



Vigilada Mineducación

MAQUINAS Y RESINAS DE BAJO COSTO APLICADOS AL DESARROLLO DE PIEZAS PLASTICAS EN
LA FASE DE VALIDACION POR MANUFACTURA ADITIVA EN MOLDES DE INYECCIÓN

LOW-COST MACHINES AND RESINS APPLIED TO THE DEVELOPMENT OF PLASTIC PARTS IN THE
VALIDATION PHASE BY ADDITIVE MANUFACTURING IN INJECTION MOLDS

JUAN CAMILO LOAIZA VELASQUEZ

Articulo

Asesor

CARLOS MARIO ECHEVERRY CARTAGENA

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA

MAQUINAS Y RESINAS DE BAJO COSTO APLICADOS AL DESARROLLO DE PIEZAS PLASTICAS EN LA FASE DE VALIDACION POR MANUFACTURA ADITIVA EN MOLDES DE INYECCIÓN

Juan Camilo Loaiza Velasquez

Resumen

Los moldes de inyección de plástico son proyectados en la mayoría de los escenarios para altas producciones, con altos costos y tiempos de fabricación en los cuales requieren procesos de validación y verificación para obtener un producto. En la actualidad las aplicaciones de Manufactura Aditiva (AM) - impresión 3D de modelos digitales- no ofrecen de forma 100% asertiva el objeto final deseado, pero son estas mismas tecnologías las que aplicadas con otras estrategias nos permiten posibilidades para experimentar en el proceso de desarrollo de productos plásticos de cara a una mayor complejidad y competitividad. Para esto se fabricaron insertos en AM (SLA) y se usó un molde de cambio rápido, donde se obtuvo el producto final con el material, la forma y funcionalidad en tiempos y costos reducidos frente al proceso convencional, con oportunidades de afinar los procedimientos aplicados; integración entre AM y CM (Manufactura convencional) para obtener unos insertos con mayor precisión y mejor resultado de cara a usarlo en un proceso en ámbitos industriales.

Palabras clave: Manufactura Aditiva; Ágil; Fabricación Molde; Prototipado Rápido; Herramienta Rápida; Costo; Desarrollo de producto; Optimización; Productos plásticos.

Abstract

Plastic injection molds are projected in most scenarios for high production with highest costs and times which require a validation and verification process to obtain a product. Currently the applications of Additive Manufacturing (AM) - 3D printing of digital models- do not offer the desired final object in a 100% assertive way, but it is these same technologies that, applied with other strategies, allow us possibilities to experiment in the development of plastic products in the face of greater complexity and competitiveness. For this, inserts were manufactured in AM (SLA) and a quick-change mold was used, where the final product with the material, shape and functionality was obtained in reduced times and costs compared to the conventional process, with opportunities to fine-tune the applied procedures; integration between AM and CM (Conventional Manufacturing) to obtain inserts with greater precision and better results to use them in a process in industrial fields.

Keywords: Additive manufacturing; Agile; Mold fabrication; Rapid Prototyping; Rapid tooling; Cost; Product Development; Optimization; Plastic products.

1. Introducción

El moldeo por inyección es el proceso seleccionado para la fabricación de piezas plásticas en un ámbito industrial normalmente a gran escala con el uso de diferentes polímeros. Se parte de un material fundido al cual se le aplica una fuerza para introducirlo dentro de un molde convencionalmente metálico donde con el tiempo el material se solidifica

conformando la pieza. Con este proceso se pueden obtener piezas plásticas de alta calidad y formas tridimensional complejas las cuales usan moldes de inyección de altas características con altos costos y tiempos de fabricación. Típicamente, para este proceso se generan fases de validación e implementación donde se fabrican moldes o modelos prototipos para evaluar y ajustar la pieza requerida, incrementando los tiempos y los costos en el proceso de desarrollo de este tipo de componentes. Se ha utilizado la AM o impresión 3d como alternativa para realizar en testeo rápido de cara a la validación del producto en las fases de diseño [1][2][3][4] pero donde el resultado final posee limitaciones estéticas, funcionales o mecánicas frente al componente con el material polimérico definido [5]. Diferentes compañías, investigaciones y autores vienen aplicando la AM [6][7] como propuesta para obtener artículos o componentes plásticos en combinación con moldes de acero con la posibilidad de reducción de costos y tiempos [8][9].

