

## CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS CUERPOS DE PRUEBA ABS CONFECCIONADOS CON DIFERENTES PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN VÍA IMPRESIÓN 3D

Dielyson Martins Galina, Davi Pereira Garcia\*, Giuliano Gonçalves de Souza, Luiz Rafael Resende da Silva, Rômulo Maziero

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Rua Duque de Caxias, 194A, Carapina, São Mateus. davi.garcia@ifes.edu.br

*Recibido: marzo 2016; Aceptado: Octubre 2016*

### RESUMEN

Se ha tornado constante el recién desarrollo de impresoras 3-D de código abierto en las industrias con base en aditivos distribuidos de alto valor técnicamente viable, como en la fabricación de objetos a partir de acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) en especial, que posee temperaturas bajas de fusión suficientes para utilizar en la extrusión fuera de una instalación industrial, como en impresiones 3D para mantener su forma en temperaturas medias de uso. Se deben reconocer algunas partes impresas de piezas ABS para utilización en aplicaciones de ingeniería, que exigen una buena resistencia a la corrosión, baja densidad y propiedades mecánicas elevadas. Se tiene como objetivo, en el presente trabajo, analizar las propiedades mecánicas de los cuerpos de prueba ABS confeccionados por impresión 3D con diferentes variaciones en la espesura de la capa depositada. Los ensayos de tracción y dureza se realizaron para determinar las propiedades mecánicas del polímero ABS.

**Palabras-clave:** ABS, impresora 3-D, fabricación aditiva, propiedades mecánicas, espesura de la capa.

### ABSTRACT

The recent development of 3-D open source printers in industries based on distributed high technically feasible value of additives has become constant as in the manufacture of objects mainly from acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS), which have low melting temperatures enough to use in extrusion out of an industrial installation, such as 3D prints to maintain its shape at medium temperature use. Some printed parts of ABS parts for use in engineering applications which require good corrosion resistance, low density and high mechanical properties must be known. This study aimed to analyze the mechanical properties of ABS specimens made for 3D printing with different variations in the thickness of the deposited layer. The tensile and hardness tests were performed to determine the mechanical properties of the ABS polymer.

**Keywords:** ABS, 3D printer, additive manufacturing, mechanical properties, layer thickness.

### INTRODUCCIÓN

Actualmente, con el desarrollo de la tecnología, es cada vez más necesario que los materiales presenten propiedades especiales para atender a la demanda de nuevas condiciones, cubriendo prácticamente todas las áreas de mercado y con características tales como baja densidad, buenas propiedades mecánicas y de corrosión [1].

La fabricación aditiva por medio de impresión 3D es una tecnología que permite la confección de complejos productos poliméricos en casa o en la oficina, eliminando las industrias de los procesos de fabricación [2,3]. Con eso, se torna posible crear proyectos o estructuras que no eran posibles utilizando las formas tradicionales de fabricación, como el moldeo y la fundición [4]. Esta tecnología se la define por la ASTM Internacional [5] por la capacidad de “unir materiales para

hacer objetos a partir de un modelo 3D, normalmente capa arriba de capa de superposición, al revés de los procesos de fabricación convencionales que exigen la remoción de material para conseguir la forma que se desea”. Este proceso de fabricación es automatizado y basado en CAD (diseño asistido por computadora). Según el director ejecutivo del *3D Systems Inc.*, fabricante de impresoras 3D, esa tecnología no exige constante atención de un operador, tampoco accesorios para crear piezas, sin embargo exige la elaboración de un archivo a partir de lo cual se puede replicar formas que no son hechas por métodos de fabricación tradicionales [6].

Hay varios tipos de procesos de producción dentro de la fabricación aditiva y ellos se diferencian en términos de materia prima utilizada y la técnica empleada para la deposición de capas [5], lo que permite construir gradualmente la geometría tridimensional del producto, sin moldes o herramientas de corte, como ejemplo [7]:

