- Las pastas cerámicas fueron formuladas para su correcta inyección antes de ser impresas por la técnica de inyección de pastas y el método fue optimizado.
- Los resultados se presentaron en un foro académico internacional y se publicaron los resultados en una revista de impacto nacional.
- Se entrenó a un alumno en la impresión tanto por filamento para polímero, como para la impresión de un geopolímero, que es un material de sustitución del cemento Portland, por medio de la inyección de pastas; como parte de su servicio social y el desarrollo de la guía o manual para cada impresora se revisó, complementó y completó para contar con el manejo de cada técnica de impresoras del laboratorio.
- La investigación se utilizó de complemento para la tesis de licenciatura.

RESULTADOS

Y

CONCLUSIONES

En este trabajo, la investigación sobre Fabricación Aditiva y la realización de pruebas de impresión 3D para implementar la impresión 3D en el Laboratorio de Materiales Cerámicos; para realizar tareas de investigación y docencia, que apoyen los proyectos de investigación en el futuro permitió los resultados siguientes:

En la tecnología del modelado por deposición fundida y de pastas cerámicas, se adquirió experiencia y conocimiento en el diseño de productos cerámicos y termoplásticos; con el uso de tecnologías computacionales, con un enfoque tridimensional para manejar el diseño y las condiciones de procesamiento en la fabricación de estructuras con morfologías uniformes por ambas técnicas.

La impresión de la pasta cerámica se realizó previo el estudio tanto de la influencia de la composición de la barbotina, con el dispersante y la carga de los sólidos durante la fabricación aditiva; como, de la influencia de los parámetros de procesamiento para su impresión 3D.

La guía o manual de manejo para el uso de las técnicas de filamento de impresión de termoplásticos, así como para la inyección de pastas se obtuvieron previo conocimiento de los equipos; así como, del software necesario para el desarrollo de los modelos 3D.

De la investigación y el desarrollo experimental durante el Servicio Social, los conocimientos significativos obtenidos relevantes fueron:

- En la optimización del desempeño de los equipos de impresión 3D, es necesario profundizar en la composición de cada uno y del mantenimiento, para reducir los fallos operativos al momento de imprimir.
- Es prioridad conocer las características de cada equipo y material a utilizar para adecuar los parámetros de configuración en el software elegido para preparar la pieza de impresión. Los parámetros elegidos repercuten en el resultado de la impresión 3D.
- La aportación de la impresión 3D a la cerámica, es una herramienta alternativa al formado industrial y artesanal. Una clave para la impresión de cerámicas es conocer y acondicionar la pasta por medio del desfloculante adecuado para contar con una suspensión con una densidad que permita la fluidez adecuada para la impresión.
- El proceso de impresión 3D es sencillo de ejecutar a nivel operativo. Es suficiente con seguir el manual de pasos de cada equipo, por lo que se considera una tecnología accesible desde el punto de vista técnico. Con énfasis, que, para obtener resultados de calidad alta se requiere dominio profundo del software de impresión 3D, así como la preparación de las pastas cerámicas y el funcionamiento de las impresoras.
- La impresión 3D implica un cambio en la fabricación y diseño de piezas; la que está en función de la calidad y el diseño del modelo 3D, con la combinación de parámetros y el material para imprimir, lo que abre un mundo posibilidades en temas de Fabricación Aditiva.

En conclusión, la sección de impresión 3D en el Laboratorio de Materiales Cerámicos de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México se inició, para la impresión de termoplásticos y pastas cerámicas; para lo cual se cuenta con la guía o manual de instrucción para cada la inyección de termoplásticos y de pastas cerámicas. El conocimiento obtenido se difundió en una revista de difusión nacional y se entrenó un alumno para su preparación profesional.

El conocimiento se profundizó en los métodos de impresión 3D de la manufactura aditiva y del software necesario para filamentos de termoplásticos e inyección de pastas.

RECOMENDACIONES

El proyecto para implementar la sección de impresión 3D en el Laboratorio de Materiales Cerámicos requiere un trabajo continuo y de actualización para la optimización de los métodos. En la impresión para las pastas cerámicas se requiere una velocidad de inyección de la pasta eficiente, con la modificación del tornillo sin fin que expulsa la pasta; así como de un motor con más potencia y acortar la manguera de inyección de la pasta. Realizar pruebas de aditivo para la pasta para que en la manguera de expulsión de la pasta no se atasque y se elimine el aire ocluido de forma eficiente que facilite la impresión.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Lakhdar, Y., Tuck, C., Binner, J., Terry A., Goodridge R. (2021). [Additive manufacturing of advanced ceramic materials](https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100736). Progress in Materials Science 116 100736. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100736>.

