Resistencia a compresión de los objetos impresos en 3D atendiendo a la orientación de su construcción laminar



Compression strength of 3D printed objects taking into account the orientation of layers

Sandra Moyano-Sanz[1], Mercedes Valiente-López[1], Alberto Romo-Melgar[2] y Carmen Sanz-Contreras[1]

[1] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. Escuela Técnica Superior de Edificación. Avenida Juan de Herrera, 6 - 28040 Madrid (España).
[2] Complejo Asistencial de Segovia. Servicio de Dermatología. Calle Luis Erik Clavería Neurólogo, s/n - 40002 Segovia (España).

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/9596 | Recibido: 10/12/2019 • Inicio Evaluación: 10/12/2019 • Aceptado: 29/04/2020

ABSTRACT

• This study tries to carry out the compression tests pertinent to a part manufactured using the 3D printing technique. In these tests, we will take into account the dimension of the pieces, the type of filament, the slicing parameters and, above all, the direction of the printing plane. With this research we want to publicize the new processes associated with 3D printing and how we can improve existing technology. The main objective is to compare the difference between the compressive strength of a 3D printed part, when the force acts in a direction parallel to the printing layers, and when it acts in a perpendicular direction. In this way, we can determine the position of the part in the printer and avoid the possible deformation problems that exist with this new additive production technique. Finally, we will make some conclusions derived from the study, and will make proposals for new avenues of research. With this article we intend to demonstrate the importance of the process of printing a part, the placement on the work plane and the materials used.

• **Key Words:** Compressive strength, 3D Printing, Warping, Thermoplastic brick, Additive production.

RESUMEN

Este estudio trata de realizar los ensayos a compresión pertinentes a una pieza fabricada mediante la técnica de impresión 3D. En dichos ensayos, tendremos en cuenta, la dimensión de las piezas, el tipo de filamento, los parámetros de laminado y, sobre todo, la dirección del plano de impresión. Con esta investigación queremos divulgar los nuevos procesos asociados a la impresión 3D y cómo podemos mejorar la tecnología existente. El objetivo principal es comparar la diferencia entre la resistencia a compresión de una pieza impresa en 3D, cuando la fuerza actúa en dirección paralela a las capas de impresión, y cuando lo hace en dirección perpendicular. De este modo, podemos determinar la posición de la pieza en la impresora y evitar los posibles problemas de deformación que existen con esta nueva técnica de producción aditiva. Finalmente, haremos algunas conclusiones derivadas del estudio, y se harán propuestas para nuevas vías de investigación. Con este artículo tenemos la intención de demostrar la importancia del proceso de impresión de una pieza, la colocación en el plano de trabajo y los materiales utilizados.

Palabras Clave: Resistencia compresión, Impresión 3D, Warping, Ladrillo termoplástico, Producción aditiva.

1. INTRODUCCIÓN

La impresión 3D. nació en 1984, año en que Chuck Hull creó la primera impresora tridimensional, para poco después, en 1986, fundar la empresa 3D Systems en California y desarrollar la primera impresora tridimensional comercial, basada en la estereolitografía (SLA).

Las impresoras 3D, nos permiten crear nuestros propios objetos de forma sencilla y sin necesidad de utilizar herramientas complejas, con la ventaja de poder copiar y modificar dichos objetos fácilmente y sin esfuerzo. Destaca aquí no sólo el poder crear nuestras piezas originales, sino que también podemos sustituir, bien sea para reparar o mejorar, las piezas de productos comerciales, cuyos repuestos en muchas ocasiones o son tremendamente caros o ni siquiera están a la venta. La impresión tridimensional combate por tanto la obsolescencia programada.

En cuanto al campo de la industria, se logrará aumentar el volumen de impresión y rapidez, así como su aplicación tanto en materiales estructurales convencionales como en otros alternativos. Veremos por tanto una mayor integración entre los sistemas aditivos, sustractivos y de cambio de forma, para un desarrollo más eficaz y con menor gasto de materiales y energía, tanto en la creación de edificios como de maquinaría, vehículos y productos de fabricación masiva, incluyendo dispositivos, ropa y objetos diversos de uso diario.

