



REVISTA INCLUSIONES

HOMENAJE A MARÍA JOSÉ AGUILAR IDÁÑEZ

Revista de Humanidades y Ciencias Sociales

Volumen 8 . Número 1

Enero / Marzo

2021

ISSN 0719-4706



CUERPO DIRECTIVO

Director

Dr. Juan Guillermo Mansilla Sepúlveda
Universidad Católica de Temuco, Chile

Editor

Alex Véliz Burgos
Obu-Chile, Chile

Editor Científico

Dr. Luiz Alberto David Araujo
Pontificia Universidade Católica de Sao Paulo, Brasil

Editor Brasil

Drdo. Maicon Herverton Lino Ferreira da Silva
Universidade da Pernambuco, Brasil

Editor Ruropa del Este

Dr. Alekzandar Ivanov Katrandhiev
Universidad Suroeste "Neofit Rilski", Bulgaria

Cuerpo Asistente

Traductora: Inglés

Lic. Pauline Corthorn Escudero
Editorial Cuadernos de Sofía, Chile

Portada

Lic. Graciela Pantigoso de Los Santos
Editorial Cuadernos de Sofía, Chile

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Carolina Aroca Toloza
Universidad de Chile, Chile

Dr. Jaime Bassa Mercado
Universidad de Valparaíso, Chile

Dra. Heloísa Bellotto
Universidad de Sao Paulo, Brasil

Dra. Nidia Burgos
Universidad Nacional del Sur, Argentina

Mg. María Eugenia Campos
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dr. Francisco José Francisco Carrera
Universidad de Valladolid, España

Mg. Keri González
Universidad Autónoma de la Ciudad de México, México

Dr. Pablo Guadarrama González
Universidad Central de Las Villas, Cuba

Mg. Amelia Herrera Lavanchy
Universidad de La Serena, Chile

Mg. Cecilia Jofré Muñoz
Universidad San Sebastián, Chile

Mg. Mario Lagomarsino Montoya
Universidad Adventista de Chile, Chile

Dr. Claudio Llanos Reyes
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Dr. Werner Mackenbach
Universidad de Potsdam, Alemania
Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Mg. Rocío del Pilar Martínez Marín
Universidad de Santander, Colombia

Ph. D. Natalia Milanesio
Universidad de Houston, Estados Unidos

Dra. Patricia Virginia Moggia Münchmeyer
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Ph. D. Maritza Montero
Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Dra. Eleonora Pencheva
Universidad Suroeste Neofit Rilski, Bulgaria

Dra. Rosa María Regueiro Ferreira
Universidad de La Coruña, España

Mg. David Ruete Zúñiga
Universidad Nacional Andrés Bello, Chile

Dr. Andrés Saavedra Barahona
Universidad San Clemente de Ojrid de Sofía, Bulgaria

Dr. Efraín Sánchez Cabra
Academia Colombiana de Historia, Colombia

Dra. Mirka Seitz
Universidad del Salvador, Argentina

Ph. D. Stefan Todorov Kapralov
South West University, Bulgaria

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL

Comité Científico Internacional de Honor

Dr. Adolfo A. Abadía

Universidad ICESI, Colombia

Dr. Carlos Antonio Aguirre Rojas

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dr. Martino Contu

Universidad de Sassari, Italia

Dr. Luiz Alberto David Araujo

Pontificia Universidad Católica de Sao Paulo, Brasil

Dra. Patricia Brogna

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dr. Horacio Capel Sáez

Universidad de Barcelona, España

Dr. Javier Carreón Guillén

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dr. Lancelot Cowie

Universidad West Indies, Trinidad y Tobago

Dra. Isabel Cruz Ovalle de Amenabar

Universidad de Los Andes, Chile

Dr. Rodolfo Cruz Vadillo

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México

Dr. Adolfo Omar Cueto

Universidad Nacional de Cuyo, Argentina

Dr. Miguel Ángel de Marco

Universidad de Buenos Aires, Argentina

Dra. Emma de Ramón Acevedo

Universidad de Chile, Chile

Dr. Gerardo Echeita Sarrionandia

Universidad Autónoma de Madrid, España

Dr. Antonio Hermosa Andújar

Universidad de Sevilla, España

Dra. Patricia Galeana

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dra. Manuela Garau

Centro Studi Sea, Italia

Dr. Carlo Ginzburg Ginzburg

Scuola Normale Superiore de Pisa, Italia

Universidad de California Los Ángeles, Estados Unidos

Dr. Francisco Luis Girardo Gutiérrez

Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia

José Manuel González Freire

Universidad de Colima, México

Dra. Antonia Heredia Herrera

Universidad Internacional de Andalucía, España

Dr. Eduardo Gomes Onofre

Universidade Estadual da Paraíba, Brasil

Dr. Miguel León-Portilla

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dr. Miguel Ángel Mateo Saura

