

# Caracterización de resinas fotopoliméricas curadas con radiación U.V aplicadas a la manufactura aditiva

## Characterization of photopolymer resins cured with U.V. radiation applied to the additive manufacturing

Marcos Andrés Caballero Torres<sup>1</sup>, Oscar Javier Mora Gil<sup>2</sup>, Irma Angarita Moncaleano<sup>3</sup>, Ernesto Córdoba Nieto<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. macaballerot@unal.edu.co

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. ojmorag@unal.edu.co

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. iangaritam@unal.edu.co

<sup>4</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. ecordoban@unal.edu.co

Fecha de recepción: 31/03/2016 Fecha de aceptación del artículo: 02/12/2016

### Resumen

El uso de la manufactura aditiva ha aumentado alrededor del mundo a pesar de que el conocimiento del comportamiento de las piezas realizada por este método suele ser limitado. Es necesario establecer la confiabilidad de las piezas obtenidas por medio de la manufactura aditiva, tanto respecto al proceso como a los materiales. Para caracterizar el proceso de impresión 3D Polyjet se realizaron ensayos de tensión (ASTM D638) en 3 orientaciones (Longitudinal, 45°, Transversal) y se realizó exposición en una cámara de envejecimiento UV. Las probetas sin exponer obtuvieron resistencia a la tensión promedio de 52Mpa (Transversal), 53Mpa(45°), y 55Mpa (Longitudinal). Cuando se realizó exposición UV los valores de resistencia mecánica aumentaron obteniendo 60Mpa para Longitudinal, 59.5Mpa para transversal y 57MPa para 45°. La mejora en las propiedades mecánicas puede ser explicada por fenómenos de reticulación de cadenas poliméricas que disminuyó la anisotropía.

### Palabras clave

Manufactura aditiva, anisotropía

### Abstract

The use of the additive manufacturing is increasing around the world despite of the lack of knowledge regarding the behavior of the elements made up in

such process. It is necessary to establish the reliability of the parts obtained by the additive manufacturing, both by the effect of the materials such as for the process itself. To characterize the PolyJet 3D printing process we made tensile strength test to 3 different orientations (Longitudinal, transversal and 45°). We also exposed the specimens to an UV aging chamber. The specimens unexposed obtained averaged tensile strength of 52Mpa (Transversal), 53Mpa(45°), 55Mpa (Transversal). When we exposed the specimens to the UV radiation the tensile stress values increase to 56MPa(Longitudinal), 59Mpa (Transversal) and 57Mpa(45°). This improvement in the mechanical properties can be explained by the phenomena of crosslinking of polymeric chains that diminish the anisotropy.

### Keywords

Additive manufacturing, anisotropy

### 1. Introducción

La manufactura aditiva desde su creación hasta ahora ha escalado posiciones de importancia dentro de los demás procesos de ingeniería, es necesario entonces entender los alcances que pueden tener sus productos para así cerrar la brecha entre las grandes industrias y las pequeñas fábricas.

Dentro de las muchas vertientes de la manufactura aditiva, se encuentra el fotocurado de resinas por radiación U.V conocido como estereolitografía. La

gran variedad de procesos por los cuales se puede realizar manufactura aditiva en la actualidad abre un espacio para el mejoramiento progresivo de modelos funcionales despertando el interés de sectores industriales que ven en este tipo de tecnología una forma de obtener productos especializados de gran calidad superficial y buenas propiedades mecánicas.

Los modelos fabricados con la técnica de fotopolimerización o estereolitografía, son formados mediante la impresión de capas superpuestas curadas o solidificadas mediante radiación ultravioleta. Unas buenas propiedades mecánicas dependerán en gran medida a un correcto curado entre capas.

Por otra parte, la exposición prolongada a este tipo de radiación produce cambios en las propiedades de algunos materiales, por lo cual su estudio y análisis en productos fabricados por fotopolimerización para la industria resulta relevante para el trabajo.

La disposición de impresión del modelo en la bandeja es un parámetro que se pretende estudiar ya que la anisotropía en materiales utilizados en manufactura aditiva se ha estudiado en técnicas como FDM (Fused Deposition Modeling) [1], por lo que es importante conocer cómo se comportan los materiales usados en la tecnología Polyjet luego de ser impresos.