Con la evolución de las tecnologías de AM, la amplia disponibilidad de procesos como FFF/FDM o SLA, maquinarias y materiales con altas tolerancias y prestaciones mecánicas/térmicas los investigadores han venido comparando en diferentes trabajos la aplicación en moldes de inyección y fabricación de productos plásticos. Benítez [10] recopila muchos de estos trabajos donde se obtienen muy buenos resultados frente la aplicación, disminución de costo y algunas de las limitaciones de estas maquinarias, materiales y procesos que sin embargo son difíciles de adquirir e implementar en compañías o departamentos de desarrollo y donde el crecimiento comercial de impresoras 3D (MSLA – LCD) y materiales de bajo costo, mucho más asequibles permiten plantearse escenarios como ¿serán estos materiales viables en la fabricación de insertos para el uso con moldes base (holders) , de forma que permitan pequeñas unidades a un costo menor y tiempo de fabricación de cara a la validación de un componente frente a los procesos o propuestas actuales? [11][12][13]

2. Materiales y Equipos

El polipropileno grado comercial de la empresa Esenttia bajo la referencia Polipropileno 60H92 [14] se describe como homopolímero con alto índice de fluidez, ideal para lograr bajas presiones y velocidades de inyección. Los insertos utilizados en este estudio fueron fabricados en resinas foto poliméricas de alta resistencia a la temperatura (HDT), TR300 Ultra High Temperature (Inserto A) [15], Hightemp DL400 (Inserto B) [16], High Temp V2 (Inserto C) [17]. Algunas propiedades mecánicas de las resinas y características de las impresoras se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades de las resinas

Propiedad	Phrozen3D Ultra Temperature	TR300 High	Photocentric Hightemp DL400	Formlabs High Temp v2
Densidad	1.17 g/cm ³		1.10 g/cm ³	1.14 g/cm ³
Viscosidad	120-200 cps		650 cps	600 cps
Dureza	80 Shore D		95 Shore D	-
Tensile Modulus:	1857 MPa		3300 MPa	2900 MPa
Izod Impact:	8Kj/m ²		3,1 Kj/m ²	17J/m
HDT	190 °C		190 °C	238 °C

Insertos idénticos fueron diseñados usando Creo Parametric 8 (PTC, Boston Massachussets), de donde se obtuvieron archivos CAD los cuales fueron exportados a un archivo STL y procesados usando los softwares propios de cada una de las impresoras 3D utilizadas. El inserto A fue fabricado en LC Magna (Photocentric), el inserto B fue fabricado usando la Mars Pro-2 (Eleggo) y el inserto C en una Form 3+(Formlabs) Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones de Impresoras 3D

Referencia	Volumen de impresion	Espesor capa	Tecnología	Onda de luz	Costo (Impresora+Centro lavado/Curado)
Photocentric LC Magna	510 x 280 x 350 mm	25/50/100 μ m	DLP Daylight	406nm	\$ 29.521*
Eleggo Mars Pro 2	129 x 80 x 160 mm		MSLA UV Photocuring	405nm	\$ 415*
Formlabs Form 3+	145 x 145 x 185 mm		SLA LFS	405nm	\$ 5.399*

*Costo en dólares de referencia según información de los proveedores (2022)

La máquina de inyección de plástico usada para este caso de estudio fue la LienYu D75 con un tornillo de 32 mm de diámetro, una capacidad de inyección 115 gr, una fuerza de cierre 75Ton y Max. Presión de inyección de 1777 bar. Figura 4(a) Un perfil de temperatura de 180-210 °C (zona alimentación a la boquilla), presión de inyección de 15 bar y velocidad 20 mm/s sin presión de sostenimiento se usaron para llenar la pieza, con 60 segundos entre el enfriamiento y la apertura del molde. Adicionalmente a estas condiciones se usó una fuerza de cierre de molde 10Ton. Estos fueron los parámetros de proceso empleados con todos los insertos. El molde base de cambio rápido usado es de referencia Meusburger FW Mold Change [18] Figura 4(b). Los insertos fueron introducidos dentro del marco metálico. Ninguno de estos insertos fue diseñado con sistema de canales de refrigeración, y se consideró la solidificación del producto dentro del ciclo inyección. Entre disparo y disparo se tenía 20 segundos de apertura antes de realizar una nueva inyección, esto con fines de disminuir la temperatura de la superficie de los insertos.