Instituto de Estudios Albacetenses "Don Juan Manuel", España

Dr. Carlos Tulio da Silva Medeiros

Diálogos em MERCOSUR, Brasil

+ Dr. Álvaro Márquez-Fernández

Universidad del Zulia, Venezuela

Dr. Oscar Ortega Arango

Universidad Autónoma de Yucatán, México

Dr. Antonio-Carlos Pereira Menaut

Universidad Santiago de Compostela, España

Dr. José Sergio Puig Espinosa

Dilemas Contemporáneos, México

Dra. Francesca Randazzo

Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras

Dra. Yolando Ricardo

Universidad de La Habana, Cuba

Dr. Manuel Alves da Rocha

Universidade Católica de Angola Angola

Mg. Arnaldo Rodríguez Espinoza

Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica

Dr. Miguel Rojas Mix

*Coordinador la Cumbre de Rectores Universidades
Estatales América Latina y el Caribe*

Dr. Luis Alberto Romero

CONICET / Universidad de Buenos Aires, Argentina

Dra. Maura de la Caridad Salabarría Roig

Dilemas Contemporáneos, México

Dr. Adalberto Santana Hernández

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Dr. Juan Antonio Seda

Universidad de Buenos Aires, Argentina

Dr. Saulo Cesar Paulino e Silva

Universidad de Sao Paulo, Brasil

Dr. Miguel Ángel Verdugo Alonso

Universidad de Salamanca, España

Dr. Josep Vives Rego

Universidad de Barcelona, España

Dr. Eugenio Raúl Zaffaroni

Universidad de Buenos Aires, Argentina

Dra. Blanca Estela Zardel Jacobo

Universidad Nacional Autónoma de México, México

Comité Científico Internacional

Mg. Paola Aceituno

Universidad Tecnológica Metropolitana, Chile

Ph. D. María José Aguilar Idañez

Universidad Castilla-La Mancha, España

Dra. Elian Araujo

Universidad de Mackenzie, Brasil

Mg. Romyana Atanasova Popova

Universidad Suroeste Neofit Rilski, Bulgaria

Dra. Ana Bénard da Costa

Instituto Universitario de Lisboa, Portugal

Centro de Estudios Africanos, Portugal

Dra. Alina Bestard Revilla

*Universidad de Ciencias de la Cultura Física y el Deporte,
Cuba*

Dra. Noemí Brenta

Universidad de Buenos Aires, Argentina

Ph. D. Juan R. Coca

Universidad de Valladolid, España

Dr. Antonio Colomer Vialdel

Universidad Politécnica de Valencia, España

Dr. Christian Daniel Cwik

Universidad de Colonia, Alemania

Dr. Eric de Léséulec

INS HEA, Francia

Dr. Andrés Di Masso Tarditti

Universidad de Barcelona, España

Ph. D. Mauricio Dimant

Universidad Hebrea de Jerusalén, Israel

Dr. Jorge Enrique Elías Caro

Universidad de Magdalena, Colombia

Dra. Claudia Lorena Fonseca

Universidad Federal de Pelotas, Brasil

Dra. Ada Gallegos Ruiz Conejo

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

Dra. Carmen González y González de Mesa

Universidad de Oviedo, España

Ph. D. Valentin Kitanov

Universidad Suroeste Neofit Rilski, Bulgaria

Mg. Luis Oporto Ordóñez

Universidad Mayor San Andrés, Bolivia

Dr. Patricio Quiroga

Universidad de Valparaíso, Chile

Dr. Gino Ríos Patio

Universidad de San Martín de Porres, Perú

Dr. Carlos Manuel Rodríguez Arrechavaleta

Universidad Iberoamericana Ciudad de México, México

Dra. Vivian Romeu

Universidad Iberoamericana Ciudad de México, México

Dra. María Laura Salinas

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

**REVISTA
INCLUSIONES** M.R.
REVISTA DE HUMANIDADES
Y CIENCIAS SOCIALES

Dr. Stefano Santasilia
Universidad della Calabria, Italia

Mg. Silvia Laura Vargas López
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Dra. Jaqueline Vassallo
Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

**CUADERNOS DE SOFÍA
EDITORIAL**

Dr. Evandro Viera Ouriques
Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil

Dra. María Luisa Zagalaz Sánchez
Universidad de Jaén, España

Dra. Maja Zawierzeniec
Universidad Wszechnica Polska, Polonia

Indización, Repositorios y Bases de Datos Académicas

Revista Inclusiones, se encuentra indizada en:





REX



UNIVERSITY OF SASKATCHEWAN



Universidad de Concepción

BIBLIOTECA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN



**PARÁMETROS EN IMPRESIÓN 3D (FMD) Y SU INFLUENCIA
SOBRE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE POLÍMEROS**

**3D PRINTING (FDM) PARAMETERS AND ITS INFLUENCE
ON THE SURFACE ROUGHNESS OF POLYMERS**

Lic. Martín Benancio Monar Naranjo

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8180-2432>
mb.monar@uta.edu.ec

Lic. Alex Francisco Barreno Ávila

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9668-0028>
alexbarrenoavil@gmail.com

Fecha de Recepción: 21 de enero de 2020 – **Fecha Revisión:** 12 de febrero de 2020

Fecha de Aceptación: 17 de marzo de 2020 – **Fecha de Publicación:** 01 de enero de 2021

Resumen

Uno de los métodos más populares para la fabricación de nuevos productos es la impresión por material añadido FDM (*Fusion Deposition Modeling*). Sin embargo, pese a su versatilidad de fabricación y popularidad en el diseño de prototipos la superficie final no tiene un acabado ideal, presenta rugosidades notables que pueden ser determinantes dependiendo de la aplicabilidad del prototipo.