Dicho todo esto, muchos consideran la impresión tridimensional como la nueva revolución industrial más allá de la era de la información, pero será la evolución de esta tecnología y su uso por parte de la sociedad el que marque que ocurrirá en las próximas décadas. [1]

1.1. TIPOS DE IMPRESORAS 3D

Existen numerosos tipos de impresoras tridimensionales:

- Modelado por deposición fundida (FDM).
- Estereolitografía (SLA).
- Procesamiento digital de luz (DLP).
- Sinterizado selectivo por láser (SLS).
- Fusión selectiva por láser (SLM).
- Fusión por haz de electrones (EBM).
- Fabricación mediante laminado de objetos (LOM).

En nuestro caso, hemos utilizado para la realización de esta investigación una impresora de modelado por deposición fundida (FDM).

La tecnología FDM, es el método de impresión 3D más común en impresoras 3D. El filamento termoplástico se calienta y se extruye en coordenadas de X e Y a través del cabezal de extrusión, mientras que la superficie de impresión va bajando el objeto capa por capa en la dirección Z.

De este modo el objeto se imprime de abajo hacia arriba. Si se diera el caso de que un modelo tuviera partes que sobresalen, necesitará estructuras de soporte que se puedan quitar una vez que la impresión haya finalizado.

Este tipo de impresora 3D es una manera rentable de desarrollar un producto y de crear de forma rápida prototipos en los sectores de pequeñas empresas y la educación, ya que es capaz de fabricar piezas robustas de manera eficiente y rápida. [2]

1.2. TIPOS DE MATERIALES

Del mismo modo, existen también numerosos tipos filamentos para impresoras 3D.:

- PLA (Ácido poliláctico).
- ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno)
- PETG (Polietileno Tereftalato de Glicol).
- Nailon.
- TPE (Elastómeros termoplásticos).
- PC (Policarbonato.)
- Madera.
- Metal.
- Biofila.
- Conductivo.
- Fosforescente.
- Magnético.
- Arcilla, etc.

Nosotros, vamos a centrar nuestro estudio en tres materiales:

- PLA.

Ácido poliláctico (PLA), el filamento PLA es con diferencia el filamento 3D más popular, se extruye más fácilmente que otros materiales. Se puede extruir a temperaturas más bajas que el filamento ABS y no se deforma con la misma facilidad. Por esta razón, no es necesaria una cama de impresión (aunque ayuda a obtener mejores impresiones 3D). Como termoplástico biodegradable, el PLA es más ecológico que la mayoría de los filamentos 3D. Deriva de recursos renovables como el almidón de maíz o la caña de azúcar.

PROPIEDADES DEL FILAMENTO 3D: PLA

· Dureza: Alta | Flexibilidad: Baja | Durabilidad: Media.
· Dificultad de uso: Baja.
· Temperatura de impresión 180 ºC – 230 ºC.
· Temperatura de la cama de impresión: 20 ºC – 60 ºC (aunque no necesaria).
· Contracción/deformación: Mínima.
· Soluble: Si, en acetato de etilo.

En comparación con otros tipos de filamentos, el PLA es frágil. Se evita utilizar cuando se imprimen objetos tridimensionales que podrían doblarse, torcerse o caerse con frecuencia, como carcasas de teléfonos móviles, juguetes de uso frecuente y herramientas manuales. Tampoco se utiliza este filamento 3D para objetos que deben resistir altas temperaturas: tiende a deformarse a una temperatura de 60 ºC o superior. Para todas las demás aplicaciones, el filamento PLA es generalmente una buena elección.

- ABS.

