

## **Producción de empaques en polipropileno mediante inyección con colada fría y colada caliente**

**Miguel Alejandro Tuárez-Párraga<sup>1\*</sup>, Mabel Laz-Mero<sup>2</sup>,  
Víctor Castillo-Gorozabel<sup>1</sup>, Alexandra Córdova-Mosquera<sup>2,3</sup>**

<sup>1)</sup> La Fabril S.A. Ubicación: Montecristi, Km 5 ½ vía Manta, Manabí – Ecuador.

<sup>2)</sup> Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología,  
Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

<sup>3)</sup> Coordinación de Posgrado, maestría en Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Manabí.

(\*) [alejandro\\_tuarez@hotmail.com](mailto:alejandro_tuarez@hotmail.com); [mtuarez@lafabril.com.ec](mailto:mtuarez@lafabril.com.ec)

**Recibido:** 29/10/2022

**Revisado:** 19/12/2022

**Aceptado:** 27/12/2022

### **Resumen**

La sostenibilidad depende de la optimización de los recursos antes, durante y después de su uso. El aumento de la población incide directamente en el consumo de los alimentos envasados y, por ende, en la demanda de materiales petroquímicos como el polipropileno (PP), el polímero sintético más utilizado en el mundo para fabricar empaques alimenticios mediante procesos de inyección. En la presente investigación se comparan diferentes tecnologías para la fabricación de empaques por el método de inyección, utilizando PP, para determinar la mejor alternativa en la optimización de los recursos y contribuir así a la sostenibilidad. La investigación se llevó a cabo evaluando el peso y el espesor en los envases fabricados y, adicionalmente, se realizó seguimiento del ciclo productivo de ambos sistemas de inyección con moldes que incluyen colada caliente y colada fría, obteniéndose mejores resultados en sistema con colada caliente, disminuyendo 24% en peso, 55% en espesor y 73% de ciclo productivo, lo cual evidencia la optimización de los recursos durante la fabricación de envases plásticos mediante procesos de inyección con moldes de colada caliente.

**Palabras claves:** Moldeo por inyección; polipropileno; sostenibilidad; colada caliente; colada fría

### **Abstract**

**Production of polypropylene packaging in injection molding with cold and hot runners.** Sustainability depends on the optimization of resources before, during, and after their use. As the population increases, this has a direct impact on the consumption of packaged food, and therefore, on the demand for petrochemical materials such as polypropylene (PP), which is the most widely used synthetic polymer in the world to manufacture food packaging by injection processes. Therefore, the present research aims to compare different technologies for the manufacture of packaging by the injection method using PP, to determine the best alternative for the optimization of resources and thus contribute to sustainability. The research was carried out by evaluating the weight and thickness of the manufactured containers and additionally the productive cycle of both injection systems with molds that include hot runner and cold runner, where the system with hot runner presented better results, decreasing 24% in weight, 55% in thickness and 73% of the productive cycle, which shows optimization of resources during the manufacture of plastic containers by injection processes with hot runner molds.

**Keywords:** Injection molding; Polypropylene; Sustainability; Hot runner; Cold runner.

### **Introducción**

El desarrollo global de materiales plásticos ha contribuido al crecimiento de la economía mundial desde su descubrimiento en 1950 con una producción de 1,5 millones de toneladas (MMt)<sup>1</sup>, hasta el 2020 con 367 MMt<sup>2</sup>, distribuyendo 49,1 MMt en Europa de los cuales se destinan 19,90 MMt para la producción de empaques, con una participación de 19,7% de material PP, equivalente a una participación mundial de 29,28 MMt, situando al PP como el material más usado en el sector de materias primas a base del petróleo. Por otro lado, Jem & Tan<sup>3</sup> estiman que la producción global de plástico aumentará a 1800 MMt para el año 2050.