Palabras Claves

Impresión 3D – Configuración – Impacto Ambiental – Producción

Abstract

One of the most popular methods for fabrication of new products is 3D print by FDM (Fusion Deposition Modeling). However, despite its versatility and popularity in the design and fabrication of models the surface does not have an ideal finish, it has notable roughness that can be decisive depending on the applicability of the prototype.

Keywords

3D print – Configuration – Environmental impact – Production

Para Citar este Artículo:

Monar Naranjo, Martín Benancio y Barreno Ávila, Alex Francisco. Parámetros en impresión 3D (FMD) y su influencia sobre la rugosidad superficial de polímeros. Revista Inclusiones Vol: 8 num 1 (2021): 448-458.

Licencia Creative Commons Attribution Non-Comercial 3.0 Unported
(CC BY-NC 3.0)

Licencia Internacional



Introducción

El prototipado rápido es básicamente un proceso de fabricación aditiva utilizado para crear un modelo de una pieza mediante datos CAD en 3D. A pesar de que la tecnología mencionada ha demostrado su potencia en las industrias, algunos materiales no presentan buenos resultados para la impresión 3D. Se puede resolver este inconveniente mejorando los materiales o alterando los parámetros del procedimiento en la etapa de fabricación. En consecuencia, es obligatorio actualizar los parámetros de la tarea para mejorar la exactitud, calidad y propiedades del prototipo que se realice con este proceso.

El modelado de deposición fundida (FDM) utiliza un filamento termoplástico que se calienta hasta su punto de fusión y luego se extruye capa por capa para fabricar piezas tridimensionales. En este procedimiento, el material se funde a través de un extrusor que sigue la geometría de la sección transversal de las piezas para construir secciones 3D directamente basados en un archivo de código gráfico "gcode", que ha transformado el modelo 3D diseñado y que se plasma en un objeto real 3D capa por capa.

El acabado de la superficie se basa en varios parámetros de proceso de la impresora 3D. Con la modificación adecuada de los parámetros de construcción, la calidad puede mejorarse esencialmente sin generar costos adicionales.

Una ventaja clave de la impresión 3D es la capacidad de facilitar la producción personalizada y permitir diseños que no eran posibles con técnicas de fabricación anteriores. Con el desarrollo significativo de esta tecnología se abren nuevas oportunidades para la economía y la sociedad. Sin embargo, varios desafíos pueden impedir y retrasar la adopción de esta, a la que pertenece su rentabilidad en comparación con los métodos de fabricación tradicionales y la capacidad de satisfacer la demanda social de producción más limpia y sostenible. Por lo tanto, el costo de fabricación y el impacto ambiental de estos procesos deben evaluarse.

Con el perfeccionamiento de las técnicas de impresión 3D, los usuarios consideran una mayor sostenibilidad como una ventaja clave. Se espera que la Manufactura Aditiva pueda reducir el impacto ambiental y el consumo de energía significativamente en comparación con las prácticas de fabricación tradicionales, como el moldeo por inyección de plásticos o el mecanizado por grandes máquinas.

Estado del arte

Una vez plasmado en software el diseño a realizar, independientemente del área de estudio o de la función, se debe mecanizar a fin de tener ese diseño o mallado 3D en un objeto físico. Los métodos más usados para este tipo son el devastado de material, como el caso de las CNC Fresadoras o mediante la adición de material.

En método de fabricación por material añadido se ha extendido, gracias a la facilidad de fabricación y a que se pueden realizar objetos que en el proceso de devastado de material no fuese posible realizarlo.

Estos métodos de fabricación por material añadido se utilizan en máquinas industriales en fabricación de piezas con características y funciones específicas, como por ejemplo la industria aeroespacial. Las tecnologías son: Sinterizado selectivo por láser

(SLS), Sinterizado selectivo de metal (SLM). En la cual un láser actúa sobre el área a generar el objeto y una plataforma cubre la superficie superior de una nueva capa de material, el proceso es realizado hasta culminar el objeto a la altura deseada. Una vez culminado se retira el tanque que contiene polvo y el material solidificado. Un proceso similar, pero a diferencia que el material es inyectado lo tienen los procesos de fabricación Inyección de material (MJ) e inyección de aglutinante (BJ)¹.