Berchon, M., Luyt, B. (2016). Impresión 3D, Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona. ISBN: 978-84-252-2855-1

Bordignon, F., Iglesias, A.A., Hahn, A. (2018). Diseño e impresión de objetos 3D. UUNPE Editorial Universitaria. Libro digital. ISBN 978-987-3805-35-6.

Hu, F., Mikolajczyk, T., Pimenov, D.Y., Gupta, M.K. (2021). [Extrusion-Based 3D Printing of Ceramic Pastes: Mathematical Modeling and In Situ Shaping Retention Approach](https://doi.org/10.3390/ma14051137). Materials, 14, 1137. <https://doi.org/10.3390/ma14051137>.

Jiaxiao, S., Xie, B, Zhu, Z. (2023). [Extrusion-based 3D printing of fully dense zirconia ceramics for dental restorations](https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.10.076). J European Ceram Soc, 43, 1168-1177. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.10.076>.

Morcillo, K.B., Mero, E-A., Ortiz, M.M. (2021). [Impresión 3d como eje de desarrollo en la industria 4.0 3d printing as a pillar of development in industry 4.0](http://publicaciones.uci.cu). Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, 14, 151-160. ISSN: 2306-2495 | RNPS: 2343. <http://publicaciones.uci.cu>.

Ordoñez, E., Gallego, J.M., Colorado, H.A. (2019). [3D printing via the direct ink writing technique of ceramic pastes from typical formulations used in traditional ceramics industry](https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105285). Applied Clay Science 182, 105285, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105285>

<https://www.murkyrobot.com/blog/pla-y-abs-temperatura-y-velocidad-de-impresion>

Impresoras3d.com. (2020, 29 abril). [Imprimir en 3D: 10 técnicas y hábitos que necesitas conocer](https://www.impresoras3d.com/imprimir-en-3d-10-tecnicas-y-habitos-que-necesitas-conocer/#:~:text=Una%20velocidad%20C3%B3ptima%20ser%20C3%A1%20usar,a%20la%20base%20con%20firmeza). [impresoras3d.com. <https://www.impresoras3d.com/imprimir-en-3d-10-tecnicas-y-habitos-que-necesitas-conocer/#:~:text=Una%20velocidad%20C3%B3ptima%20ser%20C3%A1%20usar,a%20la%20base%20con%20firmeza>](https://www.impresoras3d.com/imprimir-en-3d-10-tecnicas-y-habitos-que-necesitas-conocer/#:~:text=Una%20velocidad%20C3%B3ptima%20ser%20C3%A1%20usar,a%20la%20base%20con%20firmeza).

https://filament2print.com/es/blog/78_problemas-soluciones-impresiones-3d.html

<https://tiendakrear3d.com/noticias/pla-no-se-pega-a-la-cama-soluciones-simples/>

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/30908/TFG-I-845.pdf;jsessionid=A7D10681BE5FB94B5765E74778B6CFC7?sequence=1>

PORTAFOLIO

Fotografías tomadas en el Laboratorio de Materiales Cerámicos de la Facultad de Química, UNAM.

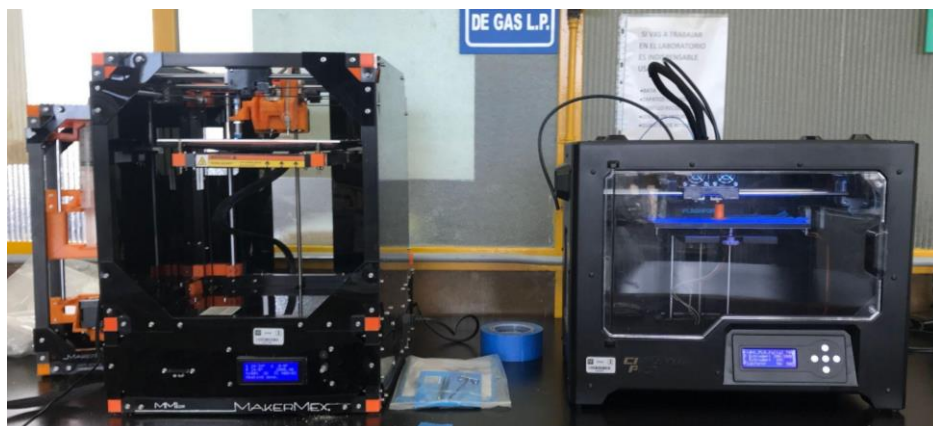


Figura 1. Impresora 3D MM1, con sus módulos, para impresión por filamento y para pasta. Impresora Flashforge.