El acrilonitrilo butadieno estireno o ABS es el segundo filamento 3D más popular después del PLA. Pero eso solo significa que es el segundo filamento 3D más usado. En lo que respecta a sus propiedades, es en realidad ligeramente superior al filamento PLA, aunque es más difícil de imprimir. Es por esta razón que ABS se utiliza para productos domésticos y bienes de consumo, desde ladrillos LEGO hasta cascos de bicicleta. Los productos fabricados con ABS tienen una larga vida útil y pueden soportar altas temperaturas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los filamentos se deben imprimir a altas temperaturas, tienden a deformarse cuando se enfrían y emiten humos tóxicos.

PROPIEDADES DEL FILAMENTO 3D: ABS

· Dureza: Alta | Flexibilidad: media | Durabilidad: Alta.
· Dificultad de uso: Media.
· Temperatura de impresión 210 ºC – 250 ºC.
· Temperatura de la cama de impresión 80 ºC – 110 ºC.
· Contracción/deformación: Considerable.
· Soluble: En ésteres, y cetonas.

El ABS es un material fuerte, capaz de soportar alta presión y altas temperaturas. También es suficientemente flexible para múltiples aplicaciones. Estas propiedades hacen del ABS un buen filamento 3D adecuado para muchas aplicaciones, pero es especialmente apropiado para la impresión de objetos que se sometan a cambios de temperatura, impacten o tengan un uso frecuente.

- HIPS.

En el mundo de la impresión 3D, el filamento 3D HIPS se usa para diferentes propósitos, como la impresión de soportes. Las impresoras 3D no pueden imprimir en el vacío. Las piezas que sobresalen con ángulos abruptos necesitan un soporte para que la capa se imprima correctamente. Es para este fin para el que realmente se usa el filamento HIPS. Combinado con un filamento ABS en una impresora 3D de doble extrusión, el filamento HIPS es un material excelente para imprimir estructuras de soporte. Se rellenan los espacios vacíos del modelo con este filamento 3D y luego se disuelve sumergiendo el producto terminado en limoneno, (hidrocarburo líquido incoloro).

De hecho, aparte de su uso principal para la impresión de soportes, HIPS es un buen filamento 3D. Es más resistente que el PLA o el ABS, se deforma menos que el ABS y, como el ABS, se puede pegar, lijar y pintar fácilmente.

PROPIEDADES DEL FILAMENTO 3D: HIPS

· Dureza: Alta | Flexibilidad: media | Durabilidad: Alta.
· Dificultad de uso: Media.
· Temperatura de impresión 210 ºC – 250 ºC.
· Temperatura de la cama de impresión 80 ºC – 110 ºC.
· Contracción/deformación: Considerable.
· Soluble: En limoneno.

El filamento HIPS comparte muchas características con el filamento ABS, por eso sería la mejor opción para imprimir piezas resistentes o para proyectos que necesiten un material posible de alterar para obtener un acabado especial. [3]

1.3. FACTORES DE LA IMPRESIÓN QUE INTERVIENEN EN LA ORIENTACIÓN DE LAS CAPAS

Para determinar la orientación de la pieza a la hora de imprimirla, tenemos que tener en cuenta, principalmente dos factores:

- Warping.

Es muy común que al imprimir piezas que ocupan mucha superficie, las esquinas tiendan a levantarse. Esto es debido a la contracción: el material sale del extrusor a alta temperatura, se deposita en la plataforma que está a menor temperatura, y sufre una contracción al enfriarse. El material del centro tracciona del de las esquinas, provocando que éstas últimas se separen de la base. [4]

- Soportes.

Hay casos, como la presencia de voladizos, donde se hace necesario añadir soportes al diseño. Pero dichos soportes, siempre llevan costes añadidos de material y tiempos asociados, además de un impacto directo que puede afectar a la calidad y funcionalidad de la pieza.

No todos los objetos están diseñados para la fabricación aditiva, en algunos casos, se necesita la colocación de demasiados soportes para su propia construcción.

El objetivo es diseñar la pieza de forma que no necesite soportes, que se soporte por sí misma. Y, sólo en el caso de que esto no sea posible, buscar otras alternativas que dependan de la colocación de la pieza. [5]

Se puede evitar la aparición de los soportes orientando, de una manera u otra, la pieza en la cama de impresión con respecto a los ejes de coordenadas. En el caso de que la pieza definitiva presente las líneas de impresión verticales en el alzado, esto puede afectar a la resistencia a compresión de la pieza.