Lo métodos que han tenido gran popularidad y que están al alcance del mercado ecuatoriano son el método SLA y MSLA, el cual consiste en una plataforma y un tanque con resina líquida, la plataforma sube mientras se avanza en la construcción de las capas del producto, a esta resina se le debe dar un postproceso. La limitación de este proceso es el costo de la resina y la necesidad de usar equipo de seguridad adecuado para que la resina no tenga contacto con el cuerpo humano, además de que esta resina al reaccionar con el láser produce vapores que pueden afectar la salud, por lo tanto, deben ser utilizadas en un ambiente con corriente de aire. Por tal motivo el método de Impresión FDM, de material añadido, es uno de los métodos más fáciles de utilizar, no necesita postproceso, el proceso de fabricación en ciertos materiales no produce vapores y la manipulación del material no requiere equipos de protección. La impresión 3D en general, ha dado grandes pasos en la industria de la manufactura, ya que permite realizar prototipos únicos por su característica del diseño y no tan costosos si el volumen de producción es bajo o para realizar prototipos². En la figura 1 se observa el costo que lleva en euros versus el volumen de la producción del producto. En el caso de moldes inyectados, la fabricación de la matriz es costosa pero mientras más productos se requieran el costo final se reduce. En el caso de la impresión 3D representada por la fabricación del tipo SLA y FDM son constantes en sus costos, sin embargo, hasta alrededor de 600 unidades de producción se consideraría como opción frente a la inyección en moldes.

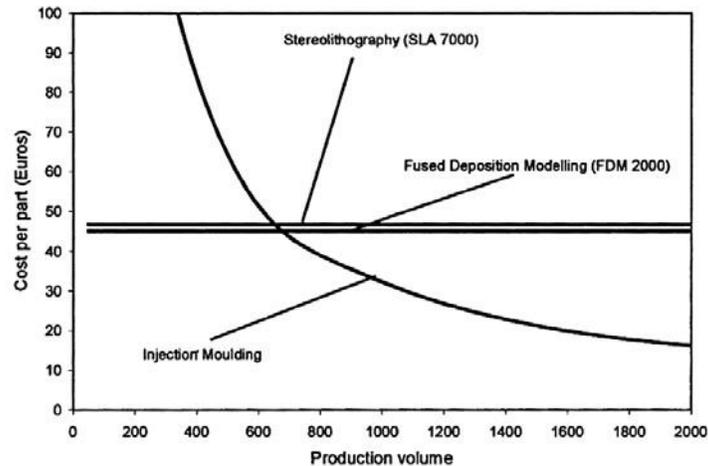


Figura 1
Costo de producción vs Volumen

¹ Miriam Quemada; Luis Alcaraz; Gilberto Ruíz y Ramón Rodríguez, “Revisión del estado del arte de la fabricación de multimateriales por medio de impresión 3D”, Pistas Educativas Vol: 125 (2017).

² Neil Hopkinson y Philip Dickens, “Analysis of rapid manufacturing—using layer manufacturing processes for production”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science Vol: 217 (2003).

Además del prototipado rápido, se han mostrado creciente interés en usos como el de dosificación en fármacos³, los cuales ayudarían en la dosificación exacta tomando en cuenta que ciertos casos necesitan una concentración personalizada según el paciente y la causa de su tratamiento.

A nivel educativo se concluye en el estudio del proyecto 3D Printing 4 Teaching & Learning, que al dedicar tiempo de clases a proyectos 3D genera un impacto positivo importante al construir conocimiento y adquirirlo por sí mismos. Los objetos creados por la impresión 3D sirvieron como marcadores de ese conocimiento, creando puntos de entradas visuales y tangibles⁴.

Las impresoras 3D ganaron la popularidad al momento en que se comercializó impresoras para uso en el hogar, demostrándolo así en su crecimiento anual de 170% aproximadamente⁵, permitiendo así que no sea necesario ir a una industria especializada en fabricación para obtener el prototipo deseado, estas impresoras tienen ciertos límites en calidad, precisión y propiedades mecánicas, según el material que se use⁶. Se explica sobre varios métodos que se han adaptado a impresoras de escritorio a fin de mejorar su calidad en los prototipos y mantener un control del proceso de impresión.

En la impresión 3D de máquinas de escritorio, los materiales más ocupados son polímeros que por sus componentes químicos son de fácil fundición, y adhesión entre capas. Se tiene como referencia que el material más utilizado es PLA, seguido de ABS⁷. Otros materiales que analiza la investigación que son usados ampliamente en la impresión 3D son ASA, PETG y TPU⁸.

En contraste a las virtudes que han hecho posible extender la fama y empleo de las impresoras 3D se identifica también, tal cual el concepto filosófico del Pharmakon de Platón, que puede servir de cura, o solución, y a la vez tener la capacidad de dañar, o producir aún más problemas que los iniciales, al ser humano. Campos de debate han sido abiertos en cuestión de: planos de objetos de libre acceso para propósitos como el de la producción de armas e incertidumbre en la realidad del ahorro o desperdicio en el consumo de recursos. Uno de los peligros más notorios para los que puede usarse esta tecnología vio la luz en 2013, al difundirse por internet los planos de la primera pistola funcional manufacturada mediante impresión 3D⁹.

³ Johanna Lind; Sofia Sporrang; Susanne Kaae; Jukka Rantanen y Natalia Genina, "Social aspects in additive manufacturing of pharmaceutical products", *Expert Opinion on Drug Delivery* Vol: 14 (2016).

