

LO IMPORTANTE ESTÁ EN **EL INTERIOR**

Análisis de la influencia de la variación de los parámetros de impresión 3D en tiempos de impresión y en las propiedades mecánicas de la pieza.

Investigación Realizada por:

- **Hugo Arranz Carrasco**
- **Eneko Camacho Luque**
- **Juan Manuel Garfia Gómez**
- **Alejandro Sánchez Parra**
- **Pablo E. Romero Carrillo**
- **Manuel Pegalajar Navarro**

Córdoba, Abril de 2025

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS.....	5
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
a. Variables de estudio	9
b. Diseño del material experimental.....	9
c. Metodología	9
d. Planificación de la investigación	10
5. RESULTADOS.....	14
6. DISCUSIÓN.....	14
7. CONCLUSIONES.....	16
8. AGRADECIMIENTOS.....	16
9. BIBLIOGRAFÍA.....	17

RESUMEN

Las impresoras 3D mediante extrusión de filamento permiten fabricar piezas geométricamente similares pero con propiedades mecánicas muy diferentes según los parámetros de impresión seleccionados: cierta combinación de parámetros de impresión permite fabricar piezas muy rápidamente, pero con propiedades mecánicas bajas y viceversa.

En este trabajo se ha estudiado la influencia de tres parámetros de impresión (velocidad de impresión, porcentaje de relleno y diámetro de boquilla) en el tiempo de fabricación y en las propiedades mecánicas. Para ello, se han fabricado probetas de tracción siguiendo la normativa UNE-EN ISO 527, utilizando filamento de tereftalato de polietileno glicol reforzado con fibra de carbono. Las probetas han sido diseñadas mediante el software de diseño SolidWorks y la configuración de la impresión se ha realizado mediante el software rebanador Ultimaker CURA. El proceso de fabricación se ha realizado en una impresora Creality Ender 3 y los ensayos de tracción en una máquina universal de ensayos electromecánica.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que el parámetro con mayor influencia en el tiempo de impresión es el tamaño de la boquilla, seguido de la densidad de relleno y por último la velocidad de impresión. Si se combina el parámetro tiempo de impresión y tensión máxima, se puede afirmar que la configuración diámetro de boquilla igual a 0.6 mm, velocidad de impresión 100 mm/s y densidad 50 % es la más interesante, ya que se permite imprimir la probeta en un tiempo bajo (30 minutos) y es capaz de soportar grandes tensiones.

Palabras clave: impresión 3D, PETG-CF, parámetros de impresión, ensayo de tracción, tiempos de impresión

ABSTRACT

Fused filament fabrication (FFF) 3D printing enables the production of geometrically similar components exhibiting markedly different mechanical properties, depending on the specific printing parameters employed. Certain parameter combinations may allow for rapid fabrication at the expense of mechanical performance, while others enhance mechanical strength at the cost of increased production time.

The present study analyzes the influence of three key printing parameters—printing speed, infill density, and nozzle diameter—on both manufacturing time and mechanical performance. Tensile specimens were fabricated in accordance with the UNE-EN ISO 527 standard, using polyethylene terephthalate glycol (PETG) filament reinforced with carbon fiber. The specimen geometry was designed using SolidWorks CAD software, and slicing was carried out using Ultimaker CURA. Fabrication was performed with a Creality Ender 3 printer, and mechanical testing was conducted on an electromechanical universal testing machine.

The results indicate that nozzle diameter is the most influential factor affecting printing time, followed by infill density and printing speed. When considering both fabrication time and ultimate tensile strength, the configuration comprising a 0.6 mm nozzle diameter, 100 mm/s printing speed, and 50% infill density was identified as the most favorable. This combination enabled a significantly reduced printing time (30 minutes per specimen) while maintaining high mechanical strength.

Keywords: 3D printing, PETG-CF, printing parameters, tensile testing, fabrication time

1.- INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación se centra en el estudio de un proceso de fabricación aditiva mediante extrusión de material (MEX), comúnmente conocido como impresión 3D. El proceso consiste en la extrusión de un material termoplástico a través de una boquilla; el cabezal de impresión se va moviendo a lo largo de las coordenadas X e Y y va depositando material, capa a capa.