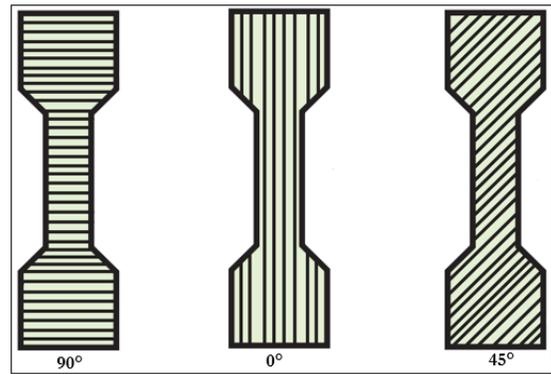
Se busca caracterizar el proceso de diseño para poder dar condiciones fiables para una construcción óptima de modelos según su uso final.

## 2. Metodología

La variación en las propiedades mecánicas del material constituye un parámetro en el diseño de componentes. Es necesario conocer las propiedades mecánicas de un material y el cambio según su orientación para realizar un diseño eficiente, esto con el fin de establecer la confiabilidad de lo diseñado frente a distintos ambientes. De acuerdo con esto se pretende caracterizar apropiadamente los materiales obtenidos por medio del proceso de Polyjet a través de distintas pruebas. El material con el que se trabaja es una mezcla de monómeros y oligómeros de acrilato en una resina fotocurable. El proceso de polimerización, de este material se da por adición entre monómeros y reticulación de oligómeros.

Se realizaron pruebas de tensión a probetas tipo IV según la norma ASTM D638. El ensayo se realizó con la máquina (Shimadzu AG-IS) a una velocidad de aplicación de carga de 5 [mm/min] con una precarga de 5 [N]. De las pruebas de tensión se pretendía obtener valores de resistencia mecánica y deformación máxima

Se añadió como parámetro adicional al experimento una variación en la orientación en el sentido de construcción de las muestras, esto corresponde a un cambio en el ángulo respecto al sentido de aplicación de la carga. Se tomaron las orientaciones de 0°, 45° y 90° [2], (Longitudinal, 45° y transversal respectivamente) mostradas en la Figura 1. Con estas orientaciones se quería medir si existía anisotropía en el material [1].



**Figura 1.** Orientaciones empleadas: transversal (90°), longitudinal (0°) y 45°

Se aplicó una condición de radiación UV controlada a las muestras con base a la norma ASTM D5208 empleando el ciclo C por un tiempo máximo de 96 horas. El ciclo C no incluye el factor de condensación ya que este parámetro podría influenciar los datos obtenidos agregando una variable adicional al experimento. Esta prueba se realizó en una máquina ATLAS UVTest<sup>TM</sup> Fluorescent/UV Instrument, sobre probetas con lámparas UVA-340, parámetros de irradiación de 0.89 (W/m<sup>2</sup>) y temperatura de 50°C.

Los intervalos se definieron a partir de pruebas anteriores realizadas al material donde se observó un cambio en las propiedades. Estos intervalos fueron de 48, 72 y 96 horas tomando 5 muestras por cada condición de exposición a la radiación UV, incluyendo

además 5 probetas por orientación sin exposición [3].

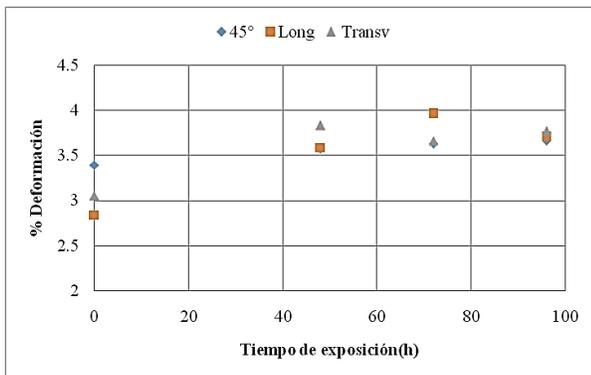
### 3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos de las pruebas de tensión mostraron cambios en los valores de resistencia mecánica respectivos a cada orientación. La Tabla 1 muestra los resultados de las pruebas sin exposición, la orientación longitudinal obtuvo el mayor valor de resistencia mecánica más no el mayor en deformación.

