



HAL
open science

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EXTRUSORA DE POLÍMERO UTILIZADA EN UNA IMPRESORA 3D FDM

Jersson Xavier Leon-Medina, Edgar A Torres-Barahona, Edwin Torres-Diaz

► **To cite this version:**

Jersson Xavier Leon-Medina, Edgar A Torres-Barahona, Edwin Torres-Diaz. DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EXTRUSORA DE POLÍMERO UTILIZADA EN UNA IMPRESORA 3D FDM. II Congreso Internacional de Ingeniería Mecatronica y automatización, Oct 2013, Bogotá, Colombia. hal-01715692

HAL Id: hal-01715692

<https://hal.science/hal-01715692v1>

Submitted on 22 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA EXTRUSORA DE POLÍMERO UTILIZADA EN UNA IMPRESORA 3D FDM

Edgar A. Torres, Jersson X. León, Edwin Torres

Escuela de Ingeniería Electromecánica, Grupo de Energías y Nuevas Tecnologías-GENTE
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Duitama, Colombia

edgar.torres@uptc.edu.co
jersson.leon@uptc.edu.co
edwinetd@hotmail.com

Resumen— La tecnología de prototipado rápido FDM fabrica una pieza diseñada en el ordenador a escala real, por medio del uso de tecnologías como la extrusión de plástico por capas y el posicionamiento de una herramienta en tres dimensiones. La metodología planteada explica el proceso de diseño y construcción de una herramienta extrusora de polímero, teniendo en cuenta las variables necesarias para la óptima respuesta de una impresora 3D en lo concerniente al tiempo de impresión, acabado superficial y resistencia mecánica de la pieza impresa. En el proceso de impresión 3D FDM, es necesario que un cordón de material se deposite con una sección transversal de diámetro constante para determinar un espesor de capa uniforme. Esto se logra teniendo en cuenta tres factores: velocidad de inyección de polímero, presión ejercida para la extrusión y velocidad de desplazamiento de la herramienta. El proyecto aplica criterios de diseño experimental para orientar la selección de los parámetros experimentales de la herramienta extrusora. El extrusor se diseña teniendo en cuenta las propiedades de un polímero termoplástico Acronitrilo Butadieno Estireno ABS-P400, para fundirlo y depositarlo capa sobre capa en la impresión 3D. El prototipo construido ha permitido evaluar el cumplimiento de las especificaciones de diseño además de identificar algunos parámetros nuevos intervinientes en la impresión final como: tiempo de estabilización de temperatura óptima para extrusión, pérdidas por transferencia de calor y comportamiento de respuesta de flujo de material en la herramienta de extrusión.

Palabras Claves: Extrusión de polímero, Impresión 3D, FDM, ABS, FEM.

I. INTRODUCCIÓN

En la tecnología de extrusión de polímeros [1], el material contenido en un depósito es forzado a salir a través de una boquilla cuando es fundido y se le aplica presión. Si la presión permanece constante, el material extruido como cordón fluye a una velocidad uniforme, manteniendo una sección transversal de diámetro, que se mantendrá uniforme si el desplazamiento de la boquilla se mantiene a una velocidad constante sobre una superficie donde se deposita el material.

El material que está siendo extruido debe estar en un estado fluido cuando sale de la boquilla, para solidificar

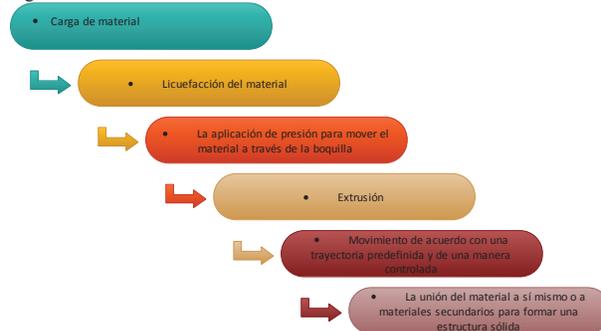
completamente después de la extrusión, y a través de la apilación de cordones formar capas de material para finalmente construir la geometría de una pieza diseñada en software CAD.