La impresión 3D tiene varias fortalezas: bajo coste, corta curva de aprendizaje, permite la fabricación de piezas complejas, amplio catálogo de materiales. Entre los diversos materiales disponibles, en este proyecto se ha utilizado el tereftalato de polietileno glicol (PETG) reforzado con fibra de carbono, un material muy interesante y apenas estudiado.

En la técnica MEX se pueden variar un diverso número de parámetros: diámetro de la boquilla, altura de capa, número de perímetros, el patrón y la densidad de relleno utilizado durante la construcción de la pieza, entre otros. De este modo, piezas aparentemente iguales, pueden haberse fabricado en pocos minutos o pueden haber requerido horas, según la configuración de impresión usada. La configuración elegida también puede tener relevancia en las propiedades mecánicas de la pieza. Por eso, el título del trabajo es “lo importante está en el interior”.

En el presente trabajo, se pretende estudiar qué parámetros del proceso tiene mayor influencia en los tiempos de impresión de las piezas y en sus propiedades mecánicas. Los parámetros elegidos en los estudios han sido: diámetro de la boquilla, velocidad de impresión y densidad de relleno. El objetivo del trabajo es responder a las siguientes preguntas: si queremos que la pieza se imprima más rápido ... ¿Se debe aumentar o reducir el diámetro de la boquilla? ¿Se debe aumentar o disminuir la densidad de relleno? ¿La velocidad de impresión es tan influyente como podría parecer en un primer momento? ¿Qué propiedades mecánicas se obtienen en cada caso?

2.- OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es analizar qué parámetro del proceso de impresión 3D mediante extrusión de filamento (MEX) es más influyente en el tiempo de impresión. Además, comprobará experimentalmente que distintas configuraciones de impresión permiten conseguir piezas aparentemente iguales, pero con unas propiedades mecánicas diferentes. Desde el punto de vista ingenieril, lo ideal sería obtener una configuración que permita fabricar piezas en un tiempo razonable y con unas propiedades mecánicas adecuadas.

3.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Los investigadores realizaron una búsqueda bibliográfica previa para determinar qué parámetros de impresión se iban a considerar en el estudio. Los parámetros más citados, en relación con el tiempo de impresión fueron:

- **Velocidad de impresión (Figura 1).** Rapidez con la que el cabezal de impresión se mueve a lo largo de los ejes X, Y y Z para colocar cada capa de filamento termoplástico durante el proceso de impresión.

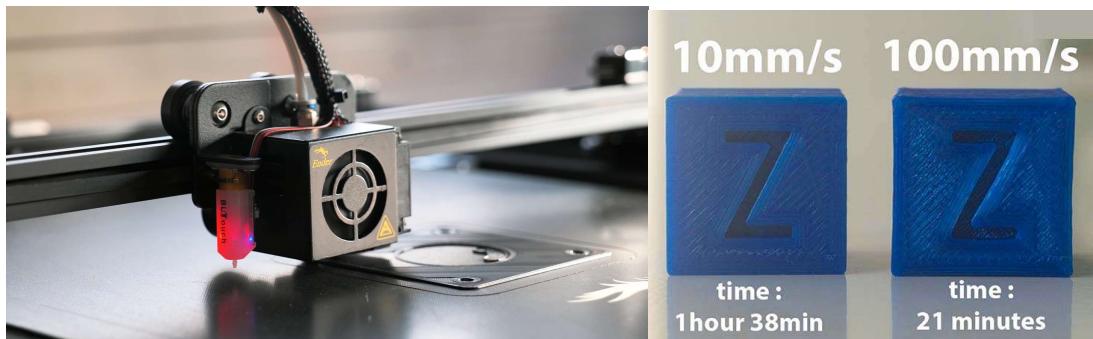


Figura 1. Extrusor de impresora 3D [Fuente: Impresoras3d.com] (izquierda); diferencias en la velocidad de impresión [Fuente: DobotsSpain.com] (derecha)

- **Altura de capa (Figura 2).** Grosor de cada capa de filamento que es depositada por la boquilla en la placa de construcción.