⁴ Robert Maloy; Torrey Trust; Suzan Kommers; Allison Malinowski e Irene LaRoche, "3D Modeling and Printing in History/Social Studies Classrooms: Initial Lessons and Insights", *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education* Vol: 17 (2017): 229.

⁵ Aaron Li; Barbara Linke; Henning Voet; Björn Falk; Robert Schmitt y Myron Lam, "Cost, sustainability and surface roughness quality – A comprehensive analysis of products made with personal 3D printers", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* Vol: 16 (2016).

⁶ Ben Hicks y James Gopsill, "The Issues & Challenges of 3D Managed Print Services: Towards a Support Tool for 3D Managed Print Services", (2015).

⁷ Nagendra Tanikella; Ben Wittbrodt y Joshua Pearce, "Tensile Strength of Commercial Polymer Materials for Fused Filament Fabrication 3D Printing", *Additive Manufacturing* Vol: 15 (2017).

⁸ Doyoung Chang y otros, "Three-Dimensional Printing for Procedure Rehearsal/Simulation/Planning in Interventional Radiology", *Techniques in Vascular and Interventional Radiology* Vol: 22 (2018).

⁹ Arjun Banerjee, "Arms and the Man: Strategic Trade Control Challenges of 3D Printing", *International Journal of Nuclear Security* Vol: 4 (2018).

“The Liberator” ha sido estudio de diversos análisis en materia legal (Daly, *Replicating Ruin: Printing Dangerous Objects* 2016)¹⁰, política y social¹¹. La vía de difusión de los archivos de esta arma fue el repositorio de diseño DEF CAD, el cual por orden del Departamento de Estado de los Estados Unidos fue cerrado¹². Casos similares se han reportado en distintos países también como Reino Unido, Japón y Australia desde el año 2013¹³. En el aspecto medio ambiental, se refiere que por ejemplo un usuario novato de impresión 3D puede generar aproximadamente un 40% más de impactos ambientales en el proceso de manufactura netamente. Adicionalmente, sólo en el proceso de Diseño Asistido por Computadora (CAD) un usuario novato podría generar cerca de 21% más de impactos ambientales¹⁴. En el mencionado estudio se sugiere que para minimizar estos efectos los usuarios novatos sean asistidos por expertos. Consideraciones importantes a nivel técnico son: precisión en los objetos debido a que existen variaciones dimensionales entre el modelo y la impresión; el tiempo de pre-fabricación debido a que se necesita diseñar primero el objeto y en ocasiones escanearlo de uno ya fabricado¹⁵; la deficiente adhesión entre capa y capa del material fundido y una disminución de las propiedades mecánicas de los materiales¹⁶ entre otras, son retos que aún tienen que ser afrontados.

Metodología

El enfoque de la investigación es cuantitativo deductivo, la estrategia descriptiva de corte transversal. El método de recolección de datos fue mediante pruebas de laboratorio en probetas y revisión bibliográfica. Los materiales usados fueron escogidos mediante el análisis bibliográfico, la existencia en el mercado y los requisitos que necesitaba cumplir la impresora 3D para fundir y generar la figura 3D. Entre los más conocidos está ABS, pero este material necesita un ambiente de impresión estable, de preferencia que la impresora tenga un cerramiento que permita mantener la temperatura ambiente. Por lo tanto, se eligieron los materiales, TPU, PLA, WoodFilament, ASA, PET-G. En los parámetros de impresión explicados por¹⁷ considera variables de velocidad similares a las preprogramadas en el software¹⁸. Las velocidades elegidas son: 30 mm/s y 60 mm/s. El software utilizado permite configurar velocidades diferentes para relleno del material, perímetro interno y perímetro externo, para este estudio las 3 velocidades antes mencionadas se mantuvieron en el mismo valor, en un caso 30 y en el otro 60 mm/s.

¹⁰ Angela Daly, “Replicating Ruin: Printing Dangerous Objects” en *Socio-Legal Aspects of the 3D Printing Revolution*, (Londres; Palgrave Pivot, 2016), 49-80.

¹¹ Robbie Fordyce, “Manufacturing Imaginaries: Neo-nazis, Men’s Rights Activists, and 3D printing”, *Journal of Peer Production* Vol: 6 (2015).

¹² Defense Distributed. s.f. <https://defdist.org/>

¹³ Angela Daly, Monique Mann, Peter Squires y Reece Walters, “3D Printing, Policing and Crime”, *Policing and Society* (2018).

¹⁴ Kléber Barros y Peggy Zwolinski, “Influence of the use/user profile in the LCA of 3d printed products” *Procedia CIRP* Vol: 50 (2016): 318.

¹⁵ Nicolas Martelli y otros, “Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review”, *Surgery* Vol: 159 (2016): 1485.

¹⁶ Igor Skawiński y Tomasz Goetzendorf-Grabowski, “FDM 3D printing method utility assessment in small RC aircraft design”, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology* Vol: 91 (2019).