- Deposición termoplástica o modelaje por deposición hundida (que también se conoce por FDM): esta es la tecnología más sencilla y más barata de producción, utilizada en varios modelos de impresoras 3D para el mercado interno. Su alimentación se hace por medio de un hilo de plástico que se hunde por la matriz y se lo deposita en capas. Algunos modelos industriales son capaces de trabajar con hilos, permitiendo imprimir objetos de metal.
- Chorro de tinta: esta es una tecnología semejante a lo que se utiliza en las impresoras a chorro de tinta, en que se usan sucesivas capas de resina y el elemento de fijación para crear objetos. Esta tecnología es más lenta y más cara (una vez que se fornece la materia prima en forma de cartucho, dando oportunidad a los fabricantes a que se la exploten), pero ofrece una ventaja importante, que es la capacidad de imprimir a colores. Este proceso aun no es ampliamente utilizado, pero, en el futuro, se lo puede tornar más popular con impresoras domésticas.
- Sinterización de polvo a láser o SLS (sinterización selectiva a láser): esta es una técnica industrial que permite la creación de objetos a partir de varios materiales, como cerámica, vidrio o metal, fornecidos en forma de polvo. Las capas son moldeadas con la ayuda de un láser que hunde el material que se deposita sucesivamente, capa por capa.
- Procesamiento digital de luz (DLP): esta técnica se aprovecha de la tecnología usada en proyectos DLP, que usa la luz para solidificar una capa de polímero depositado por capa. Esta técnica permite obtener buenos niveles de detalle y producir piezas con buenas propiedades mecánicas. Es una técnica usada en impresoras industriales, pero que tiene la propensión de disminuir el precio, lo que la tornaría más común en las impresoras domésticas.
- Según *Petrovic et al.* [8], estudios enseñan que los materiales producidos en aplicaciones de

metal en comparación a la impresión 3D se reducen en un 40% cuando se los comparan a otras tecnologías de mecanizado y fabricación de material. Además, un 95 a un 98% de residuos de material de impresión 3D se los pueden reciclar. La fabricación aditiva puede remover hasta un 96% de materia-prima durante la fabricación de un producto, en comparación con las tecnologías de fabricación convencionales, pero en contraste, las variables de costeo de impresión 3D no reducen con la producción en gran escala.

*Tymrak, Kreiger y Pearce* [9] estudiaron la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad de piezas producidas a partir de ABS en una impresora 3-D, para eso se utilizaron ensayos de tracción que mostraban resistencia a la tracción equivalente a 28,5 MPa y módulo de elasticidad igual a 1.807 MPa.

En este artículo se analizaron algunas propiedades mecánicas importantes del polímero ABS, como tensión máxima, límite de elasticidad, alargamiento en la ruptura, módulo de elasticidad, resistencia a la tracción y dureza. De manera a cuantificar estas propiedades, todos los ensayos se realizaron en cuerpos de prueba de fabricación aditiva por medio de impresión 3D con tecnología de FDM con diferentes grosores de la capa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Después de examinar los patrones indicados para cada ensayo, se realizó el diseño de los cuerpos de prueba en *AutoCAD*®2015, de acuerdo con la Figura 1, y se encaminó el archivo a la impresora 3D, modelo *UP Plus 2*. Se prepararon cinco muestras de cada una de las seis capas de espesura 0,15, 0,20, 0,25, 0,30, 0,35, y 0,40 mm.

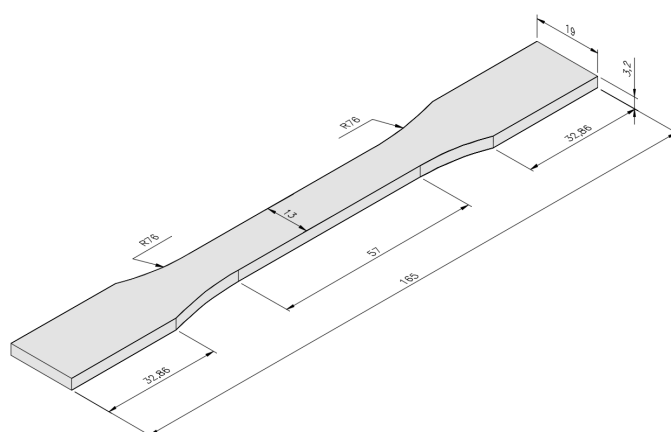


Figura 1. Cuerpo de prueba para ensayo de tracción.

Se realizaron los ensayos de tracción en temperatura ambiente de 21,4°C con humedad relativa de un 51%. Se hicieron los ensayos de acuerdo con la ASTM Internacional [10], en una máquina universal de ensayos *EMIC-DL 10.000*, con capacidad máxima de 100 kN, utilizando

software Tesc (versão 3.5) para adquisición de procesamientos de datos. Se fijó cada cuerpo de prueba en la máquina con un medidor de tensión que mide la deformación de la muestra. La aplicación de la fuerza de tracción axial fue con velocidad de 5 mm/min hasta la ruptura del cuerpo de prueba. Después de cada ensayo, se salvaron los datos en la computadora y se los usaron en los ploteos de los gráficos para análisis de las propiedades mecánicas. Se utilizaron la *ASTM Internacional* [11] para los ensayos de dureza (*Shore D*).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección, se presentarán los resultados de tracción y dureza. La Figura 2 presenta la impresora 3D utilizada y una muestra de ensayos.