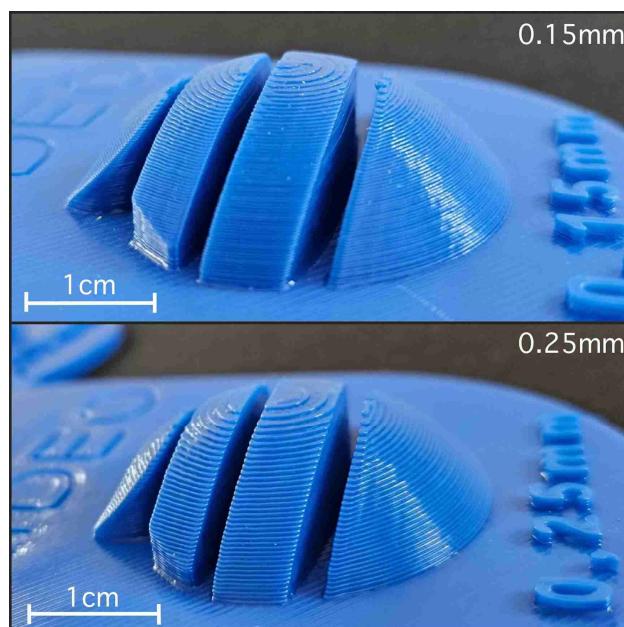


Figura 2. Altura de capa [Fuente: trideo3d.com]

- **Densidad de relleno (Figura 3).** Hace referencia a la cantidad de material empleado en la parte central o núcleo de la pieza. Un 30 % de densidad de relleno significa que un 30 % del volumen está ocupado por el material, y el 70 % está ocupado por aire.

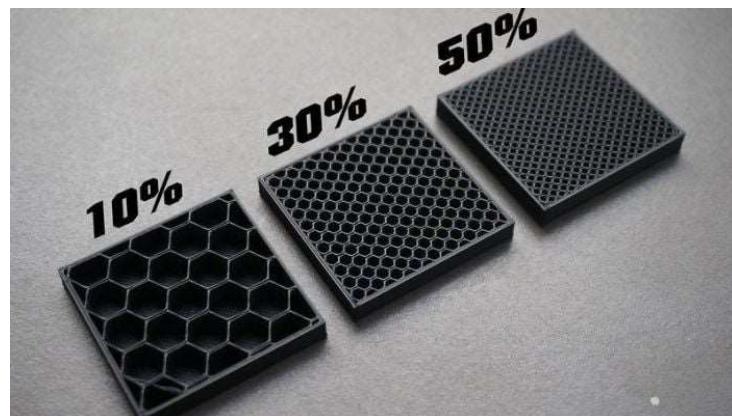


Figura 3. Densidad de relleno [Fuentes: 3dnatives.com]

- **Orientación de la pieza (Figura 4).** Disposición de la pieza dentro del espacio y volumen de impresión.

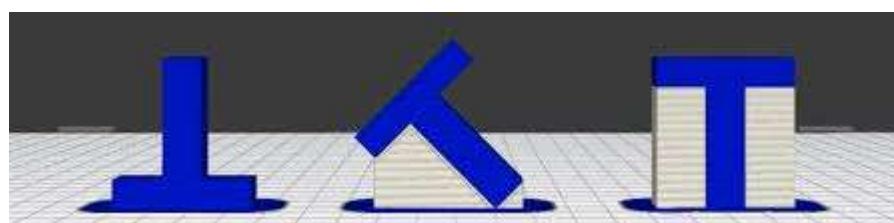


Figura 4. Orientaciones de la pieza de impresión [Fuentes: bcn3d.com]

- **Número de perímetros (Figura 5).** Estructura externa que tendrá la pieza impresa y su configuración afecta la dureza del objeto.