¹⁷ Brian Turner y Scott Gold, “A review of melt extrusion additive manufacturing processes: II. Materials, dimensional accuracy, and surface roughness”, *Rapid Prototyping Journal* Vol: 21 (2015): 250.

¹⁸ Aaron Li; Barbara Linke; Henning Voet; Björn Falk; Robert Schmitt y Myron Lam, “Cost, sustainability and ...”

El otro parámetro para considerar es la altura de capa, el cual puede ir de un mínimo de 0.05 mm hasta 80% el grosor de boquilla, según el manual del fabricante de la impresora usada en esta investigación. Al ser una boquilla de 0.4 mm, el rango de impresión puede ir de 0.05 hasta 0.35. Se eligió de altura de capa valores intermedios a estos ya al elegir la capa más fina incrementa significativamente el tiempo de impresión y al elegir la capa más alta el acabado posee imperfecciones visibles. Las pruebas fueron realizadas con 0.1 mm y 0.2 mm de altura.

Para el análisis de rugosidad se realizó una probeta, conformada por un cubo de 4*4*4 cm en base a la probeta utilizada en investigación¹⁹, y en base a la investigación de²⁰ en la cual describen que una impresión por material añadido que presente grado de inclinación supondrá una diferente rugosidad, por lo tanto, para valores más lineales se realiza la probeta con paredes completamente verticales. Se utilizó el equipo Mitutoyo SJ 210 el cual cumple con la norma ISO 4287-1997. Se realiza la prueba de rugosidad en las probetas de los 5 diferentes materiales en cada uno de los ejes; base, altura y capa superior. En cada una de las tomas se realizó 5 mediciones debido a que es lo que especifica la norma para reducir el error en la medición. Una vez realizado las pruebas en las probetas se obtuvieron los valores de Ra, Rz y Rp, que describen la rugosidad media, la rugosidad entre picos más altos y la rugosidad en los valles. En la figura 2 se puede observar la gráfica medida por 4 mm de superficie y representada en una escala en el eje Y de +- 50 micrómetros. Se puede observar en línea punteada la media entre los valles y los picos más altos. En la figura 3, se puede observar como encabezado la norma que fue utilizada para la medición de las probetas, y los datos descritos de las mediciones realizadas a los objetos, en el cual explica las variables antes descritas y sus valores.

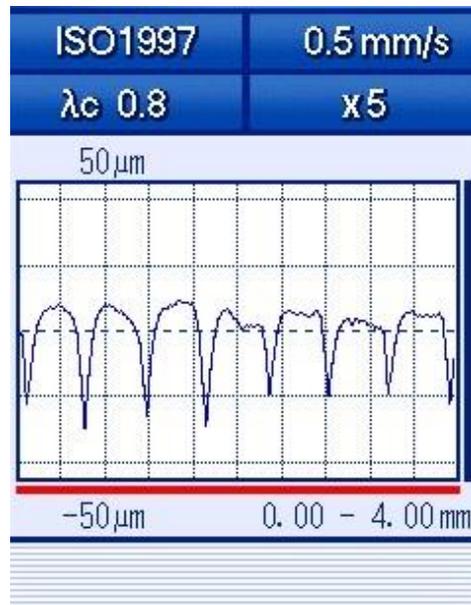


Figura 2
Ejemplo de resultado de la medición de rugosidad

¹⁹ Mohammad Alsoufi y Abdulrhman El-Sayed, "How surface roughness performance of printed parts manufactured by desktop FDM 3D printer with PLA+ is influenced by measuring direction", American Journal of Mechanical Engineering Vol: 5 (2017).

²⁰ Turner, Brian, y Scott Gold. "A review of melt extrusion additive manufacturing..."



Figura 3
 Valores obtenidos en la medición expresados en micrómetros

Después de obtener los datos de los tres lados de la probeta y de analizar cada uno de los materiales en cuestión, se realizará una investigación bibliográfica en fin de determinar la importancia de ser eficientes en los parámetros que se usa para crear objetos mediante impresión 3D.

Resultados

En la Tabla 1 se pueden observar las características que tuvieron cada una de las probetas, material, velocidad y altura de capa. Se detallan los valores promedios obtenidos después del análisis de laboratorio. Los valores de rugosidad más alta se obtienen en la impresión de 0.2 mm de altura y en su mayoría en probetas con velocidad de 60 mm/s. Los materiales que presentan materiales más rugosos son PLA, Wood Filament y PetG.