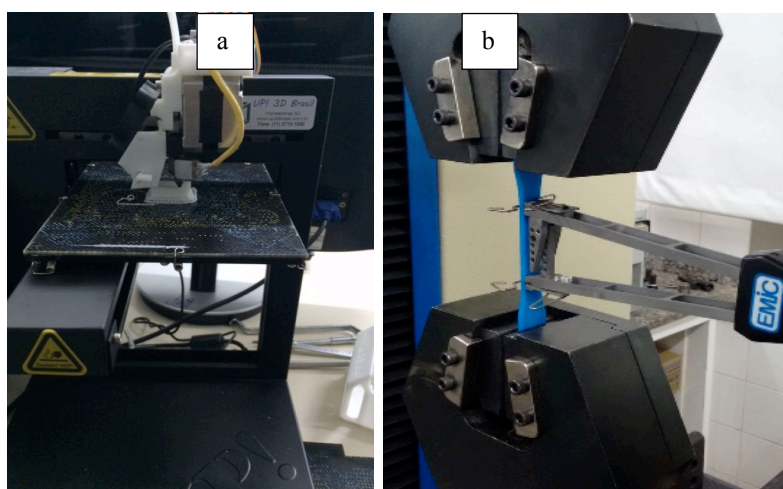


Figura 2. (a) impresora 3-D y (b) ensayo de tracción.

**Ensayo de tracción.** Después de los ensayos se obtuvieron la media de la resistencia a la tracción, resistencia a la deformación, el alargamiento y el módulo de elasticidad, como se enseña en la Tabla 1. El módulo de elasticidad fue más elevado en la muestra de ensayos impresa con capas de 0,25 mm, con 1.583,67 MPa. La fuerza de rendimiento presentó igual comportamiento, con el valor de 23,00 MPa para la muestra de capas de espesuras de 0,25 mm.

Tabla 1. Resultados de los ensayos de tracción para diferentes grosores de capas de impresión.

| Grosor de la capa<br>mm | Resistencia máxima |         | Fuerza de rendimiento |         | Alargamiento |         | Módulo de elasticidad |         |
|-------------------------|--------------------|---------|-----------------------|---------|--------------|---------|-----------------------|---------|
|                         | MPa                | DESVPAD | MPa                   | DESVPAD | %            | DESVPAD | MPa                   | DESVPAD |
| 0,15                    | 20,81              | ±1,06   | 19,69                 | ±1,12   | 2,18         | ±0,13   | 1.321,86              | ±38,41  |
| 0,20                    | 20,96              | ±1,46   | 20,03                 | ±1,25   | 1,79         | ±0,12   | 1.448,90              | ±139,02 |
| 0,25                    | 24,12              | ±1,02   | 23,00                 | ±0,59   | 2,08         | ±0,32   | 1.583,67              | ±61,77  |
| 0,30                    | 21,31              | ±0,82   | 19,00                 | ±1,15   | 2,37         | ±0,57   | 1.539,64              | ±53,70  |
| 0,35                    | 17,67              | ±0,76   | 16,66                 | ±0,38   | 2,03         | ±0,34   | 1.259,08              | ±89,42  |
| 0,40                    | 16,13              | ±0,85   | 14,28                 | ±0,80   | 2,08         | ±0,38   | 1.175,33              | ±137,07 |

DESVPAD: Desvío patrón

Con los datos de los ensayos también fue posible obtener las curvas tensión–deformación, como se enseña en la Figura 3.