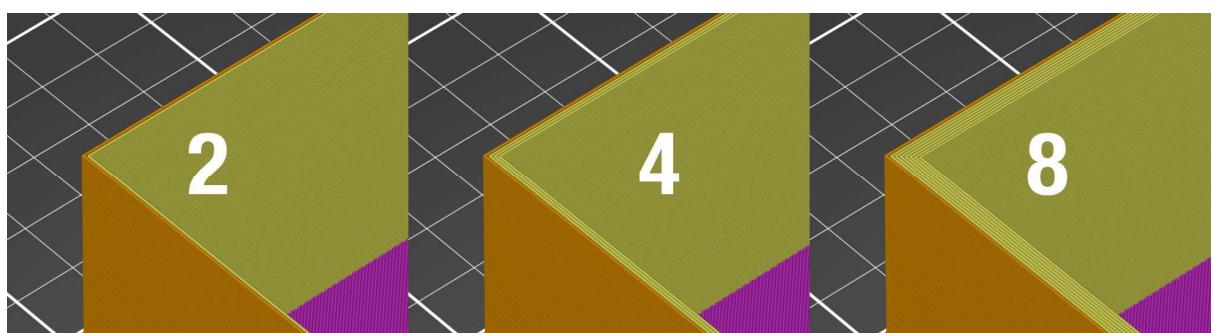


Figura 5. Número de perímetros [help.prusa3d.com]

- **Número de capas superiores/inferiores.** Para que la pieza tenga una superficie sólida adecuada debe tener al menos 3 capas superiores, y el mismo número de capas inferiores.
- **Patrón de relleno (Figura 6).** Estructura interna de una pieza impresa. El software rebanador Ultimaker CURA permite seleccionar hasta 14 patrones de relleno distintos.

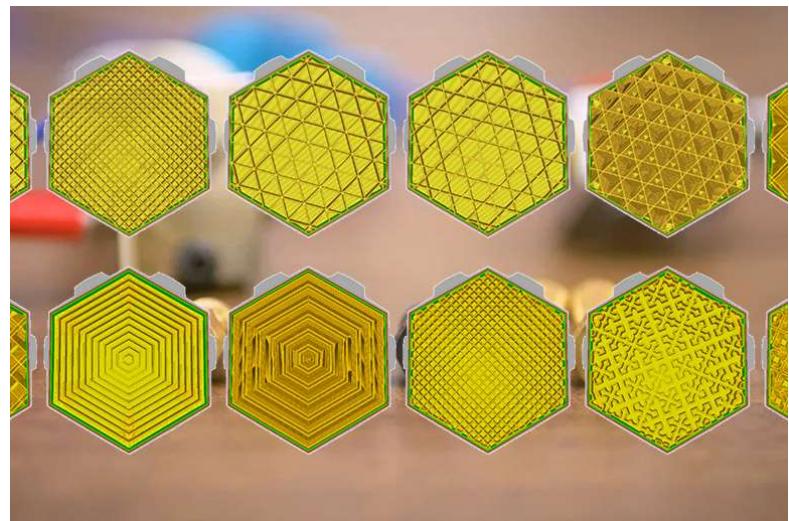


Figura 6. Patrones de relleno

- **Aceleración y frenado (Figura 7).** Mide la capacidad que tiene la impresora 3D para aumentar o reducir la velocidad del extrusor.



Figura 7. La selección de una aceleración excesiva puede malograr la pieza [Fuentes: 3d plast.biz]

4.- MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1.- Variables de estudio

Los investigadores decidieron seleccionar las siguientes variables independientes o variables de entrada: velocidad de impresión, el tamaño de la boquilla de impresión y densidad de relleno. Las variables de salida o variables dependientes son: tiempo de impresión y tensión máxima.

4.2.- Diseño del material experimental y/o de los instrumentos de recogida de información

En este proyecto se ha utilizado los siguientes recursos: ordenador, software de diseño (SolidWorks), software rebanador (Ultimaker CURA), impresora 3D, tereftalato de polietileno glicol (PETG) con fibra de carbono, pie de rey, máquina universal de ensayos, hoja de cálculo, editor de texto.