Hay dos enfoques principales cuando se utiliza un proceso de extrusión. El método que más se emplea es el uso de temperatura como una forma de controlar el estado del material. El material fundido se licua dentro de un depósito de modo que pueda fluir a través la boquilla y a través del enlace con el material adyacente antes de solidificarse. Un enfoque alternativo es utilizar un cambio químico para causar la solidificación. En tal caso, un agente de curado, residual disolvente de reacción, con aire, o simplemente secado húmedo permite que el material de unión se produzca

II. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA LA EXTRUSIÓN DE POLÍMERO

Existen una serie de características que son comunes a cualquier sistema de extrusión y son mostradas en la figura 1

Figura 1. Características de un sistema de extrusión.



III. MATERIAL FUNDENTE UTILIZADO EN LAS PIEZAS FABRICADAS

Existen diferentes materiales que pueden ser utilizados para la impresión 3D, en este caso se ha elegido el Acronitrilo

Butadieno Estireno-ABS P400 expendido por la empresa makerbot industries [2], [3] teniendo en cuenta sus propiedades físicas y térmicas, destacando su resistencia al impacto, la capacidad de unión entre filamentos entre otras. La transferencia de calor del proceso de calentamiento es función de las propiedades térmicas del extrusor, la boquilla y materiales de modelado, así como el diámetro del filamento y la velocidad de flujo volumétrico. La temperatura de fundición para el ABS P400 suele ser de 230°C, y la temperatura ambiente sobre 70°C para conservar una atmosfera térmica apropiada y un correcto proceso de enfriamiento.

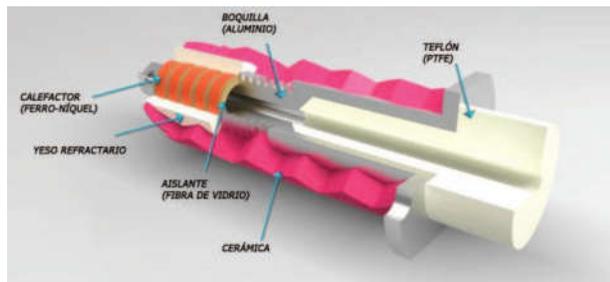
A. PROPIEDADES DEL MATERIAL ABS P400

El modelado de la transferencia de calor se basa en las propiedades térmicas del ABS P400. La conductividad térmica y calor específico de la ABS P400 como función de la temperatura están reportados en [4]. Cuando la temperatura varía de 50 a 250 °C, el coeficiente de conductividad térmica k oscila entre 0,15 y 0,19 W/m·°C, y C el calor específico C_p de 1400 a 2400 J/kg ·°C. La densidad (ρ) propia del material ha sido proporcionada por Stratasys Inc.® [5] como 1050 kg/m³. En [4] el límite superior del coeficiente de convección h fue obtenido suponiendo que la temperatura del filamento extruido se mantuvo constante y fue de aproximadamente 100 W/m² ·°C. Además de las propiedades térmicas, en el ABS P400 la viscosidad del polímero (μ) y la tensión superficial (T) son importantes en la predicción de la evolución del crecimiento del cuello entre filamentos adyacentes o proceso de “bonding”.

IV. DISEÑO MECÁNICO DE LA HERRAMIENTA EXTRUSORA

El diseño del extrusor se hace teniendo en cuenta criterios de baja inercia, buena conductividad y aislamiento térmico, para esto se analizan materiales y geometrías, optando por la configuración mostrada en la Figura 2:

Figura 2. Configuración de la herramienta extrusora



A. Diseño térmico.

Se utiliza una fuente térmica de 40 W constituida por un alambre desnudo de ferroniquel enrollado sobre un tubo de aluminio y protegido por cinta especial de fibra de vidrio que soporta alrededor de 300°C esto para aislamiento eléctrico; además, se implementa un aislamiento térmico de yeso refractario que recubre dicho alambre, finalmente se encapsula

el extrusor dentro de una tobera tic especial para soportar temperatura a base de alúmina que igualmente aísla y protege el conjunto. El espesor del aislamiento se hace teniendo en cuenta la ecuación de Newton de transferencia de calor, y asumiendo, por criterios de diseño, unas pérdidas no mayores del 10% de la potencia entregada por la fuente térmica se tiene:

$$\dot{Q} = \frac{-KA\Delta T}{e} \quad (1)$$

Dónde:

K = Coeficiente de conductividad térmica

A = Área de recubrimiento del aislante

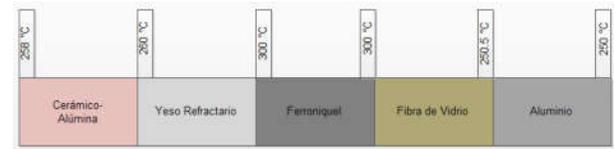
ΔT = Diferencia de temperatura ambiente y de fusión

e = espesor del aislamiento

\dot{Q} = Velocidad de transferencia de calor

En la figura 3 se muestran las temperaturas deseadas entre cada material de la herramienta extrusora:

Figura 3. Temperaturas esperadas en las fronteras de cada material del extrusor



De acuerdo a la ecuación 1 los diferentes espesores mínimos para cumplir las condiciones de temperatura se encuentran en la tabla 1 :

Tabla 1. Espesores de material utilizados en el extrusor

| | |
|--------------------------------|--------|
| Espesor de la cerámica alúmina | 1.57mm |
| Espesor del yeso refractario | 1.04mm |
| Espesor de la fibra de vidrio | 0.04mm |
| Espesor del Aluminio | 14.4mm |

B. Cálculo de tiempo de puesta en marcha del extrusor.

Assumiendo unas pérdidas del orden del 10% en el calor entregado, se obtiene un flujo de calor de 36 W hacia los componentes del sistema extrusor, con lo cual se realizan los cálculos para determinar el tiempo necesario para que el polímero esté en condiciones de uso.

La energía necesaria para llevar el dissipador a la temperatura deseada, $T_d=250^\circ\text{C}$, asumiendo una temperatura del medio ambiente de $T_a=20^\circ\text{C}$ y utilizando la ecuación 2 se tiene:

$$Q = mc_p\Delta T = mc_p(T_d - T_a) = 7910 \text{ J} \quad (2)$$

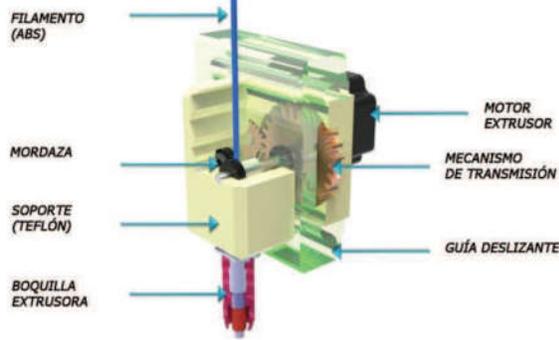
Teniendo en cuenta que la energía suministrada por el dissipador $\dot{Q} = 36\text{w}$, el tiempo requerido para poner a punto el extrusor está dado por

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}} = \frac{7910 \text{ J}}{36 \text{ w}} = 219.72 \text{ s} = 3.66 \text{ min} \quad (3)$$

C. Mecanismo de extrusión de material

El mecanismo de extrusión ilustrado en la figura 3 está compuesto por el motor del extrusor con un piñón acoplado al eje conductor y una rueda dentada acoplada a un eje soportado por dos rodamientos y que a la vez conduce una pequeña rueda dentada que entra en contacto con el filamento de material, permitiendo así el suministro del material al calefactor.

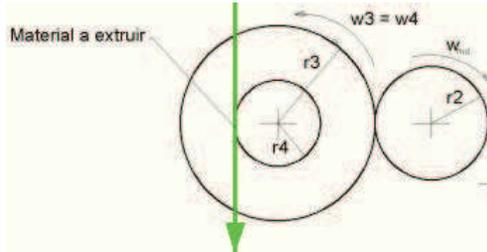
Figura 3. Conjunto mecanismo de extrusión



D. Longitud de avance de material por paso del motor

La Figura 4 muestra el sistema mecánico de dosificación del ABS. La rueda dentada con radio r_2 está montada sobre el eje del motor, y las ruedas 3 y 4 permiten la reducción de velocidad y la dosificación del material a la cámara de fundición del extrusor.

Figura 4 ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.. Sistema mecánico de dosificación del ABS.