Por la ausencia de industria petroquímica en Ecuador, el uso del plástico se cuantifica en las importaciones registradas por el Banco central del Ecuador<sup>4</sup> indicando que en el año 2021 Ecuador importó 525.289 toneladas (Tn) de materias primas, según Tuárez-Párraga *et al.*<sup>5</sup> el PP es el material más importante de la industria con una participación del 20,13%, correspondiente a 105.736 Tn, este tipo de resina termoplástica son transformada mediante procesos de extrusión, compresión e inyección siendo este último el proceso más común para la fabricación piezas complejas<sup>6</sup>, debido a sus ventajas económicas para producción de grandes volúmenes de piezas y diferentes formas<sup>7,8</sup>.

Sin embargo, el moldeo por inyección de plástico es un proceso de fabricación complejo, donde la calidad del producto depende de la elección de los materiales, el diseño del molde, el proceso y encontrar el conjunto óptimo de parámetros<sup>9</sup>. Convencionalmente existen dos tipos de sistemas de inyección por su recorrido: de canal caliente (hot runner) y de canal frío (cold runner), teniendo ventajas y desventajas en cada uno. A pesar de que el canal caliente brinda una mejor calidad de producto; muchas industrias utilizan canales fríos debido a su bajo costo y facilidad de diseño<sup>10</sup>.

Un primer aspecto es que el sistema de colada fría, procesa resina nueva en cada ciclo de moldeo, generando una pieza y rama que a menudo se puede reprocesar y moldear nuevamente, siendo un sistema de fácil mantenimiento, adecuado para varios tipos de polímeros, por la versatilidad durante cambios de color<sup>11</sup>. A diferencia que en los moldes de colada caliente existen accesorios que garantizan que el material permanezca fundido en los canales hasta que entre en la cavidad del molde, lo cual genera beneficios tales como fabricar piezas más grandes, mayor volumen de producción y se necesita menos presión para empujar la mezcla fundida hacia la cavidad del molde, aportando con mejor calidad de los productos<sup>12</sup>.

Adicional a esto, las tendencias de mercado indican que el plástico continuará siendo el material de mayor uso a nivel mundial hasta que se desarrolle un material alternativo que tenga similares características y con menor tiempo para su degradación, factor que ha incrementado las investigaciones para garantizar la sostenibilidad, desarrollando nuevos materiales, insumos, optimizando los procesos de transformación y suministros<sup>13</sup>, contribuyendo a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 8, 9 y 12 planteados por la Organización de las Naciones Unidas<sup>14</sup> enfocados al consumo eficiente de los recursos, industrialización sostenible y producción sostenible respectivamente.

Con base a lo expuesto, la presente investigación tiene como objetivo comparar diferentes tecnologías para la fabricación de envases, evaluando las variables de las piezas inyectadas y los impactos que genera el uso de cada uno de los sistemas, como lo menciona el Libro blanco<sup>15</sup> para implementar prácticas de eficiencia energética, hídrica, recursos, y producción más limpia en los procesos productivos para la producción sostenible en el 2035 en el Ecuador.

## Materiales y métodos

La investigación se desarrolló con la aplicación de metodología tipo experimental, comparando diferentes tecnologías para la fabricación de piezas plásticas con procesos de inyección que utilizan moldes de colada fría y colada caliente durante la producción de contenedores con capacidad de 250 g de margarina.

La experimentación inició con la inyección de las piezas plásticas en ambos sistemas, empleando la máquina NETSTAL modelo ELION HIBRYD con capacidad 420 Tn de cierre con molde de colada caliente; y máquina NISSEI modelo FN-5000 con capacidad 217 Tn de cierre para molde de colada fría; du-

rante el ensayo se realizó seguimiento cada 15 minutos, tomando un total de 32 muestras, registrando su respectivo ciclo productivo con un cronómetro digital marca Casio HS3 1/100 segundos, dejando las muestras en un proceso de acondicionamiento durante 72 horas en condiciones controladas de 23 °C +/- 2 °C y 50% humedad relativa (Hr), cumpliendo con lo establecido por la Norma Técnica Colombiana 5511<sup>16</sup>, cabe mencionar que los ensayos se llevaron a cabo por duplicado.