Con este estudio, queremos cuantificar la diferencia de resistencias en función de la orientación de las capas.

2. OBJETIVOS

Para la realización de este estudio de investigación, se proponen los siguientes objetivos:

2.1. OBJETIVOS GENERALES

Realizar los ensayos de laboratorio necesarios para determinar la diferencia de resistencia a compresión de seis piezas impresas en 3D. Las variables a determinar son las siguientes:

- Dimensiones de la pieza.
- Tipo de material.
- Parámetros de impresión.
  - Calidad.
  - Perímetro.
  - Relleno.
  - Material.
  - Velocidad.
  - Desplazamiento.
  - Refrigeración.
  - Soporte.
  - Adherencia de la capa de impresión.
  - Extrusión doble.
  - Correcciones de malla.
  - Modos especiales.
  - Experimental.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se realizarán dos ensayos de resistencia a compresión por cada tipo de pieza, uno de ellos se ejecutará con la dirección de la fuerza perpendicular al plano de impresión, y por lo tanto perpendicular a la dirección de las capas.

El otro ensayo, se realizará con la dirección de la fuerza de actuación paralela al plano de impresión, y por lo tanto paralela a la dirección de las capas.

Con el análisis de estos datos, podemos concluir, sí la diferencia entre ambas resistencias es significativa, y la orientación de la pieza al imprimirla, es clave para determinar su resistencia a compresión. En el caso de que la orientación de impresión de la pieza no sea relevante, también puede ser útil para mitigar problemas derivados de la impresión 3D. tales como:

- Warping.
- Huecos en la cara superior de las impresiones.
- Ondulaciones en los laterales de la pieza.
- No hace correctamente el relleno.
- Acabado superficial en planos curvos.

3. ESTADO DEL ARTE

Con el fin de demostrar la exclusividad de esta investigación y establecer de qué forma otros investigadores han estudiado el tema, hacemos alusión, a otros artículos publicados y relacionados con nuestro proyecto.

- **TRABAJO FIN DE GRADO. GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES.**
  Caracterización del comportamiento a tracción de probetas impresas en 3D y aplicación al diseño de una cuchara para una turbina Pelton.
  Autor: Jorge Osorio Gil. Tutor: Daniel García Vallejo.
  Dep. de Ingeniería Mecánica y Fabricación. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. Sevilla, 2017. [6]

- **TRABAJO DE FIN DE GRADO. GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA.**
  Proyecto de diseño de piezas modeladas con una impresora 3D para la realización de prácticas de laboratorio de la asignatura de resistencia de materiales y teoría de estructuras.
  Autor: Xavier Rodríguez Campillo. Directora: Montserrat Sánchez Romero.
  Escuela Superior de Ingeniería Industrial Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona 2018. [7]

- **TRABAJO FIN DE GRADO. GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES.**
  Desarrollo de piezas de poliamida mediante impresión 3D.
  Autora: Sara Nebot Montagud. Tutor: Vicente Amigó Borrás.
  Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2016. [8]

4. METODOLOGÍA

Los pasos a seguir para la realización de esta investigación, son los siguientes:

- Diseño de las piezas en función de las características de la máquina.
- Elección de los materiales.
- Impresión de las piezas.
- Realización de los ensayos de resistencia a compresión.
- Obtención de los resultados.
- Análisis de los resultados.
- Estudio comparativo de los resultados.
- Discusión de los datos obtenidos.
- Conclusiones finales.

5. DESARROLLO DEL ESTUDIO

Para la realización de este estudio, se procede a imprimir las piezas necesarias en laboratorio de impresión 3D, de la Escuela Técnica Superior de Edificación. La impresora utilizada es Abax PRi5 doble extrusor (AL+HB+DEX).