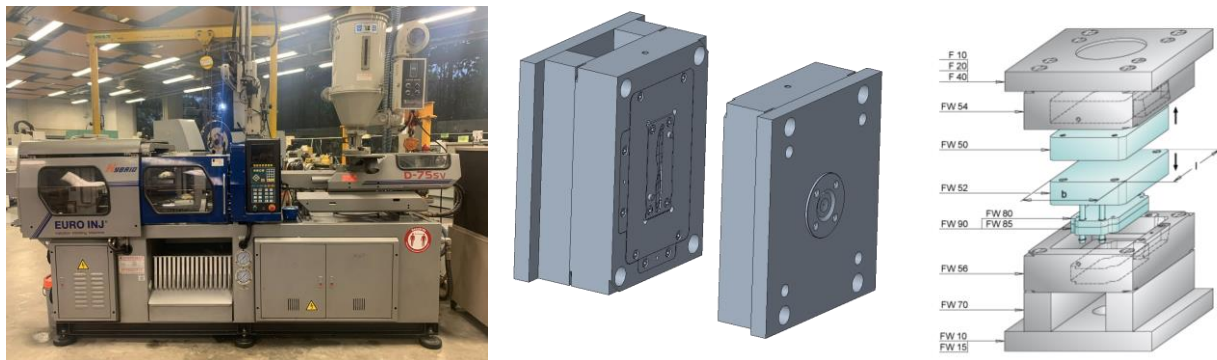


Figura 4. (a) Máquina inyectora LienYu D75 **(b)** Molde de Cambio Rápido-diagrama de explosión

3. Metodología

En proceso de desarrollo de productos plásticos se aplican diversas metodologías, normalmente divididas por etapas que permiten evaluar hitos en cada uno de los puntos críticos del desarrollo [19][20]. Una de estas se muestra en la Figura 5, de donde la aplicación de este caso de estudio se plantea en las etapas de validación y verificación para obtener un mayor valor que permita agilizar el proceso.



Figura 5. Metodología de proceso de desarrollo EPO, etapa 2 y 3 (validación y verificación - Groupseb Andean, 2022)

Como punto de referenciación y optimización de proceso Figura 6, la implementación de AM apunta a reducir los costos y tiempos fren al proceso estándar o convencional.

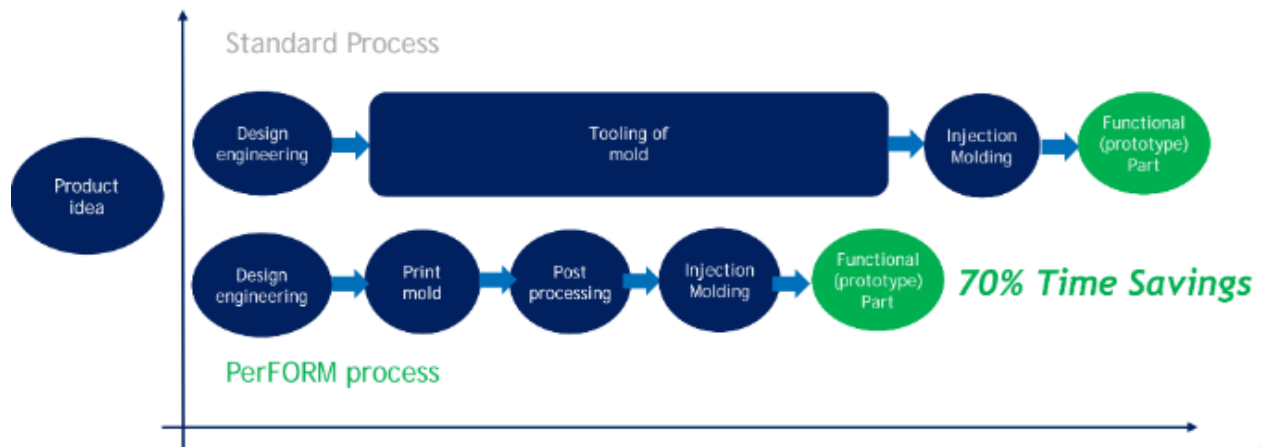


Figura 6. PerForm proceso de optimización. (Injection Molding DSM., 2019).

En este artículo se desarrolla el componente “utensilio cuchillo” Figura 7, se aplica el flujo de proceso Figura 8, se obtienen los CAD de las cavidades aplicando las recomendaciones [21][22] para el diseño de piezas con la tecnología de AM, como los puntos críticos que se mencionan [23][24]. Para el inserto A la tecnología de impresión por LCD con luz diurna usa un haz de luz de 406nm permitiendo una mayor velocidad de impresión y especificaciones de resinas con altas prestaciones [25], para los inserto B la tecnología de impresión por MSLA usa una haz de luz de 405nm generando una especificación de buenas velocidad y calidad de pieza[26] y para el inserto C la tecnología por SLA/LFS igual usa un haz de luz de 405 pero evoluciona su precisión y calidad de impresión gracias a su sistema de LFS[27]