Posteriormente, se efectuaron cuatro mediciones de espesor en diferentes puntos de cada envase, empleando un medidor digital Olympus Magma-Mike 8600 y, por último, para controlar el peso se utilizó balanza digital Mettler Toledo modelo PB3001-L. Para el tratamiento de los datos se aplicó un análisis estadístico no paramétrico de U de Mann-Whitney empleando el programa estadístico SPSS.

## Resultados y discusión

Los datos registrados de las variables definidas a lo largo del estudio muestran el comportamiento de las piezas inyectadas tanto en los procesos con colada fría y colada caliente. A continuación, se puntualiza estadísticamente el tratamiento de los datos, validando significancia ( $p < 0,05$ ) durante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov como se describe en la tabla 1, demostrando que los datos analizados no siguen una distribución normal.

**Tabla 1.** Pruebas de normalidad para variables.

	Kolmogorov –Smirnov		
	Estadístico	gl	Sig.
Peso	4,000	64	0,000
Espesor	4,000	64	0,000
Ciclo	4,000	64	0,000

No son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

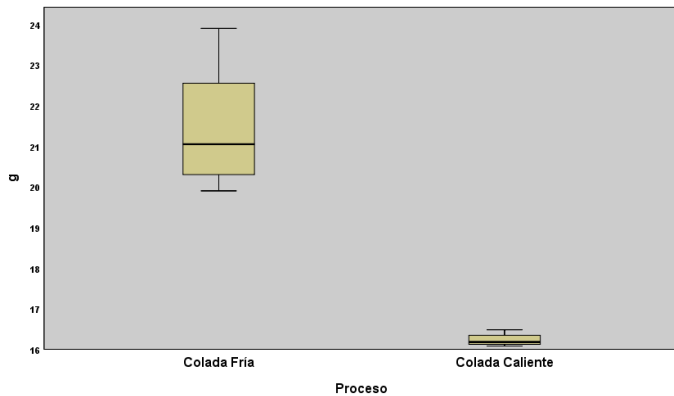
En consecuencia, se define realizar una prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney, en la tabla 2 de resumen de los ADEVA, se detalla que uno de los dos sistemas (Colada fría o Colada caliente) provocan cambios altamente significativos en las variables de respuestas estudiadas ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 2.** Pruebas de U de Mann-Whitney

Resumen de prueba de hipótesis		
	Hipótesis nula	Sig.
1	La distribución de gramos es la misma entre las categorías de Sistema.	,000
2	La distribución de milímetros es la misma entre las categorías de Sistema.	,000
3	La distribución de segundos es la misma entre las categorías de Sistema.	,000

No son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Como se aprecia en la figura 1, se representan los sistemas evaluados en el eje “X” y el peso en el eje “Y”, el cual es expresado en gramos, los resultados obtenidos mediante la prueba de U de Mann-Whitney son menor a ( $p < 0,05$ ), con lo que se determina estadísticamente diferencias significativas entre ambos sistemas.



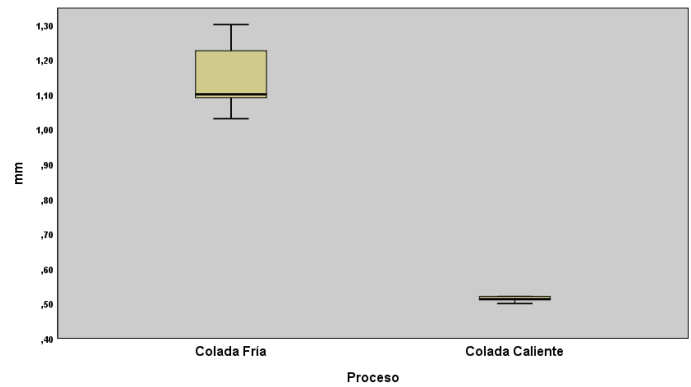
**Fig. 1:** Diagrama de caja para comparar peso en los sistemas de colada fría y colada caliente.