4.3.- Metodología

En primer lugar, se descargó la norma UNE-EN ISO 527, para obtener las dimensiones normalizadas de la probeta de tracción. En segundo lugar, se modeló la probeta en 3D mediante el software SolidWorks. (Figura 8, izquierda). A continuación, se elaboró un diseño de experimentos de tipo superficie respuesta. A partir de este diseño de experimentos, se configuró la impresión para cada probeta usando el software CURA (Figura 8, derecha). En la siguiente etapa, se imprimieron las probetas, usando la impresora 3D y el filamento de PETG-CF. Una vez impresas las probetas, se comprobaron las dimensiones de las probetas usando un pie de rey. Finalmente las probetas se ensayaron en la máquina de tracción.

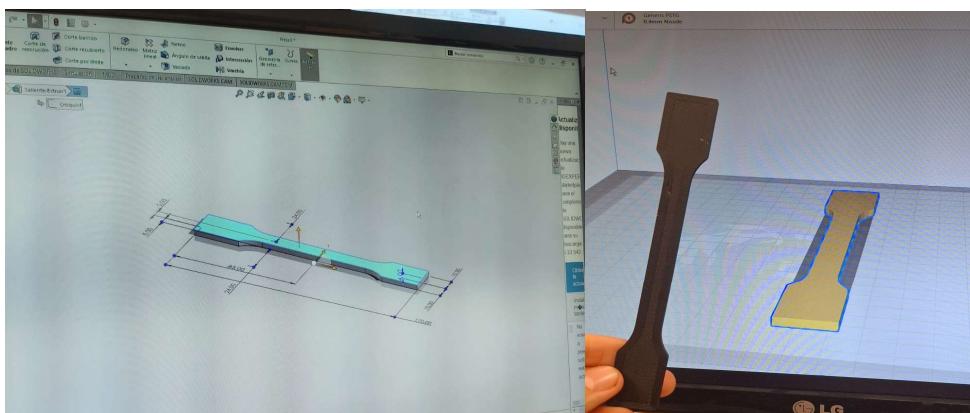


Figura 8. Diseño de la probeta en SolidWorks (izquierda); configuración de la impresión en CURA y probeta impresa (derecha)

La Tabla 1 recoge el diseño de experimentos elaborado mediante el software MINITAB. Como se puede observar, los parámetros estudiados son: diámetro de la boquilla (0,4, 0,6, 0,8 mm), velocidad de impresión (50, 100, 150 mm/s), densidad de relleno (20, 50, 80%).

Tabla 1. Diseño de experimentos

	Nozzle Diameter (mm)	Printing Speed (mm/s)	Infill Density (%)
1	0,6	50	80
2	0,6	100	50
3	0,8	100	20
4	0,6	100	50
5	0,6	50	20
6	0,8	50	50
7	0,6	150	20
8	0,8	100	80
9	0,4	100	20
10	0,6	150	80
11	0,8	150	50
12	0,4	50	50
13	0,4	150	50
14	0,4	100	80
15	0,6	100	50

4.4.-Planificación de la investigación

La Investigación se realizó a lo largo de 5 sesiones presenciales: 4 en el Campus de Rabanales y 1 en el IES Fidiana (para la elaboración de los documentos).

- **1^a Sesión (12 de noviembre de 2024)** Comprensión del objetivo general del proyecto.

En esta primera sesión, se accedió a las instalaciones del campus y se realizó una visita a este, viendo los diferentes laboratorios, talleres y aulas con los que cuenta la universidad. Esta sesión sirvió de ayuda para introducir a los investigadores en el proyecto y para conocer los grados que se pueden cursar en el campus.

En esta sesión se leyó la norma UNE-EN ISO 527 y se inició el modelado en 3D de la probeta de tracción. Para ello, los investigadores tuvieron que aprender los comandos básicos del software de diseño paramétrico SolidWorks.