Para esta condición se tiene una dosificación del material por paso del motor relacionado por:

$$r_3 = 2r_2 \quad (4)$$

Teniendo en cuenta la relación de transmisión en el mecanismo el avance perimetral del material es:

$$\Delta l_4 = \frac{2}{200} l_2 \frac{r_4}{r_3} = \frac{1}{100} l_2 \frac{r_4}{r_3} = 0.1256 \text{ mm} \quad (5)$$

Velocidad de deposición por velocidad angular del motor del extrusor

$$V_p = \omega_2 r_2 = \omega_3 r_3 \quad (6)$$

$$V_q = \omega_3 r_4 \quad (7)$$

$$V_q = \frac{r_2 r_4}{r_3} \omega_2 = v_e \quad (8)$$

La velocidad de deposición se establece de acuerdo a la relación con la velocidad de los ejes X e Y, en donde esta debe ser un poco mayor debido al efecto de transferencia de calor y al tener que darle reversa al extrusor en una impresión cuando se necesita dejar de depositar material por ejemplo en un cambio de capa. Así pues, dicha velocidad V_d se estima en 45mm/s y con la ecuación 8 se determina la velocidad angular necesaria por parte del motor del extrusor:

$$\omega_2 = \frac{V_d \pi}{\Delta l_d * 50} = \frac{45 \text{ mm/s} * \pi}{4.523 \text{ mm} * 50} = 0.625 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 5.969 \text{ rev/min}$$

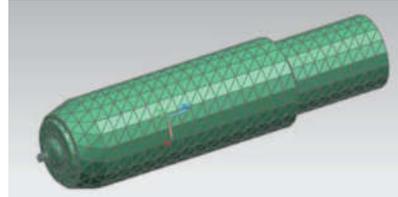
Y con la ecuación 8 se calcula la velocidad lineal de entrada de material a la cámara fundente:

$$v_e = \frac{r_2 r_4}{r_3} \omega_2 = \frac{13 * 4}{26} * \frac{0.625 \text{ rad}}{\text{s}} = 1.25 \text{ mm/s}$$

V. SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE EXTRUSIÓN A PARTIR DEL USO DE UN SOFTWARE CAE.

El software Siemens PLM NX 7.5 fue elegido para realizar la simulación del comportamiento de flujo de material a través del uso de elementos finitos en un análisis numérico 3D.. En la figura 5 se ilustra el modelo CAD realizado y su mallado.

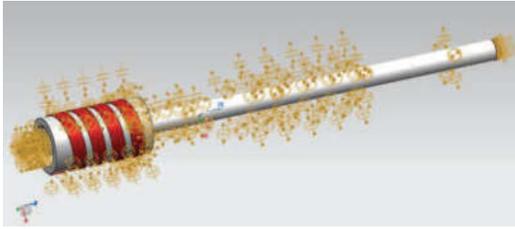
Figura 5. Modelo CAD mallado del extrusor.



Con el apoyo de una serie de suposiciones dadas en [6] para modelar el proceso FDM, se determinan las condiciones de frontera establecidas en el software de simulación NX 7.5 entre ellas se encuentran: Flujo de estado estable, movimiento lento de flujo, flujo laminar, velocidad del fluido en las paredes como 0, fluido incompresible, efecto de la gravedad despreciable y no hay fuerzas externas.

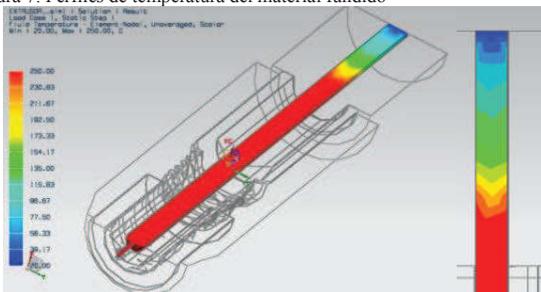
En concreto se establecen cinco objetos de simulación y una carga térmica de 36 W que refleja el efecto del calefactor, tales objetos refieren dos condiciones de frontera de flujo en donde se especifica una velocidad de entrada de 4mm/s, una temperatura ambiente de 20°C, la dirección de entrada y salida de material entre otras. Finalmente, 8 uniones térmicas indican el contacto existente entre el calefactor y las partes del extrusor, en la figura 6 aparecen reunidas dichas condiciones de frontera.