5.1. NOMENCLATURA SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PIEZAS

Se asigna a cada pieza un nombre para la realización de los ensayos de laboratorio.

5.2. PARÁMETROS DE IMPRESIÓN DE LAS PIEZAS

El software utilizado para el laminado de las piezas es Ultimaker Cura 4.3.

5.3. DESARROLLO DEL ENSAYO RESISTENCIA A COMPRESIÓN

El ensayo de resistencia a compresión, se realiza siguiendo las pautas marcadas en la Norma UNE-EN 772-1:2011+A1. Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. [9]

Se toman las muestras impresas, dos piezas de PLA, dos piezas de ABS, dos piezas de HIPS. Dichas piezas han sido impresas en diferentes colores para su rápida identificación, sin influir esto último en el resultado de la prueba.

Se colocan las piezas en la maquina (MIB-60), de forma individual y alineada con el centro del plato, de manera que quede asentada uniformemente.

Se comienza a realizar el ensayo simple con control en carrera, con una velocidad uniforme (0.5 mm/min), temperatura estable (25ºC), un tiempo aproximado de duración del ensayo (500 segundos).

Se registran los datos obtenidos por cada ensayo.

Se calcula la resistencia de cada muestra, dividiendo la carga máxima alcanzada por la superficie sometida a carga.

En primer lugar, se coloca la pieza 1A en la máquina, y se observa la deformación, una vez alcanzado el punto de rotura.

A continuación, colocamos la pieza 1B, y procedemos al ensayo.

Seguidamente, repetimos el ensayo con las piezas 2A y 2B, de igual forma que el anterior.

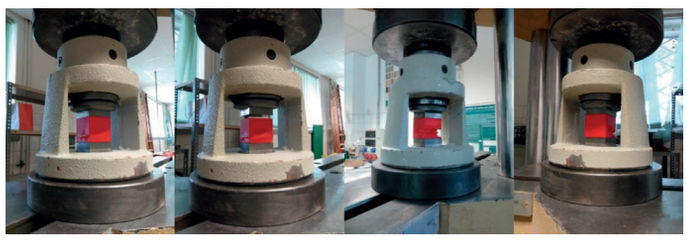


Figura 1. Ensayo piezas 1A y 1B. Fuente de autor

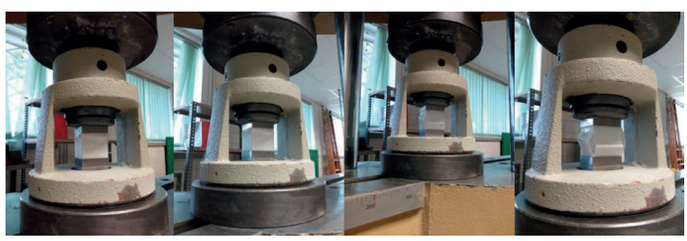


Figura 2. Ensayo piezas 2A y 2B. Fuente de autor

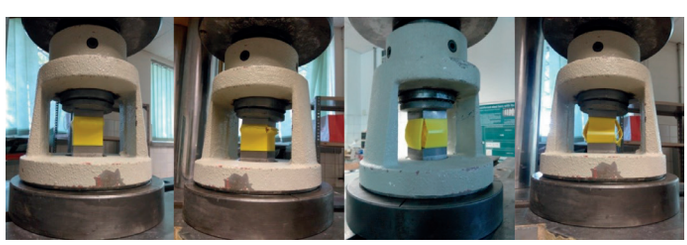


Figura 3. Ensayo piezas 3A y 3B. Fuente de autor

Por último, se realizan ambos ensayos en las piezas impresas en HIPS, 3A y 3B.

6. ESTUDIO COMPARATIVO

En este apartado, podemos observar los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión de las muestras impresas.

6.1. OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

En la tabla 2, se muestra el resultado obtenido del ensayo para las diferentes piezas.

6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación, se muestra la gráfica obtenida de los ensayos realizados para cada una de las muestras.