- **2^a Sesión (19 de diciembre de 2025)** Diseño de las probetas de tracción

Esta sesión se celebró en un aula de informática de la UCO, con sus respectivos ordenadores (Figura 9). Los investigadores dieron sus primeros pasos en el programa de modelado en 3D SolidWorks. La mayor parte de la sesión estuvo dedicada a diseñar unas probetas estándar por la norma UNE-EN ISO 527. Una vez modelada la probeta, se generó un plano acotado de la misma.

- **3^a Sesión (21 de enero de 2025)** Diseño de experimentos e impresión 3D

En esta sesión, se explicó cómo se configura la impresión 3D mediante el software CURA, los distintos parámetros y cómo estos afectan a la variable de salida “tiempo de impresión” y cantidad de material. Se pudo ver gráficamente cómo el patrón de relleno y su densidad generan una estructura interior en la pieza diferente (“lo importante está en el interior”). También se vió cómo afecta la posición e inclinación de la pieza a la necesidad de soportes y bases. Una vez finalizada la explicación, se mostró al grupo varias piezas impresas en 3D. Cada pieza estaba hecha con diferentes materiales, y más importante aún, estaban fabricadas con distintos métodos de impresión, como la impresión 3D en resina.

Por último, los investigadores se trasladaron al Laboratorio de Metrotecnia, donde están ubicadas las impresoras 3D (Figura 10). Esta parte de la sesión se dedicó a conocer el funcionamiento de una de estas máquinas. La sesión finalizó con la impresión de un cubo con los ejes Y,X y Z bordados, que se entregó a los alumnos del grupo.

- **4^a Sesión (4 de febrero de 2025)** Ensayos de tracción

En la última sesión en la UCO, se pudo tener acceso a una máquina de ensayos de tracción. Los investigadores pudieron romper diversas probetas, para obtener valores de tensión máxima (Figura 11). Estos resultados son muy importantes para el trabajo, ya que permiten comparar las propiedades mecánicas de probetas aparentemente iguales, pero que han sido impresas con distintos parámetros de impresión.



Figura 9. Elaboración diseño gráfico de probetas



Figura 10. Impresión 3D de las probetas



Figura 11. Ensayos de tracción de las probetas impresas en 3D

● **5^a Sesión (11 de abril de 2025)** Elaboración de documentos

En esta sesión se pusieron en común texto, gráficas, fotografía y se empezaron a redactar los distintos documentos del proyecto.

- a) Preparación de un resumen/abstract
- b) Preparación de una memoria de investigación
- c) Preparación de un póster/panel
- d) Preparación de una presentación en diapositivas
- e) Preparación del texto de la exposición para la defensa en el congreso

5.- RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran los tiempos de impresión de la probeta de tracción para cada configuración. Utilizando el software MINITAB, se han podido generar las Figuras 12, 13 y 14. A partir de los ensayos de tracción realizados en el laboratorio, se ha podido confeccionar la Figura 15.

Tabla 2. Tiempos de impresión para cada configuración de probeta.

	Diámetro de la boquilla (mm)	Velocidad de impresión (mm/s)	Densidad de relleno (%)	Tiempo de impresión CURA (min)
1	0,6	50	80	48
2	0,6	100	50	30
3	0,8	100	20	19
4	0,6	100	50	30
5	0,6	50	20	37
6	0,8	50	50	27
7	0,6	150	20	23
8	0,8	100	80	21
9	0,4	100	20	41
10	0,6	150	80	34
11	0,8	150	50	19
12	0,4	50	50	67
13	0,4	150	50	42
14	0,4	100	80	83
15	0,6	100	50	30

Figura 11. Datos de las probetas

6.-DISCUSIÓN

Como se puede observar en las Figuras 12 a 14, el parámetro que tiene más influencia en el tiempo de impresión es el diámetro de la boquilla: boquillas con diámetro grande (0.8 mm) proporcionan tiempos de impresión menores o iguales a 27 minutos (Tabla 2); boquillas con diámetro pequeño (0.4 mm) proporcionan tiempos de impresión altos (entre 41 y 83 minutos). Como se puede apreciar en la Tabla 2, la influencia de la densidad de relleno es mayor que la influencia de la velocidad.