**Tabla 1.** Resistencia mecánica y deformación en probetas sin exposición UV

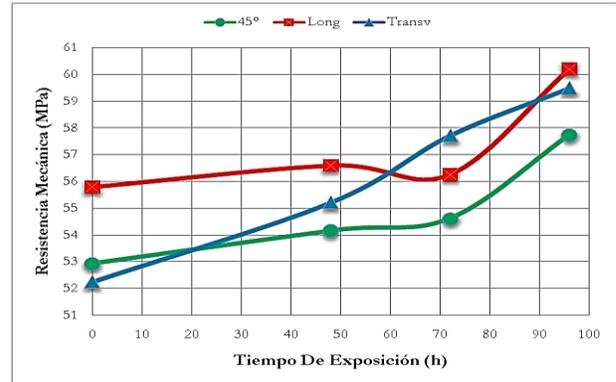
Orientación	Especímenes Probados	Resistencia Mecánica (MPa)	Deformación (%)
Longitudinal	5	55.9	2.83
Transversal	5	52.2	3.05
45°	5	52.9	3.39

Las probetas expuestas a radiación UV presentaron cambios significativos en los valores de resistencia mecánica respecto a las muestras no irradiadas a medida que incrementaba el tiempo de exposición en la cámara U.V. En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos. Los valores más altos se dieron en diferentes de tiempos exposición. La orientación longitudinal obtuvo el máximo valor de resistencia mecánica aproximadamente de 60 MPa a 96 horas de exposición. Los menores valores se obtuvieron de la orientación de construcción a 45° que presentó un valor aproximado de 54 MPa en 48 horas de exposición.



**Figura 2.** Resistencia mecánica vs tiempo de exposición para distintas orientaciones

forma más estable para todas las orientaciones y horas de exposición como se puede observar en la Figura 3, la mayor deformación obtenida se dio en la probeta longitudinal en 72 h de exposición con 4% de deformación aproximadamente. A una exposición de 96 horas los valores obtenidos de deformación se homogenizaron en un valor cercano a 3.7%.



**Figura 3.** Deformación vs tiempo de exposición para distintas orientaciones.

El prototipo se entrega con ciertas condiciones y propiedades mecánicas que luego de realizar las pruebas UV se observa que las propiedades de resistencia mecánica del material son mejores a las muestras de referencia. Al iniciar los ensayos se esperaba que al degradar las muestras se perdieran propiedades de resistencia en el material.

Las orientaciones son un parámetro de gran importancia a la hora de construir un modelo por medio de la tecnología de manufactura aditiva, luego de realizar una comparación de los resultados para las diferentes orientaciones se hizo evidente una variabilidad en los valores de resistencia mecánica para la misma condición de exposición, la diferencia es significativa en las muestras de referencia, en las cuales la orientación longitudinal presentó una respuesta mejor ante la carga aplicada que las demás orientaciones. En el estudio realizado por [4] se observó la presencia de anisotropía en modelos fabricados usando la tecnología de FDM tomando como parámetro la orientación de impresión, los valores analizados indican que esta condición es común a los dos procesos.

Las condiciones de deformación se comportaron de

## Conclusiones

La realización de las pruebas con exposición UV pretendía en primera medida determinar el tiempo de degradación que tenían los especímenes para poder dar las condiciones de confiabilidad necesarias para los usuarios finales que buscan una alternativa en esta técnica de manufactura aditiva, en este proceso se observó un aumento en la resistencia mecánica. En base a los resultados obtenidos se puede inferir que se dio un aumento en la formación de enlaces entre cadenas (transversales). Este fenómeno conocido como reticulación explicaría el incremento en la resistencia mecánica después de las condiciones de exposición UV.

Los valores de deformación obtenidos presentan una tendencia a converger relacionada con el aumento de las horas de exposición, esta condición puede ser descrita al igual que la variación de resistencia mecánica del material por la acción de la reticulación, que tiende a homogenizar la red de cadenas poliméricas disminuyendo su anisotropía [5].

Comparando los resultados de las probetas irradiadas con las probetas sin irradiar queda abierto a discusión ampliar el tiempo de exposición a radiación del material para encontrar el punto óptimo de las propiedades mecánicas. Las probetas sin irradiar presentan una condición de homogeneidad dimensional dada por el curado en su proceso de construcción, sin embargo, sus propiedades mecánicas mejoraron con la exposición UV prolongada, pruebas de análisis químico (DSC, IR, TGA) podrían sugerir si esta condición se debe a un cambio en la polimerización del material.

## Referencias

1. Ahn SH, M. M. *Rapid Prototyping Journal*, 8(4):248-57, 2002.
2. Es-Said O.S. Effect of Layer Orientation on Mechanical Properties of Rapid Prototyped Samples. *Materials and Manufacturing Processes*.2000.
3. Yang, Xiao. Effect of UV irradiation on

mechanical properties and structure of poly (1, 3,4-oxadiazole) fibers. 2010.

4. Tymrak, B. M Mechanical properties of components fabricated with open-source 3D-printers under realistic environmental conditions.
5. Shaffer, Steven. On reducing anisotropy in 3D Printed Polymers Via Ionizing Radiation. 2014.