6.3. ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS

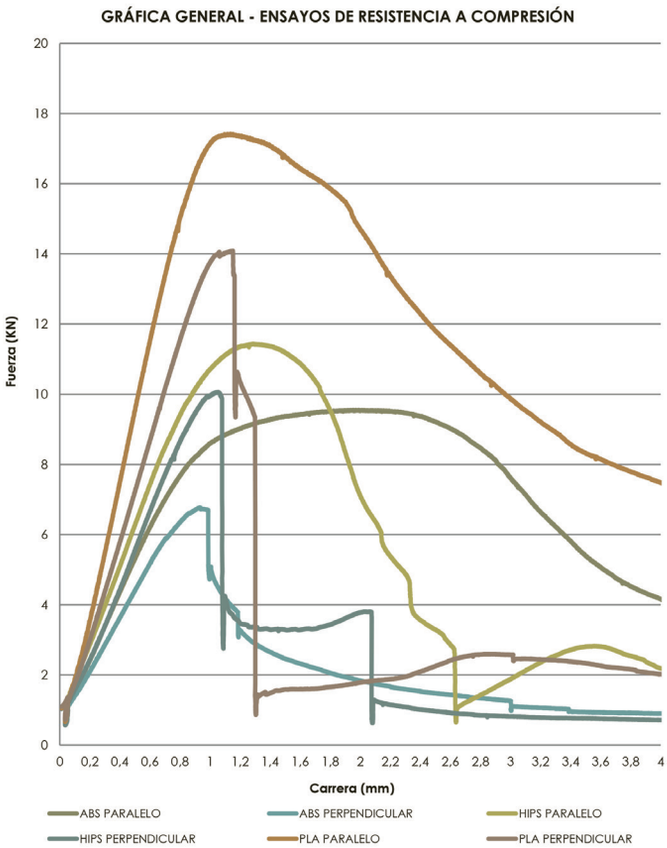
Seguidamente, mediante gráfico comparativo, podemos observar la diferencia de resistencias característica de cada pieza.

NOMBRE DE LA PIEZA	TIPO DE MATERIAL	DIMENSIONES (MM)			COLOR	Ø (MM)	DIRECCIÓN APLICACIÓN DE LA FUERZA
		L	W	H			
Pieza 1A	Ácido poliláctico	40	40	40	Rojo	1,75	Paralela al plano de impresión.
Pieza 1B	Ácido poliláctico	40	40	40	Rojo	1,75	Perpendicular al plano de impresión.
Pieza 2A	Acrilonitrilo butadieno estireno	40	40	40	Transparente	1,75	Paralela al plano de impresión.
Pieza 2B	Acrilonitrilo butadieno estireno	40	40	40	Transparente	1,75	Perpendicular al plano de impresión.
Pieza 3A	Poliestireno de alto impacto	40	40	40	Amarillo	1,75	Paralela al plano de impresión.
Pieza 3B	Poliestireno de alto impacto	40	40	40	Amarillo	1,75	Perpendicular al plano de impresión.

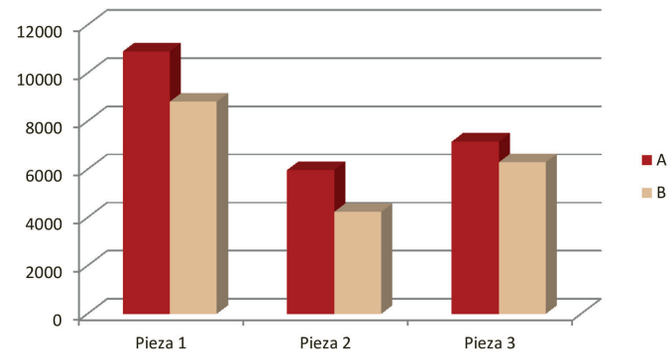
Tabla 1. Nomenclatura de las piezas. Fuente de autor.