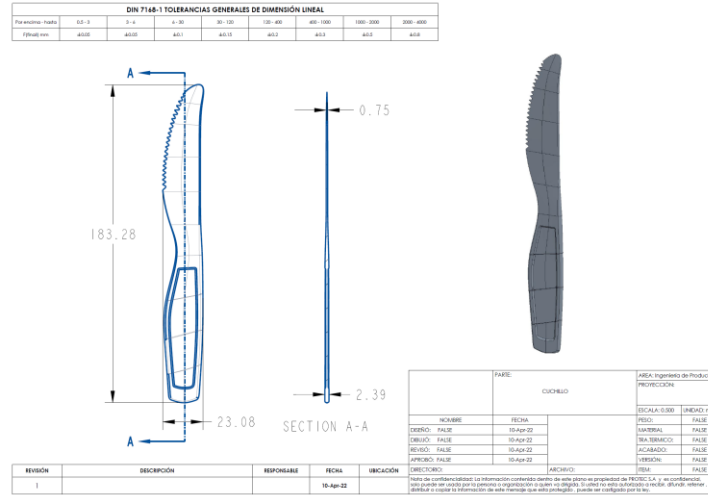


Figura 7. Utensilio Cuchillo.

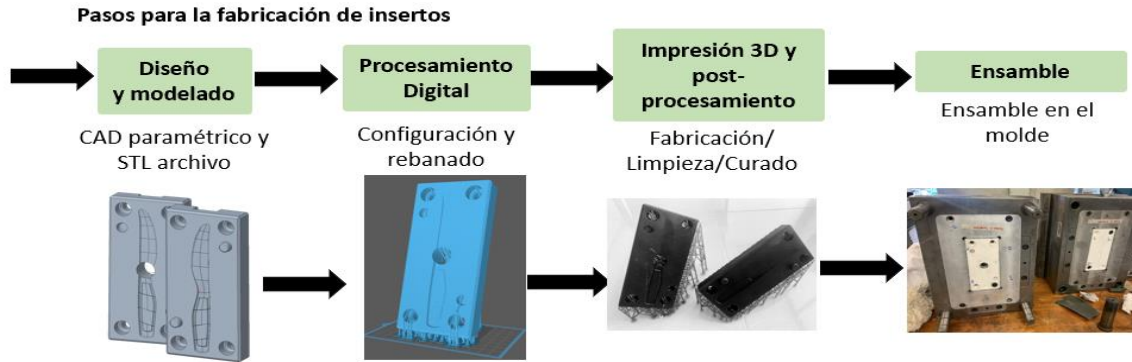


Figura 8. Flujo de fabricación.

Cada uno de los insertos fabricados pasan por un proceso de lavado y curado según recomendaciones de cada una de las fabricaciones de las impresoras, con este proceso se logra obtener las máximas prestaciones mecánicas y térmicas expuestas en las fichas técnicas de las resinas testeadas de 190 a 220 °C , ideales para el objetivo de verificación de las piezas inyectadas en PP.

Se utilizó un análisis de llenado por medio de Solidworks Plastic 2021, para determinar los parámetros iniciales a tener presente de acuerdo al polímero empleado, determinando tiempo de llenado, presión de inyección y temperatura de molde .

4. Resultados

En el diseño, el punto de inyección se definió de forma central, posteriormente se aplicó la simulación obteniendo tiempo máximo de llenado de 2 seg. Esta variante de llenado se observa en Figura 9 (a). La temperatura de los contornos del producto, inducen a requerir un sistema de canal de refrigeración sobre el contorno del producto, pero se toma la decisión de no incluirlo por el uso de las resinas foto poliméricas empleadas y sus bajas tasas de transferencia térmica. La máxima presión de inyección se presenta en el punto de entrada del material 22 MPa. Se observa una diferencia de presión entre los extremos del producto posiblemente generando puntos de sobre inyección en la parte superior del artículo a inyectar Figura 9 (b).