En comparación con los resultados entre ambos sistemas, se evidencia que existe disminución del 24% en peso durante la fabricación de envases utilizando colada caliente con respecto a los fabricados con colada fría, lo que concuerda con Schmidt *et al.*<sup>17</sup> reduciendo el consumo de materiales durante producción de piezas utilizando sistemas de canales calientes. Asimismo, Ozcelik, Ozbay & Demirbas<sup>18</sup> indican que la reducción de peso es considerada un reto por las características intrínsecas; provocando que no se llene fácilmente la cavidad del molde, por lo cual la contracción y el alabeo se consideran como defectos en la transición no uniforme de las dimensiones geométricas de los productos plásticos, lo que conduce a una distorsión de su forma original<sup>19</sup>. Los investigadores Yen *et al.*<sup>20</sup> señalaron la importancia de controlar la contracción y el alabeo, afirmando que la reducción de costes y tiempo parte de la fase de diseño; adicional a aquello, Ahmad *et al.*<sup>21</sup> y Chang & Faison III<sup>22</sup> mencionan que el alabeo y nivel de tensión interna están relacionados con el tipo de materiales de la pieza, el molde y, por último, con parámetros de proceso durante la fabricación.

De similar manera, Zhou<sup>23</sup> sostiene que para el moldeo por inyección se prefiere un grosor de pared uniforme porque las secciones gruesas cercanas a las delgadas se enfrían lentamente por lo cual se presentan defectos tales como marcas de hundimiento, tensiones térmicas residuales, alabeo y variaciones de color o transparencia. Las transiciones de pared gruesa a fina deben tener una proporción de 3:1, siendo así que el espesor es un punto importante para reducir el tiempo de enfriamiento y el coste del material<sup>24</sup>.

Debido a la relevancia en los procesos de fabricación de piezas inyectadas se estudió el espesor de las piezas inyectadas, evidenciando que el proceso de colada caliente se disminuyó 55% tomando de referencia el proceso de fabricación de envases con colada fría, lo que coincide con Schmidt *et al.*<sup>17</sup> mostrando resultados de reducción de espesor en producción de piezas empleando sistemas de canales calientes. Estos resultados se obtuvieron sin afectar la calidad con defectos indeseables relacionados con la calidad del producto. Por lo tanto, el sistema de refrigeración forma parte fundamental durante el proceso de inyección.

Por lo visto en la figura 2, están representados los sistemas evaluados en el eje “X” y el calibre en el eje “Y”, el cual es expresado en mm, los resultados obtenidos mediante la prueba de U de Mann-Whitney son menor a ( $p < 0,05$ ), con lo que se determina estadísticamente diferencias significativas entre ambos sistemas.



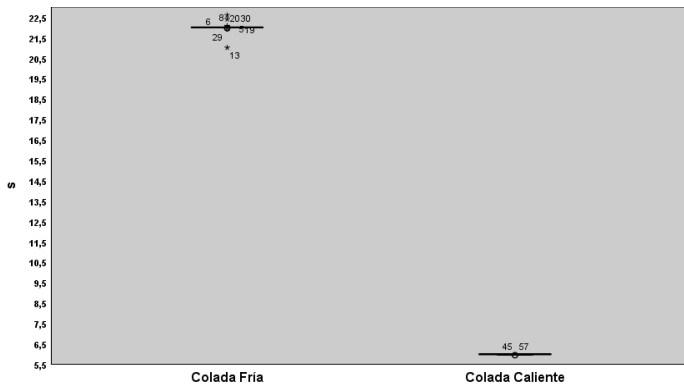
**Fig. 2:** Diagrama de caja para comparar espesor en los sistemas de colada fría y colada caliente.