NOMBRE DE LA PIEZA	AUTOR	FECHA DEL ENSAYO	CARGA DE ROTURA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (KN/M²)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPA)
Pieza 1A	S. Moyano Sanz	03 Octubre 2019	17,425	10890,625	10,890
Pieza 1B	S. Moyano Sanz	03 Octubre 2019	14,098	8811,250	8,811
Pieza 2A	S. Moyano Sanz	03 Octubre 2019	9,5526	5970,375	5,970
Pieza 2B	S. Moyano Sanz	03 Octubre 2019	6,7728	4233,000	4,233
Pieza 3A	S. Moyano Sanz	03 Octubre 2019	11,441	7150,625	7,151
Pieza 3B	S. Moyano Sanz	03 Octubre 2019	10,066	6291,250	6,291

Tabla 2. Obtención de resultados. Fuente de autor



Gráfica 1. Diagrama en carrera comparativo. Fuente de autor



Gráfica 2. Resistencia a compresión piezas tipo A y B (KN/M²). Fuente de autor

6.4. DISCUSIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS

En la siguiente tabla, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos anteriores y la diferencia de porcentaje existente entre ellos.

7. CONCLUSIONES FINALES

Con la realización de este estudio de investigación, obtenemos las siguientes conclusiones:

- En objetos impresos en 3D, la posición de la pieza en la máquina del ensayo de resistencia a compresión afecta directamente al resultado de dicho ensayo.
- Las piezas colocadas en la máquina de ensayo con las capas paralelas al plano de trabajo y, por lo tanto, perpendiculares a la fuerza aplicada obtienen mayor resistencia a compresión.
- Por el contrario, las piezas colocadas en la máquina de ensayo con las capas perpendiculares al plano de trabajo y, por lo tanto, paralelas a la fuerza aplicada obtienen menor resistencia a compresión.
- En piezas impresas en material PLA, esta diferencia es de un 19.09%, en piezas impresas en ABS, un 29,10% y en piezas cuyo material es HIPS, la diferencia es de un 12,02%.
- El material elegido para imprimir las piezas, también afecta directamente a los resultados de los ensayos. De los tres

NOMBRE DE LA PIEZA	CARGA DE ROTURA (KN)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (KN/M²)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPA)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (KP/CM²)	%	DIFERENCIA %
Discusión de datos entre piezas 1, 2 y 3.						
Pieza 1A	17,425	10890,625	10,890	111,0535	100	0
Pieza 1B	14,098	8811,250	8,811	89,8497	80.91	19.09
Pieza 2A	9,5526	5970,375	5,970	60,8809	100	0
Pieza 2B	6,7728	4233,000	4,233	43,1646	70.90	29.10
Pieza 3A	11,441	7150,625	7,151	72,9161	100	0
Pieza 3B	10,066	6291,250	6,291	64,1529	87.98	12.02
Discusión de datos entre piezas A y B.						
Pieza 1A	17,425	10890,625	10,890	111,0535	100	0
Pieza 2A	9,5526	5970,375	5,970	60,8809	54.82	45.18
Pieza 3A	11,441	7150,625	7,151	72,9161	65.66	34.34
Pieza 1B	14,098	8811,250	8,811	89,8497	100	0
Pieza 2B	6,7728	4233,000	4,233	43,1646	48.04	51.96
Pieza 3B	10,066	6291,250	6,291	64,1529	71.40	28.60

Tabla 3. Discusión de datos piezas B. Fuente de autor

materiales seleccionados, el PLA es el que obtiene mejores resultados, mientras que el ABS es el que tiene los valores de resistencia más bajos.