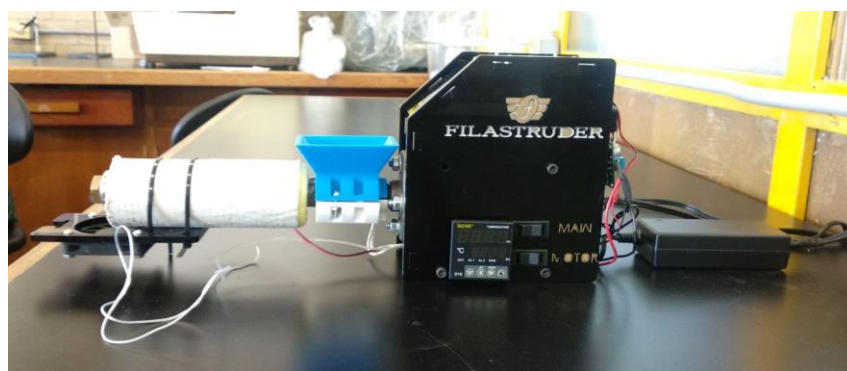


Figura 2. Extrusor Filastruder.

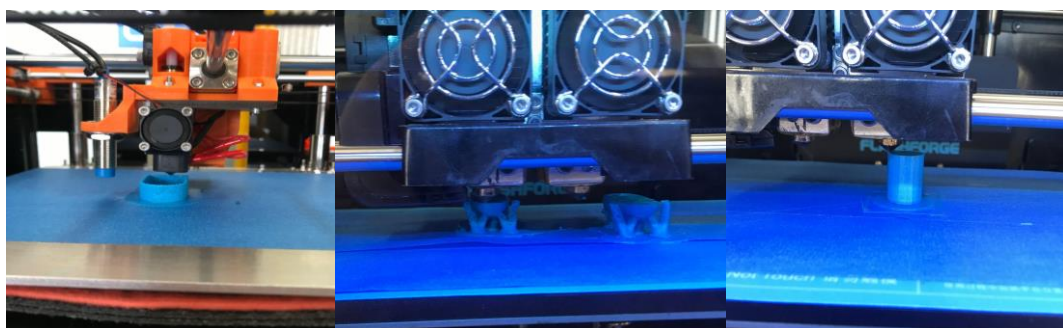


Figura 3. Impresión 3D de piezas con polímero ABS, impresora MM1 Y Flashforge.

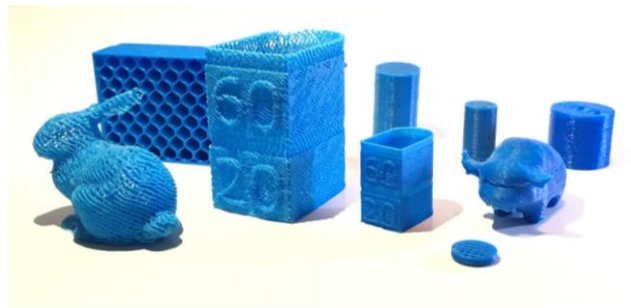


Figura 4. Piezas impresas con polímero ABS.

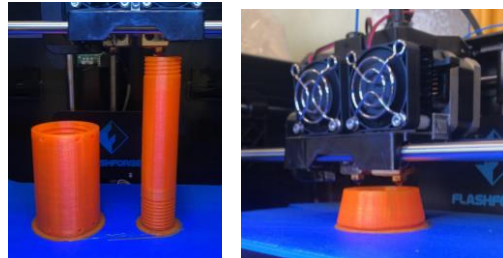
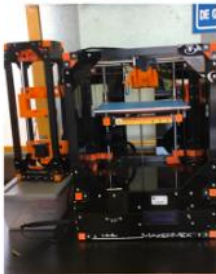


Figura 5. Impresión 3D de piezas con polímero PLA, impresora Flashforge.



Figura 6. Piezas impresas con polímero PLA



Impresora 3D



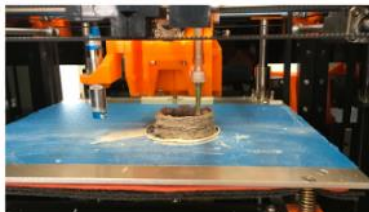
Ajustando la máquina



Cargando la Pasta



Extrusor con la Pasta



Pruebas de Impresión



Impresora preparada para impresión 3D con Pasta Cerámica

Figura 7. Secuencia de impresión 3D de las Pastas Cerámicas.



Figura 8. Piezas impresas con pasta cerámica.

ESTRELLA DE ABRIL HERNÁNDEZ CHÁVEZ
ALUMNA

Ma. de Lourdes Chávez G.

DRA. MA. DE LOURDES CHÁVEZ GARCÍA

LABORATORIO DE MATERIALES CERÁMICOS
FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM
marilulith1307@quimica.unam.mx

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'C' followed by 'BYRON HERNANDEZ GUTIERREZ'. The signature is written over a horizontal line.

MTRO. CHRISTIAN BYRON HERNÁNDEZ
GUTIÉRREZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
Y PRODUCCIÓN, UAM XOCHIMILCO
chernandez@correo.xoc.uam.mx

Vo. Bo.