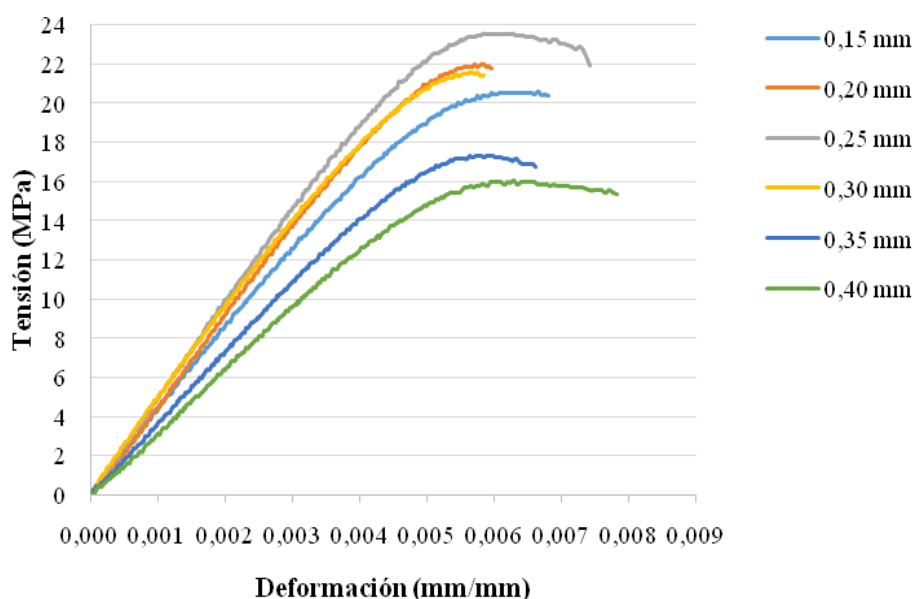


Figura 3. Curvas tensión–deformación para los cuerpos de prueba con diferentes espesuras de capa

Para la resistencia a la tracción media final de cada capa de espesura, como se enseña en la Figura 4, se observó que la resistencia a la tracción, con el aumento del grosor de la capa, aumentó de 0,15 a 0,25 mm. Con eso, con el aumento de la espesura 0,25 a 0,40 mm, existe una degradación de esta propiedad. La mayor resistencia máxima que se observó fue de 24,12 MPa, que ocurrió cuando la muestra fue impresa con una espesura de capa de 0,25 mm. La mayor resistencia, en el valor de 16,13 MPa, ocurrió en la muestra impresa con capas de grosor de 0,40 mm. El principal factor que explica esa no linealidad del comportamiento mecánico de ABS, quizá esté directamente relacionado al proceso de fabricación de los cuerpos de prueba. Esta no linealidad ocurre porque la impresora de deposición ejecuta capas con orientación no regularmente al largo de cada capa de espesura, lo que hace con que se altere la densidad de cada una de las capas. Con una espesura de 0,25 mm de material se obtuvo una mejor organización de las capas de manera que su orientación se propende a mejorar las propiedades mecánicas [12].

La Figura 5 enseña el comportamiento de alargamiento de las muestras. Analizando el alargamiento se percibe que es prácticamente igual considerando los desvíos patrones de las muestras, con 0,20 mm hay una tendencia para menor extensión. Esto ocurre por el alargamiento ser una propiedad del material y no variar con la disposición de las capas.

**Ensayo de dureza.** La Figura 5 presenta los resultados de ensayos de dureza de los cuerpos de prueba impresos en diferentes capas de espesuras. Se percibe que no hubo mayores valores de

divergencias con el cambio de la espesura de la capa de los cuerpos de prueba. Esto pasa porque la dureza es una propiedad exclusiva del material, y no depende de la forma cómo se lo organiza.

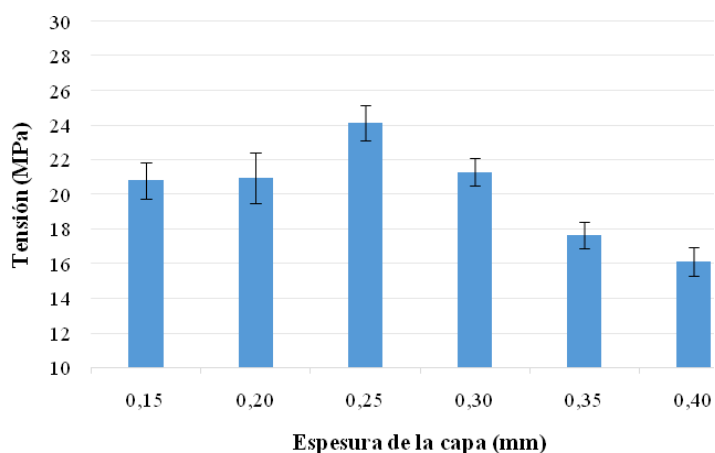


Figura 4. Comparación de fuerza máxima media.