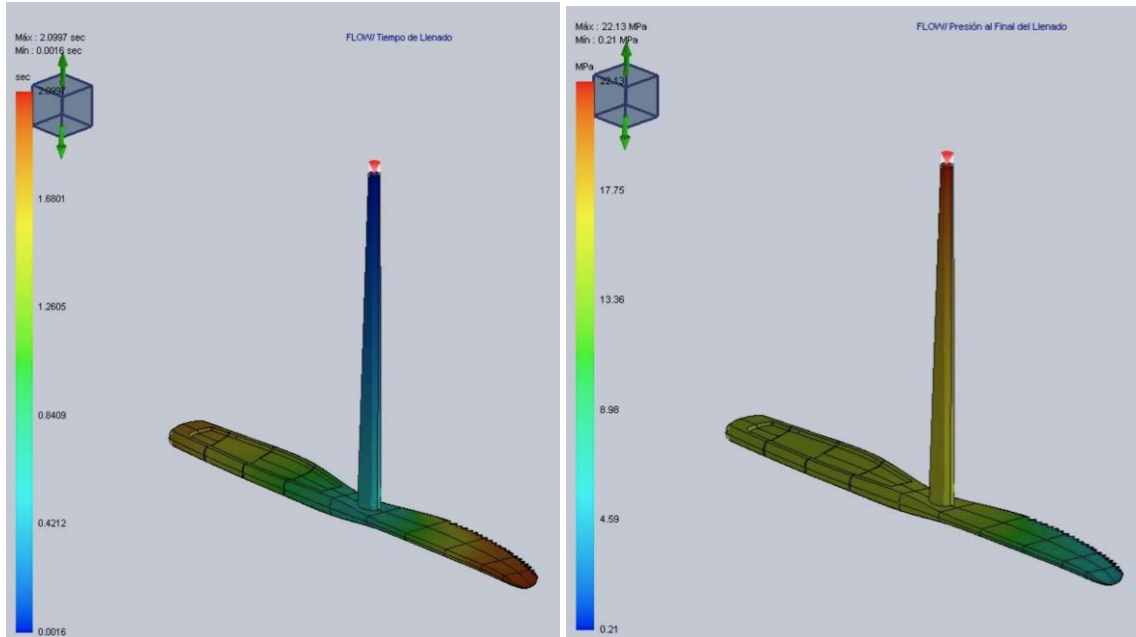
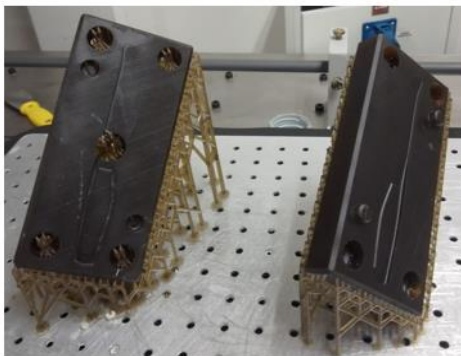


Figura 9. (a) Tiempo de llenado Max 2 seg **(b)** Max presión de llenado 22 MPa

Las Figuras 10(a), (b) y (c) muestran los insertos impresos con la resina DL400, la resina TR300 y la resina High Temp V2 respectivamente, cada uno de ellos sobre sus plataformas de impresión. El inserto A se imprimió en posición angular -20° en el eje X y 60° en el eje Y. El inserto B se imprimió en posición vertical por las limitaciones de volumen en la impresora. Y para el inserto C se imprimió en posición angular -20° en el eje X y 20° en el eje Y. La configuración usada en cada una de las impresoras de acuerdo con los ángulos definidos partió de la disponibilidad en la plataforma/volumen de impresión y en las recomendaciones presentes en [28]. Para los insertos A y C, la generación de soportes sobre la superficie se identificó que los puntos de contacto generar un acabado superficie que requiere ser ajustado para no afectar el funcionamiento de las piezas.



(a)



(b)



(c)

Figura 10(a) plataforma e inserto A **(b)** plataforma e inserto B y **(c)** plataforma e inserto C

Los insertos fueron diseñados con dimensiones generales de $154,9 \times 71,1 \times 20$ mm y luego de obtener los modelos impresos, se realizó un protocolo dimensional con resultados que se observan en la Tabla 3. Estas diferencias dimensionales más los acabados finales obtenidos después del proceso de curado de las piezas, género que se ejecutara

un postproceso por medios convencionales (fresado) y pulido de las superficies para tener unos insertos que ajustaran de forma adecuada dentro de la cavidad base del molde de intercambio base.

Tabla 3. Resumen de medidas de precisión en insertos impresos en 3D

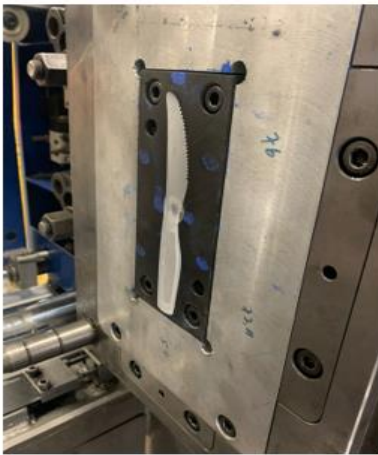
			Espesor (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Inserto A: DL400/LC Magna	Promedio		20,6	154,93	71,1
	Variación		+0,6	+0,03	0
Inserto B: TR300/Elegoo Mars	Promedio		20	154,9	72,1
	Variación		0,1	0	+1,1
Inserto C: Temp V2/Form 3+	High Promedio		20,3	154,8	71,5
	Variación		+0,3	-0,1	+0,4

En las Figuras 11(a), (b) y (c) se visualizan los insertos fabricados y ensamblados en el molde base de cambio rápido sobre marcos de aluminio donde se alojan los cuales permiten darte estructura y soporte durante el proceso de inyección. Este sistema de cambio rápido permitió intercambiar entre los insertos A, B y C de forma más eficiente logrando tiempos y costos menores en el proceso total de verificación y validación del artículo en el caso de estudio.