En la Figura 15 se muestran los resultados de los ensayos de tracción para distintas probetas. Se han escogido probetas con tiempos bajos, tiempos intermedios y tiempos elevados. Como se puede apreciar, no hay una correlación entre tiempos de impresión y tensión máxima. De hecho, hay una configuración muy interesante desde el punto de vista ingenieril: la combinación 0.6/100/50 proporciona valores elevados de tensión máxima y tiempos de impresión bajos (30 minutos).

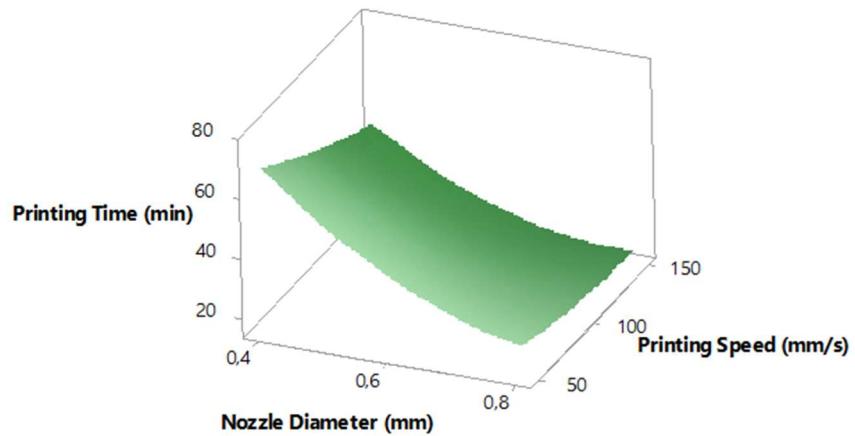


Figura 12. Gráfica de superficie de tiempo de impresión VS velocidad de impresión (relleno 50%)

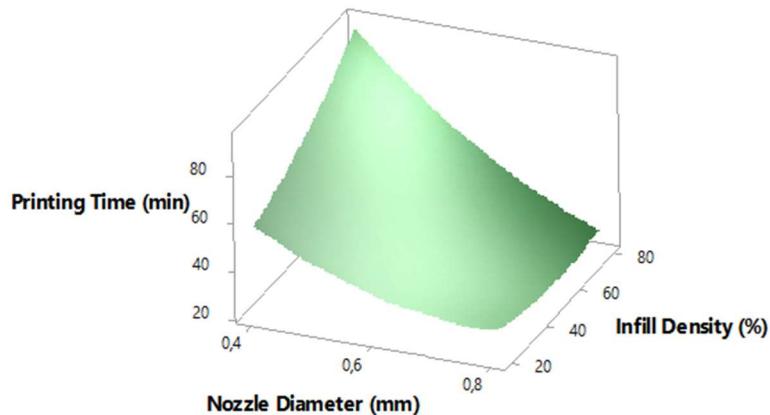


Figura 13. Gráfica de superficie de tiempo de impresión VS relleno (velocidad impresión 100 mm/s)

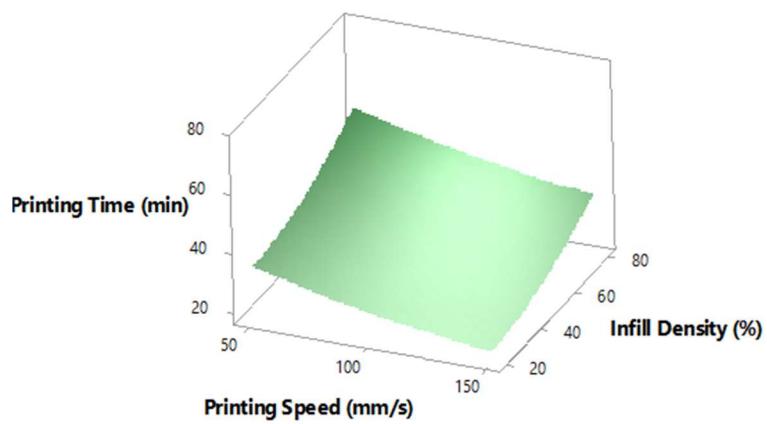


Figura 14. Gráfica de superficie de tiempo de impresión (min) vs. relleno (boquilla 0,6 mm)