Adicionalmente, Mishra y Bankar<sup>24</sup> afirman que las piezas inyectadas como la cubierta del teléfono móvil, deben ser delgadas y ligera por lo cual la tecnología de moldes con colada caliente es indispensable para producir dichas piezas. La gran competencia entre las industrias electrónicas fomenta la reducción continua del tamaño y el aumento de la precisión de las piezas inyectadas, reduciendo el espesor a 1 mm o menos<sup>25</sup>. Sin embargo, Song *et al.*<sup>26</sup> mencionan que la selección de los parámetros de proceso adecuados se hace difícil cuando se reduce el espesor de las paredes de las piezas de plástico.

Por otra parte, el ciclo es una de las variables que influye directamente en el costo de las piezas inyectadas, en el presente estudio se evidencia que el sistema de inyección de colada caliente disminuyó 73% el ciclo de inyección comparada con el sistema de colada fría, lo que concuerda con Schmidt *et al.*<sup>17</sup> mostrando resultados de reducción en de ciclo en producción piezas utilizando sistemas de canales calientes. Teniendo presente que el tiempo para enfriamiento de la resina en el interior del molde puede suponer 60% del tiempo del ciclo de fabricación y una reducción significativa de este tiempo afecta directamente a la tasa de producción.

En la figura 3, se representan los sistemas evaluados en el eje “X” y el ciclo en el eje “Y”, el cual es expresado en segundos (s), los resultados obtenidos mediante la prueba de U de Mann-Whitney son ( $p < 0,05$ ), con lo que se determina estadísticamente diferencias significativas entre ambos sistemas.

Los moldes que utilizan la tecnología de canal caliente tienen un tiempo de enfriamiento mucho menor en comparación con los moldes tradicionales de canal frío, porque no es necesario que el sistema de canal se solidifique junto con la pieza producida, de tal manera esto produce que se reduzca el tiempo de inyección convirtiendo al sistema de colada caliente en una tecnología eficiente<sup>27</sup>.



**Fig. 3:** Diagrama de caja para comparar ciclo en los sistemas de colada fría y colada caliente.

Por otro lado, Ferreira *et al.*<sup>28</sup> obtuvieron una reducción del 42% del tiempo de ciclo al disminuir la temperatura de la pared del molde durante la etapa de enfriamiento. Sumado a lo anterior, una vez que la cavidad del molde se llena con polímero fundido, se introduce más masa en la cavidad del molde para compensar la contracción volumétrica. Al mismo tiempo, se enfría el molde para obtener una contracción uniforme de la pieza y reducción del tiempo de ciclo, al menos 30%<sup>29</sup>. Para el caso de canales de enfriamiento adaptado a la cavidad se obtiene una disminución de 35% del tiempo de ciclo total<sup>30</sup>.

Adicional a aquello, Mathur, Kumar & Mathur<sup>27</sup> señalan que la presión de inyección necesaria es menor para producir piezas de mayor peso en el caso del sistema de canal caliente, teniendo presente que la contracción y el alabeo aumentan con el incremento de la temperatura del proceso, por lo contrario, disminuyen con el aumento de la presión de inyección. Cabe mencionar que es posible acortar el tiempo del ciclo en dos casos: cuando el bebedero en frío sea más grueso que el moldeado con mayor presión y velocidad de inyección permitiendo reducir el grosor de las paredes, y cuando las piezas moldeadas son pequeñas con la proporción del bebedero es grande, cabe esperar un acortamiento adicional del ciclo debido a la reducción del tiempo de inyección<sup>31</sup>.

Los datos en la variable ciclo denotan una variación en el sistema de colada fría, de acuerdo con la prueba de Moses se indica que los valores atípicos del sistema son altamente significativos como se visualiza en la tabla 3. La diferencia de ciclos en el proceso de colada fría se puede dar por deterioro del molde y la falta de mantenimiento, lo que provoca que se generen rebabas y esto hace que se enganchen durante el proceso de expulsión, generando dificultad en el proceso de desmoldeo y, por ende, incremento de ciclos durante la producción.