Figura 11(a) Insertos A **(b)** Insertos B **(c)** Insertos C

Se realiza la secuencia de las pruebas partiendo con el inserto A, se configura la máquina con la información previa obtenida en la simulación y con cálculos adicionales para ajustar los parámetros. Se realizan llenados parciales para ver el comportamiento de la presión de cierre y de inyección frente al inserto y el artículo. La Figura 12(a), (b) y (c) se pueden observar las condiciones - molde, insertos, primera inyección - con cada uno de los insertos fabricados por AM, con fuerza de cierre en el máximo valor disponible, llevando a un punto extremo donde se evaluó sellos y resistencias de los insertos. Solo fue posible evaluar el producto con condiciones de llenado volumétrico, esto dado que al momento de pasar a la etapa de llenado gravimétrico se presentaron rebabas alrededor de los insertos generando rebabas alrededor del producto y dificultando su extracción.



(g)



(f)



(f)

Figura 12(a) Insertos A **(b)** Insertos B **(c)** Insertos C

En la Figuras 13(a) ,(b) y (c) se observan las piezas producidas, con condiciones dimensionales , superficiales y de funcionamiento dentro de las expectativas para obtener un producto que permita validar y verificar - forma y funcionamiento. Con el inserto A se fabricaron 30 unidades, con el inserto B 15 unidades y con el inserto C 28 unidades, antes de presentarse fracturas significativas en los insertos Figuras 13 (d) y (e). La alta fuerza de cierre frente al paralelismo, acabado superficial y tolerancias entre las superficie de contacto entre los insertos fabricados ocasionaron tensiones de compresion que al momento de adicionar la presion de inyeccion genero esta situacion en los insertos comenzando cerca al punto de inyeccion o entrada de material. Los insertos soportaron sin mostrar afectacion aparente la temperatura de fusion (T_g) del polimero 160-180 °C. Los resultados obtenidos en las piezas con el inserto A presentaron un acabado final mejor que las muestras obtenidas por los insertos B y C.



(a)



(b)



(c)

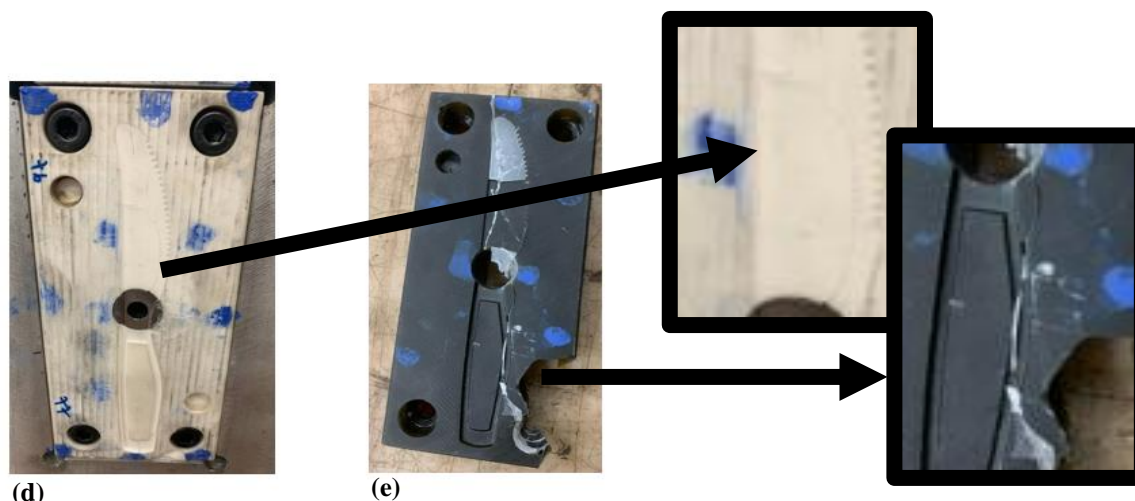


Figura 13. (a), (b) y (c) muestras fabricadas (d) y (e) grietas en los insertos en AM

El resultado mostrados con los insertos impresos en las diferentes resinas y tecnologías, y el artículo obtenido en los diferentes escenarios, presenta la viabilidad para obtener pocas unidades o pequeños lotes de producto que permiten la validaciones y verificación en las etapas tempranas de un desarrollo de producto plástico, adicionando una reducción de costos y de tiempos en el proceso de iteraciones para llegar al objetivo mas aun si lo comparamos frente a un inserto D fabricado por metodos convencionales y en acero Tabla 4.