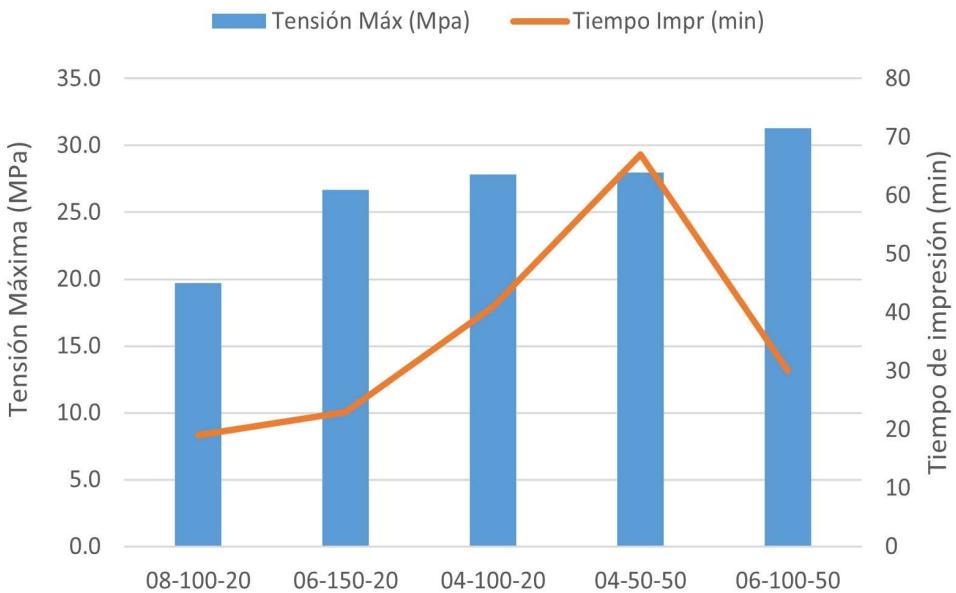


Figura 15. Resultado de ensayos de tracción.

7.-CONCLUSIONES

Tras analizar los resultados obtenidos, se pueden realizar las siguientes afirmaciones a modo de conclusión:

- Probetas aparentemente iguales requieren tiempos de impresión distintos y presentan propiedades mecánicas diferentes (es decir, “lo importante está en el interior”).
- El parámetro más influyente en el tiempo de impresión es el diámetro de la boquilla, seguido de densidad de relleno y velocidad de impresión.
- No hay correlación entre tiempo de impresión y propiedades mecánicas.
- La configuración 0.6/100/50 presenta interés desde el punto de vista ingenieril, ya que proporciona una elevada tensión máxima y, sin embargo, requiere un tiempo de impresión bajo (30 minutos).

8.- AGRADECIMIENTOS .

Queremos agradecer a Manuel Pegalajar Navarro y a Pablo Romero Carrillo su ayuda en el presente proyecto, ya que ambos han sido pilares fundamentales. Gracias a ellos se ha podido llevar a cabo el proyecto en la Universidad de Córdoba, explicando paso a paso el procedimiento a seguir, así como el interés y utilidad del mismo. Tampoco hay que olvidar a la profesora-coordinadora de la iniciativa FIDICIENCIA, Elena León, ya que sin ella sería imposible este congreso.

9.- BIBLIOGRAFÍA

Berchon, M., Luyt, B. (2016). La impresión 3D: Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general. España: Editorial GG.

Gómez González, S. (2007). El Gran Libro de Solidworks: Office Profesional. España: Marcombo.

Gómez González, S. (2016). Impresión 3D. España: Marcombo.

Lamikiz Mentxaka, A. (2023). FABRICACIÓN ADITIVA. España: UNED.

Martín Cruz, D. (2019). Aprender Impresión 3D para makers con 100 ejercicios prácticos. España: Marcombo.