**Tabla 3.** Pruebas de Moses de reacción extrema de muestras independientes para Ciclo

Resumen de prueba de hipótesis		
	Hipótesis nula	Sig.
1	El intervalo de segundos es el mismo entre las categorías de sistema.	0,0001

<sup>1</sup>Se muestra la significancia exacta para esta prueba.

Por otra parte, Mishra y Bankar<sup>24</sup> describen que el sistema de canalización sana el material plástico fundido que recibe del barril para introducirlo en la cavidad del molde. Podemos decir que el sistema de canalización muestra la calidad de la pieza y la productividad de un sistema de canales calientes en el cual conserva el material en estado fundido en su interior. Los sistemas de canalización en frío, aunque son baratos, tienen algunas limitaciones, como el desperdicio de material, la degradación de la complejidad, los costes de rectificado y el aumento del ciclo de moldeo. Estas pérdidas son considerables y suponen una carga adicional para los sistemas de la cadena de suministro. Además, el grosor y la longitud del canal son a veces incluso mayores que la sección transversal máxima del producto, lo que hace que estas pérdidas sean aún más antieconómicas en situaciones similares.

Durante los últimos años, la forma de minimizar el impacto negativo sobre el medio ambiente y proporcionar un ciclo de vida del producto más sostenible es una de las consideraciones cruciales en el diseño y la fabricación<sup>12</sup>. A las empresas les preocupa que la aplicación de medios ecológicos en el plan de desarrollo de productos pueda suponer costes adicionales y, por tanto, reducir su competitividad. Sin embargo, se busca que el proceso de desarrollo de un producto genere beneficios para la empresa, sea socialmente aceptable y que utilice el mínimo de energía y material sin producir residuos peligrosos<sup>32</sup>.

Los resultados mencionados anteriormente, contribuyen a minimizar el coste de fabricación de las piezas inyectadas; sin duda, el problema más importante en las piezas inyectadas de pared fina es la ausencia de la forma y las dimensiones deseadas. La solución a este problema puede lograrse eligiendo el material plástico y los parámetros de inyección adecuados<sup>24</sup>. Y, por último, estos resultados con los argumentos de varios autores, proporcionan información importante para las industrias<sup>33</sup>, teniendo buen resultado de rentabilidad con tecnologías de colada caliente, según Bulej *et al.*<sup>34</sup> destacan que los avances tecnológicos en sistemas de colada caliente eliminan el desperdicio de materiales y la necesidad de separación de partes individuales, por lo cual, Amellal *et al.*<sup>35</sup> detallan que muchas empresas han optado por este tipo de tecnología.

## Conclusiones

La optimización de resinas plásticas está determinada por la implementación de la tecnología de inyección de colada caliente con ciclos rápidos, acompañado de la disminución del peso neto de las piezas fabricadas, constituyendo un aporte significativo en la reducción de consumos de resinas plásticas durante la fabricación de envases de PP para alimentos, siendo un aporte significativo en la reducción del consumo de materiales.

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, esta investigación demuestra que los canales calientes son altamente compatibles con los plásticos sostenibles (materiales vírgenes, reciclados y bioplásticos), los cuales se pueden procesar fácilmente con el

molde de canal caliente, facilitando ciclos completamente automáticos según las prácticas industriales estándares.