Tabla 4. Comparativa insertos

Referencia	Material	Tecnología/Metodo de fabricacion.	Costo por Inserto	Tiempo de Fabricacion
Inserto A	Resina Fotopolimerica	Impresión 3D+Fresado	\$ 200	3 dias
Inserto B		Impresión 3D+Fresado	\$ 45	1 dia
Inserto C		Impresión 3D+Fresado	\$ 100	3 dias
Inserto D	Acero 1020	Metodo Convencional: Rectificado/Fresado/Erosionado/Pulido	\$ 400	7 dias

5. Conclusiones

El proceso de inyección de plástico es un proceso seleccionado para la producción a grandes escalas para componentes plásticos, sin embargo esta asociado a altos costos de herramientas y un proceso de desarrollo de componentes que demanda comunmente largo tiempos. Como caso de estudio, para este trabajo, se define un diseño de producto “utensilio” del cual se desarrolla para la etapa de validación y verificación, cavidades del molde (insertos) via manufactura aditiva (AM) con diferentes tecnologías de estereolitografía y testeados bajo el proceso de inyección de plástico con el fin de obtener un producto plástico con características funcionales en el material polimerico definido. Las especificaciones de diseño para AM fueron aplicados en orden de mitigar los problemas generados en el proceso de inyección de plásticos y de garantizar un funcionamiento minimo de los insertos durante las pruebas. El mismo diseño de inserto fue producido por tres tecnologías de estereolitografía - DLP/MSLA/SLA- con diferentes resinas con propiedades de resistencia a altas temperaturas pero con rangos de costos diferenciadores – TR300 a 50\$ el Kg/ DL400 a 90\$ el Kg/ High Temp V2 a 199\$ el Kg, y de los cuales se obtuvieron piezas que mostraron buenos resultados frente a tolerancias dimensionales. Se uso un molde estandar de cambio rapido como portamolde de los insertos impresos. Fue usada una maquina estandar de inyección de plástico para inyectar material polipropileno homopolimero (PP). El ensamble de los insertos estuvo inicialmente afectado por las desviaciones en el paralelismo de las caras lo cual

implico el postproceso por medios convencionales para garantizar los ajustes requeridos para el montaje final. Finalmente, se realizaron pre series de 15 unidades antes de comenzar a ver algunos defectos en los insertos y generando revientes en los mismos. En particular, se pudo obtener por aca inserto, piezas por llenado volumetrico con buena definicion de forma y funcionalidad para el utensilio requerido y se evidencio que al momento de realizar el llenado gavimentrico, la alta rebaba generada alrededor del producto complicaba la expulsion y la continuacion del proceso por lo cual se opto por restringir el proceso a la primera etapa de llenado. Se obtuvo una reduccion de costos del 888% y un 700% tiempos frente al los insertos fabricados en metal donde las aleaciones son los materiales dominantes y el proceso de fabricacion se realiza por metodos convencionales IM.

Este trabajo como otros sobre la misma linea, consideran condiciones similares y resultados prometedores para la implementacion en etapas tempranas logrando articulos en una alta variacion de polimeros comodities o de alta ingenieria para la obtencion de diversas formas. La combinacion de manufacturas hibridas abre la posibilidades a la AM [16] para estas aplicaciones industriales. Se recomienda para futuros trabajos bajo tecnologias de impresion por MSLA/LCD/DLP generar modelos con dimensiones mayores para que con un proceso mixto de AM + IM se logren las tolerancias y precision requeridos para los ajustes de cierre y sellos de las paredes de los insertos y de esta forma obtener una mejor calidad en el producto requerido, ademas de evaluar las resinas de bajo costo con propiedades mecanicas y termicas frente a componentes o articulos de formas complejas o insertos con varias partes, esto para llevarlo a un mayor nivel de validacion frente al amplia posibilidad y versatilidad que se tienen con los moldes metalicos y el proceso de inyeccion de plastico.

6. Agradecimientos

Este trabajo esta soportado por el grupo de investigacion IEXS del departamento de Ingenieria de la Universidad EAFIT.