Color	Material	N° Probeta	Altura de capa (mm)	Velocidad (mm/s)	Cara Superior	Cara Inferior	Cara Lateral
					Ra (Rugosidad Media)	Ra (Rugosidad Media)	Ra (Rugosidad Media)
Rosado	PLA	1	0,2	60	6,45	11,87	12,79
		2	0,1	60	2,83	16,48	8,22
		3	0,2	30	5,03	15,67	12,15
		4	0,1	30	3,46	15,83	6,94
		5	0,2	60	3,74	9,77	13,55
Café	Woodfilament	6	0,1	60	5,18	9,80	8,61
		7	0,1	30	6,11	9,84	8,99
		8	0,2	30	6,82	8,96	12,84
Rojo	PETG	11	0,1	30	5,00	17,31	6,98
		12	0,2	30	6,55	17,26	12,35

Blanco	ASA	13	0,1	60	4,51	14,88	7,60
		14	0,2	60	3,76	15,81	13,09
Rojo mate	TPU	15	0,1	30	1,15	6,30	7,64
		16	0,2	60	1,72	7,05	14,51
PROMEDIO 4,385 MÁXIMO 6,816				MÍNIMO	1,152		

Tabla 1

Rugosidades medias de las probetas realizadas en las diferentes caras del cubo

En la Tabla 2 se muestra la Razón de incremento; calculada a partir de la división entre los valores de rugosidad media en la capa lateral de cada probeta al variar la altura de capa de 0,2 a 0,1 mm. Una presunción de sentido común sería que, al aumento de la altura de capa, de 0.1 mm a 0.2 mm afectaría en que la rugosidad del prototipo sea el doble, dato que se cuantifica para su análisis.

Color	Material	N° Probeta	Altura de capa (mm)	Velocidad (mm/s)	Razón de incremento
Rosado	PLA	1	0,2	60	1,556
		2	0,1	60	
		3	0,2	30	1,752
		4	0,1	30	
Café	Woodfilament	5	0,2	60	1,574
		6	0,1	60	
		7	0,1	30	1,428
		8	0,2	30	
Rojo	PETG	11	0,1	30	1,768
		12	0,2	30	
Blanco	ASA	13	0,1	60	1,723
		14	0,2	60	
Rojo mate	TPU	15	0,1	30	1,900
		16	0,2	60	

Tabla 2

Razón de incremento entre la altura de capa de las probetas

Conclusiones

El material que presenta menor valor en la rugosidad es TPU, la característica de este material es que presenta flexibilidad a comparación de los otros polímeros. El avance volumétrico del TPU es bajo, lo que significa que la probeta impresa en este material toma mayor tiempo en fabricarse. Los cambios en la altura de capa (0.1 y 0.2 mm) en los distintos polímeros analizados generan diferencia en la rugosidad superficial media en una relación que va aproximadamente desde 1:1.4 hasta 1:1.9. Esto permite cuantificar el valor del aumento de la rugosidad media al duplicar la altura de capa de impresión, además de indicar que no necesariamente crece la rugosidad en la misma proporción de la altura de capa. El cambio de capa a 0.2 mm significa una reducción del tiempo de impresión y al no tener una rugosidad creciente con una razón de incremento del doble es considerable mantener el parámetro en alturas de capa mayores.

El material que menos se ve afectado por estos valores es el Wood Filament (Compuesto mediante PLA y viruta de madera), por lo que en este material en específico se recomienda un valor de altura de capa alto ya que el acabado superficial quedaría similar al comparar con un valor de altura de capa de la mitad.

En el caso de las caras laterales de los prototipos los materiales que presentan acabados similares a los del TPU son ASA, PETG y PLA, la diferencia que los tiempos de fabricación de estos materiales es inferior al de TPU. Inclusive ASA se imprime a 1/3 más rápido que PETG y PLA. Este dato es importante para consideraciones con respecto al valor económico de tiempo de uso de la impresora.

Al analizar los parámetros por material, se determinó que hay otro parámetro que el software utilizaba según material, que es el avance volumétrico. Esta característica determinada por la velocidad que tiene el extrusor para derretir el material sin provocar atascos o problemas en los engranes alimentadores del material. El elemento con un valor más alto de avance volumétrico fue ASA, lo que significa que la impresión de esta probeta tuvo menor tiempo de ejecución y según los análisis tiene una rugosidad promedio en comparación de los otros materiales utilizados en la impresión.

Para objetos de uso ornamental el detalle es un aspecto importante por lo que se consideraría usar un valor para altura de capa bajo tomando en cuenta que esto aumenta el tiempo de impresión, así como el costo de esta. En objetos que sean de uso en el exterior de un domicilio se sugiere utilizar el material ASA incluso con un valor de altura de capa alto ya que disminuiría el costo; este material puede soportar mejor que el resto la exposición al sol y la humedad.

Guía de Uso Recomendada por esta investigación

Ord	Material	Altura de capa (mm)	Uso	Observaciones
1	PLA	0.1 a 0.2	Objeto a detalle. y objetos a gran escala, poca probabilidad de daño de impresión	Buen tiempo de impresión vs definición.
2	PETG	0.2 a 0.3	Exteriores, mayor resistencia mecánica y a temperatura	No es útil para impresiones pequeñas o a detalle
3	ASA	0.2 a 0.3	Exteriores, Resistencia a temperatura y luz solar.	Tiempo de fabricación reducido
4	TPU	0.1 y 0.2	Objetos que se desee de textura suave y con menor rugosidad.	Mayor tiempo de fabricación
5	WoodFilament	0.3	Objetos medianos-grandes. Objeto generalmente rugoso	Acabado de madera, se puede postproducir el objeto para darle mejor aspecto

Tabla 3
Resumen de recomendaciones para guía de impresión

La velocidad recomendada para impresión para objetos grandes y medianos será de 60 mm/s en una altura de capa de 0.2 a 0.3, con una boquilla de 0.4 mm. Se recomienda mantener la temperatura de extrusión según el fabricante y el material, ya que esto permite que el extrusor o el motor de alimentación no tengan mas desgaste del necesario y que el objeto 3D tenga mejor acabado.