Figura 6. Condiciones de frontera aplicadas al extrusor en la simulación.



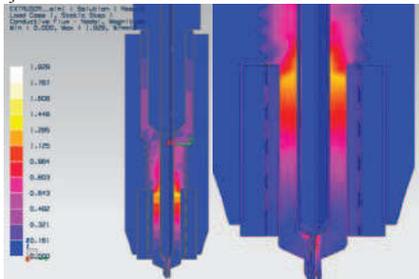
La distribución de temperatura por el canal de flujo derretido se muestra en la figura 7. El Filamento sólido de ABS P400 con temperatura ambiente de 20°C entra en el extrusor y durante un tiempo de estancia corto, y debido a la buena conductividad térmica de la pared de aluminio, el filamento compuesto se calienta por encima de su temperatura de transición vítrea asegurando un avance de material completamente fundido a 250 °C hasta la boquilla. EL análisis confirma que ese filamento estará bien fundido antes de llegar a la punta de la boquilla y así asegurar un flujo uniforme durante la deposición.

Figura 7. Perfiles de temperatura del material fundido



En la figura 8 se aprecia la existencia de una correcta transferencia de calor desde la resistencia eléctrica calefactora de la herramienta extrusora, hacia el material a fundir, el cual cuando entra en contacto con aluminio a la adecuada temperatura fluye con la viscosidad deseada. Las pérdidas de flujo de calor se minimizan a través de la configuración de los diversos materiales que integran el calefactor, siendo el aluminio el mayor conductor.

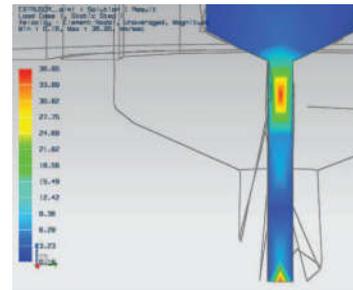
Figura 8. Flujo de Calor a través de la herramienta extrusora



En la figura 9 se presentan los resultados del análisis de velocidad. Se observa que una velocidad de entrada del filamento de 1.25 mm/s se mantiene a lo largo del tubo hasta que llega a la punta de la boquilla, donde una vez más, como resultado del cambio en el diámetro del canal, se muestran los

vectores de campo arrojando una velocidad máxima de 36.95 mm/s.

Figura 9. Perfil de velocidad de salida del material fundido



VI. CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó una herramienta extrusora de polímero utilizada en una impresora 3d fdm, con una precisión que se ajusta a los criterios de diseño definidos en cuanto a posicionamiento tridimensional y extrusión de material, para la impresión 3D modelado por deposición fundida.

La estrategia definida para el control del sistema de extrusión, se ajusta a un control PID estableciendo una base para el desarrollo posterior de una estrategia de control avanzada, que contemple tanto el posicionamiento como la velocidad de avance por ejes y del sistema de inyección.

Finalmente, el diseño del prototipo y su implementación se convierte en un punto de partida para la construcción de un equipo de aplicación industrial que considere mejoras tanto del sistema mecánico como del sistema de control.

REFERENCIAS

- [1] Gibson, I., D.W. Rosen, and B. Stucker, Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. 2010: Springer.
- [2] The Replicator™2 Desktop 3D Printer. [Online] <https://store.makerbot.com/replicator2.html>. 2012.
- [3] AHN, Sung-Hoon. et al. Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. Rapid Prototyping Journal. Emerald, 2002, Vol. 8. No 4. ISSN 1355-2546.
- [4] C. Bellehumeur, L. Li, Q. Sun, and P. Gu, Modeling of Bond Formation Between Filaments in the Fused Deposition Modeling Process, Journal of Manufacturing Processes, Vol. 6 (2004), p 170-178.
- [5] Stratasys Inc.©. Material Safety Data Sheet. P400 ABS Model.[Online]http://www.redeyondemand.com/MSDS/msds/ModMat_P400ABS_0904.pdf. 2012.
- [6] ROXAS, Mark y JU, Stephen. Fluid Dynamics Analysis of Desktop-based Fused Deposition Modeling Rapid Prototyping, in a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor Of Applied Science. 2008, University of Toronto: Department of Mechanical and Industrial Engineering.