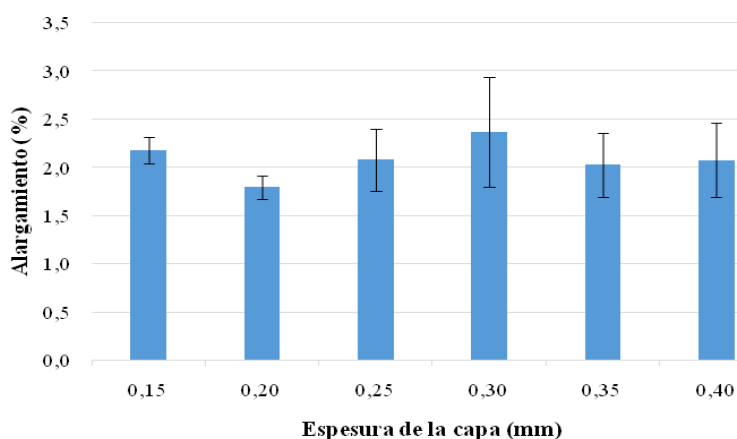


Figura 5. Alargamiento de las capas de espesura.

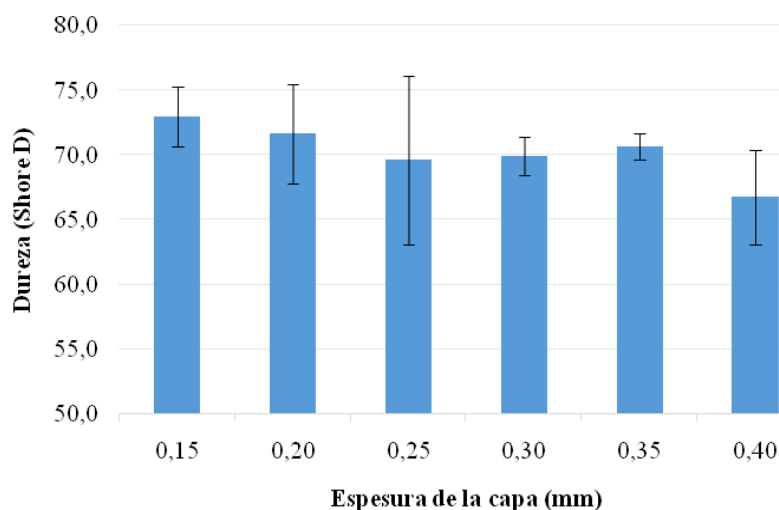


Figura 6. Dureza (Shore D).

## CONCLUSIONES

Las muestras que obtuvieron una menor resistencia fueron impresas con la deposición de capas igual a 0,40 mm.

La organización de la deposición de la capa de polímero no mantuvo un orden preciso durante el proceso de impresión.

Entre las resoluciones analizadas, la muestra producida en impresora 3D con ABS tiene mejor resistencia a la tracción, cuando está hecha con capas de grosor de 0,25 mm.

La no linealidad entre la fuerza con la disminución del grosor de la capa de impresión y la orientación ocurre porque las capas depositadas son distintas para cada una de los grosores.

**Agradecimientos.** Al Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo por su apoyo y por su estructura física.

## REFERENCIAS

- [1] DIAS FWR "Comportamento mecânico do polímero PTFE sujeito a diferentes taxas de deformação". 1, 2011
- [2] GERSHENFELD NA "The Coming Revolution on Your Desktop—from Personal Computers to Personal Fabrication" 2005.
- [3] LIPSON H, KURMAN M "Fabricated: The New World of 3D Printing", 2013.
- [4] Koten J "Advanced Manufacturing: The New Industrial Revolution—WSJ". *The Wall Street Journal* 2013
- [5] ASTM "Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies", 2012
- [6] Berman B "3D printing: The new industrial revolution", *Business Horizons*, 55(2), 155 (2012)
- [7] GIBSON I, ROSEN D, STUCKER B "Additive Manufacturing Technologies". Springer New York, 2015
- [8] PETROVIC V, GONZALEZ JVH, FERRANDO OJ "Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies", *International J. Production Research*, 2010
- [9] TYMRAK BM, KREIGER M, PEARCE JM "Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions", *Materials & Design*, **58**, 242 (2014)
- [10] ASTM D638-02. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- [11] ASTM D2240-00. Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness.
- [12] ZIEMIAN S, OKWARA M, ZIEMIAN CW "Tensile and fatigue behavior of layered acrylonitrile butadiene styrene", *Rapid Prototyping J.*, **21(3)**, 270 (2015)