- Si comparamos los distintos materiales de las muestras, en igualdad de condiciones frente a su colocación, concluimos que las piezas colocadas con la disposición de las capas paralelas al plano de trabajo varían en sus resultados en función del material.
- De este modo, si consideramos el 100% el valor obtenido por la pieza realizada en PLA como el valor más alto, la muestra impresa en ABS, tendría una resistencia de un 45,18% menor que el valor de referencia, y la muestra impresa en HIPS, tendría una resistencia de un 34,34% menor que el impreso en PLA.
- De la misma manera, las piezas colocadas con la disposición de las capas perpendiculares al plano de trabajo varían en sus resultados en función del material de las mismas, igualmente, si consideramos el 100% el valor obtenido por la pieza impresa en PLA como el valor más alto, la muestra impresa en ABS, tendría una resistencia de un 51,96% menor que el valor de referencia, y la muestra impresa en HIPS, tendría una resistencia de un 28,60% menor que el impreso en PLA.
- La muestra cuyo resultado es más favorable y, por lo tanto, tiene mayor resistencia a compresión es la pieza 1A, cuyo material es PLA y dispone las capas de impresión paralelas al plano de trabajo, con una resistencia de 10890,625 KN/M^2.
- La muestra cuyo resultado es más desfavorable y, por lo tanto, tiene menor resistencia a compresión es la pieza 2B, cuyo material es ABS y dispone las capas de impresión perpendiculares al plano de trabajo, con una resistencia de 4233,000 KN/M^2.
- En cuanto a la deformación, podemos observar que en los ensayos donde las capas de impresión están colocadas paralelas al plano de trabajo (ensayos tipo A), en las piezas de PLA la figura se deforma en la parte superior de la misma. En las piezas impresas en ABS y HIPS se deforman en la parte inferior.
- Los ensayos se han realizado en "carrera", entendemos por esto que, la fuerza se sigue aplicando una vez se produce la rotura del objeto para observar su deformación. En este caso, alcanzado el punto de rotura, la fuerza aplicada aumenta por que la pieza está comprimida y se necesita aplicar una fuerza mayor para aumentar la deformación.
- En el sector industrial, se utilizan soldaduras y uniones, que con las impresoras 3D. no se necesitan, podemos fabricar casi cualquier objeto que podamos dibujar. En este artículo, queremos destacar la importancia de la colocación de la pieza en la impresora, a efectos de resistencias. Es precisamente en este sector, donde las piezas suelen tener formas cilíndricas, y la disposición de la pieza, es determinante para conseguir un ahorro de tiempo y de material de soporte.

REFERENCIAS

[1] Mónica Tilves, SILICON, Impresión 3D: llega el futuro de los sistemas de producción, 26 Agosto 2019. Obtenido de https://www.silicon.es/impresion-tridimensional-llega-el-futuro-de-los-sistemas-de-produccion-49043

[2] Anatol Locker, ALL3DP, 9 tipos de impresoras 3D: guía de tecnologías de impresión 3D, 03 Agosto 2019. Obtenido de https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/

[3] Sean Rohringer, ALL3DP, Los 25 mejores filamentos para impresoras 3D – Guía 2019, 21 Agosto 2019. Obtenido de https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/.

[4] Autor desconocido, IMPRESORAS 3D.COM, El warping: qué es y cómo evitarlo, 30 Julio 2019. Obtenido de https://www.impresoras3d.com/el-warping-que-es-y-como-evitarlo/.

[5] Autor desconocido, TRESD, Soportes e impresión 3D: lo que nunca te cuentan, 24 Agosto 2019. Obtenido de https://impresiontresde.com/soportes-e-impresion-3d-lo-que-nunca-te-cuentan/.

[6] Jorge Osorio Gil, (2017). Caracterización del comportamiento a tracción de probetas impresas en 3D y aplicación al diseño de una cuchara para una turbina Pelton. Dep. de Ingeniería Mecánica y Fabricación. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.

[7] Xavier Rodríguez Campillo, (2018). Proyecto de diseño de piezas modeladas con una impresora 3D para la realización de prácticas de laboratorio de la asignatura de resistencia de materiales y teoría de estructuras. Escuela Superior de Ingeniería Industrial Aeroespacial y Audiovisual de Terassa. Universidad Politécnica de Cataluña.

[8] Sara Nebot Montagud, (2016). Desarrollo de piezas de poliamida mediante impresión 3D. Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.

[9] Norma UNE-EN 772-1:2011+A1. Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Determinación de la resistencia a compresión. AENOR, Madrid. Junio 2016.