7. Referencias

- [1] T.Sathisha, M.D.Vijayakumarb, AnshumaanKrishnan Ayyangarc: *Design and Fabrication of Industrial Components Using 3D Printing* pg 8-11, 2018, Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318306151>
- [2] Damla Cevik Aka, Kamil Taskin; *3D Printer Technology in Product Design Processes* pg 536-538, 2018, Disponible en https://www.researchgate.net/publication/332633690_3D_Printer_Technology_in_Product_Design_Processes
- [3] Blair Kuys, Mark Strachan: *The inherent value of design research for industry: An impact case study using low-cost 3D printing for high-value commercial products* pg 868-873, 2020, Disponible en <https://dl.designresearchsociety.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1138&context=drc-conference-papers>
- [4] Chong Tan, Chengcheng Li: *Influence of 3D Printing on Industrial Design* pg 282-283, 2017, Disponible en <https://www.atlantis-press.com/article/25887601.pdf>
- [5] Wijdan Khan: *Comparison on Performance of Injection Moulding and 3D Printed Parts* pg 36-50, 2020, Disponible en https://www.researchgate.net/publication/346359780_Comparison_on_Performance_of_Injection_Moulding_and_3D_Printed_Parts
- [6] Geun Park, Sang-Chan Lee, Jun-Ho Jeong, Dong-YEol Yang: *Development of Prototyping and Die/Mold Manufacturing Technology using Rapid Prototyping(SLA)* pg 12-20,1996, Disponible en https://www.researchgate.net/publication/264108699_Development_of_Prototyping_and_DieMold_Manufacturing_Technology_using_Rapid_PrototypingSLA
- [7] David Helin, Kristoffer Palmér: *3D-Printed Injection Molds* pg, 2020, Disponible en <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=9003755&fileId=9003757>

- [8] Covestro , Injection molding using rapid tooling , Disponible en http://https://am.covestro.com/en_US/markets/injectionmoldingtooling.html
- [9] Stratasys , Disponible en <https://support.stratasys.com/en/applications/molding>
- [10] Adrian Benitez Lozano, Santiago Henao Álvarez, Carlos Vargas Isaza, Wilfredo Montealegre-Rubio: *Analysis and Advances in Additive Manufacturing as a New Technology to Make Polymer Injection Molds for World-Class Production Systems* pg 12-16, 2022, Disponible en <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/9/1646>
- [11] Rossella Surace, Vito Basile: *Micro Injection Molding of Thin Cavities Using Stereolithography for Mold Fabrication*, pg 1-3, 2021, Disponible en <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/11/1848>
- [12] Sz. Krizsma, N.K Kovacs, J.G. Kovacs, A.Suplicz: *In-situ monitoring of deformation in rapid prototyped injection molds*, 2021, Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214860421001664>
- [13] Michael Mischkot: *Advanced Process Chains for Prototyping and Pilot Production based on Direct Rapid Soft Tooling*, 2018
- [14] Esentia , Disponible en <http://https://www.esentia.co/portafolio/>
- [15] Phrozen3D, Disponible en <https://phrozen3d.com/collections/3d-printer-resins-phrozen/products/phrozen-tr300-ultra-high-temp-resin#specs> (acceso Mayo 2022)
- [16] Photocentric, Disponible en <https://photocentricgroup.com/product/hightemp-dl400/> (acceso Mayo 2022)
- [17] Formlabs, Disponible en <https://formlabs.com/store/materials/high-temp-resin/> (acceso Mayo 2022)
- [18] Meusburger, Disponible en, https://www.meusburger.com/EN/US/injection-moulding/fw-change-mould?dfSchlagwort=SPRITZGUSS_FORMAUFBAUTEN, (acceso Mayo 2022)
- [19] Stage Gate process, Disponible en <https://slidemodel.com/stage-gate-process-for-product-development/> (acceso Mayo 2022)
- [20] APQP process, Disponible en <https://quality-one.com/apqp/> (acceso Mayo 2022)
- [21] Formlabs, Injection Molding with 3d printed molds quick start guide, 2021
- [22] Senne Van den Broeck, Guidelines on the design and implementation of stereolithographic 3d printed moulds for low volume injection moulding 2017,
- [23] Jordi Martin-Montal, Jesus Pernas-Sanchez, David Varas, Experimental Characterization Framework for SLA Additive Manufacturing Materials, Disponible en <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/7/1147> (acceso Mayo 2022)
- [24] Rodet V, Colton JS (2004) Properties of rapid prototype injection mold tooling materials. *J Polym Eng Sci* 43:p125-138. 2004, Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pen.10011>
- [25] Photocentric, Disponible en <https://photocentricgroup.us/lcmagna/> (acceso Mayo 2022)
- [26] MSLA, Disponible en <https://www.structo3d.com/pages/msla-technology> (acceso Mayo 2022)
- [27] Formlabs, Disponible en <https://formlabs.com/latam/blog/ventajas-impresion-3d-lfs/> (acceso Mayo 2022)
- [28] Formlabs, *Low-Volume Rapid Injection Molding With 3D Printed Molds* pg 19-20, 2020, Disponible en <https://3d.formlabs.com/injection-molding/> (acceso Mayo 2022)