Para objetos a detalle se recomienda una velocidad e impresión de 30mm/s y alturas de capa de 0.1, si la maquina lo permite una altura de capa inferior de 0.05. Cabe recalcar que el análisis se realizó con una boquilla de 0.4 mm, queda a nuevas investigaciones el uso de una boquilla inferior y reflejar el tiempo de impresión con la rugosidad superficial.

Si es necesario un valor de rugosidad inclusive inferior al mínimo obtenido en las probetas realizadas ($R_a=1,15$ micrómetros), se recomienda otro método de fabricación por material añadido, el cual podría ser mediante tecnología MSLA o SLA.

Bibliografía

Alsoufi, Mohammad y El-Sayed, Abdulrhman. "How surface roughness performance of printed parts manufactured by desktop FDM 3D printer with PLA+ is influenced by measuring direction". American Journal of Mechanical Engineering Vol: 5 (2017): 211-222.

Banerjee, Arjun. "Arms and the Man: Strategic Trade Control Challenges of 3D Printing". International Journal of Nuclear Security Vol: 4 (2018).

Barros, Kléber y Zwolinski, Peggy. "Influence of the use/user profile in the LCA of 3d printed products". Procedia CIRP Vol: 50 (2016): 318-323.

Chang, Doyoung; Tummala, Srinji; Sotero, Dax; Tong, Eric; Mustafa, Luai; Mustafa, Moawiah; Browne, William y Winokur, Ronald. "Three-Dimensional Printing for Procedure Rehearsal/Simulation/Planning in Interventional Radiology". Techniques in Vascular and Interventional Radiology Vol: 22 (2018).

Daly, Angela. "Replicating Ruin: Printing Dangerous Objects". En Socio-Legal Aspects of the 3D Printing Revolution. Londres: Palgrave Pivot. 2016. 49-80.

Daly, Angela; Mann, Monique; Squires, Peter y Walters, Reece, "3D Printing, Policing and Crime", Policing and Society (2018).

Defense Distributed. s.f. <https://defdist.org/>

Fordyce, Robbie. "Manufacturing Imaginaries: Neo-nazis, Men's Rights Activists, and 3D printing". Journal of Peer Production Vol: 6 (2015).

Hicks, Ben y Gopsill, James. "The Issues & Challenges of 3D Managed Print Services: Towards a Support Tool for 3D Managed Print Services". (2015).

Hopkinson, Neil y Dickens, Philip. "Analysis of rapid manufacturing—using layer manufacturing processes for production". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science Vol: 217 (2003): 31-39.

Li, Aaron; Linke, Barbara; Voet, Henning; Falk, Björn; Schmitt, Robert y Lam, Myron. "Cost, sustainability and surface roughness quality – A comprehensive analysis of products made with personal 3D printers". CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology Vol: 16 (2016).

Lind, Johanna; Sporrang, Sofia; Kaae, Susanne; Rantanen, Jukka y Genina, Natalja. "Social aspects in additive manufacturing of pharmaceutical products". Expert Opinion on Drug Delivery Vol: 14 (2016).

Maloy, Robert; Trust, Torrey; Kommers, Suzan; Malinowski, Allison y LaRoche, Irene. "3D Modeling and Printing in History/Social Studies Classrooms: Initial Lessons and Insights". Contemporary Issues in Technology and Teacher Education Vol: 17 (2017): 229-249

Martelli, Nicolas; Serrano, Carole; Van den Brink, Hélène; Pineau Judith; Prognon, Patrice; Borget, Isabelle y El Batti, Salma. "Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review". Surgery Vol: 159 (2016): 1485-1500.

Quemada, Miriam; Alcaraz, Luis; Ruíz, Gilberto y Rodríguez, Ramón. "Revisión del estado del arte de la fabricación de multimateriales por medio de impresión 3D", Pistas Educativas Vol: 125 (2017): 441-451.

Skawiński, Igor y Goetzendorf-Grabowski, Tomasz. "FDM 3D printing method utility assessment in small RC aircraft design". Aircraft Engineering and Aerospace Technology Vol: 91 (2019).

Tanikella, Nagendra; Wittbrodt, Ben y Pearce, Joshua. "Tensile Strength of Commercial Polymer Materials for Fused Filament Fabrication 3D Printing". Additive Manufacturing Vol: 15 (2017).

Turner, Brian y Gold, Scott. "A review of melt extrusion additive manufacturing processes: II. Materials, dimensional accuracy, and surface roughness". Rapid Prototyping Journal Vol: 21 (2015): 250-261.