## References

1. Plastics Europe. The Plastic Industry Berlin Aug 2016 -pdf. Plastics Europe ES. <https://committee.iso.org/files/live/sites/tc61/files/The%20Plastic%20Industry%20Berlin%20Aug%202016%20-%20Copy.pdf> Consultado: 01/08/2022
2. Plastics Europe. Plastics - the Facts 2021 • Plastics Europe. Plastics Europe. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/> Consultado: 01/08/2022
3. KJ Jem, B Tan. The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid). **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, **3**, 60–70 (2020).
4. Banco central del Ecuador. Exportadores - importadores por producto (2022). <https://www.bce.fin.ec/index.php/comercio-exterior> Consultado: 20/09/2022
5. MA Tuárez-Párraga, M Laz-Mero, RA Córdova-Mosquera, JV Conforme-Montesdeoca. Migración química desde envases fabricados con polipropileno hacia alimentos grasos. **Rev. EspamCiencia**, **13**, 52–59 (2022).
6. Ž Rutkauskas, A Bargelis. Knowledge – based method for gate and cold runner definition in injection mold design. **Mechanics**, **66**, 49–54 (2007).
7. R Prada-Ospina, JC Acosta-Prado. El moldeo en el proceso de inyección de plásticos para el logro de objetivos empresariales. **Dimensión Empresarial Dimens**, **15**, 169–182 (2017).
8. O Marwah, A Darsani, M Johar, A Rosden, E Mohamad, M Shaari, *et al.* Evaluation of injection molding process parameters for manufacturing polyethylene terephthalate. En: *MATEC Web of Conferences*. 2017:135. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713500037> Consultado: 10/10/2022
9. W Chen, M Nguyen, W Chiu, T Chen, P Tai. Optimization of the plastic injection molding process using the Taguchi method, RSM, and hybrid GA-PSO. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **83**, 1873–1886 (2016).
10. P Kale, P Darade, R Sahu. A review of Injection molding process on the basis of runner system and process variables. En: *National E-Conference on Research and Developments in Mechanical Engineering* (2020). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/343788280\\_A\\_review\\_of\\_injection\\_moulding\\_process\\_on\\_the\\_basis\\_of\\_runner\\_system\\_and\\_process\\_variables](https://www.researchgate.net/publication/343788280_A_review_of_injection_moulding_process_on_the_basis_of_runner_system_and_process_variables) Consultado: 10/10/2022
11. A Demirer, Y Soydan, A Kapti. An experimental investigation of the effects of hot runner system on injection moulding process in comparison with conventional runner system. **Materials & Design**, **28**, 1467–1476 (2007).
12. T Chen, C Huang, Y Chiu, W Wang, C Hsu, C Lin, L Kao. Material saving and product quality improvement with the visualization of hot runner design in injection molding. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, **14**, 1109–1112 (2013).
13. J L Gómez Contreras. Del desarrollo sostenible a la sustentabilidad ambiental. **Rev. Facultad de Ciencias Económicas**, **22**, 115 (2014).
14. United Nations. Objetivos y metas de desarrollo sostenible. Desarrollo Sostenible. (2020). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> Consultado: 22/10/2022
15. Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP), Corporación técnica alemana (GIZ), & Melanie Valencia. Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador. Ediciones Centro de Innovación y Economía Circular CIEC. Ecuador (2021).
16. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). NTC5511. Envases Plásticos. Uso general. Colombia
17. M Schmidt, H Spieth, C Haubach, C Kühne. Thin-wall technology in technical plastic injection moulding. En: *100 Pioneers in Efficient Resource Management: Best practice cases from producing companies*, Eds. M Schmidt, H Spieth, C Haubach, & C Kühne, 214–217, Springer (2019).
18. B Ozcelik, A Ozbay, E Demirbas. Influence of injection parameters and mold materials on mechanical properties of ABS in plastic injection molding. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, **37**, 1359–1365 (2010).
19. J Yang, Y Xu. Warpage analysis of injection molding based on mold flow. **Advanced Materials Research**, **538–541**, 1192–1196 (2012).
20. C Yen, J Lin, W Li, M Huang. An abductive neural network approach to the design of runner dimensions for the minimization of warpage in injection mouldings. **Journal of Materials Processing Technology**, **174**, 22–28 (2006).
21. H Ahmad, Z Leman, M Azmir, K Muhamad, W Harun, A Juliawati, *et al.* Optimization of warpage defect in Injection moulding process using ABS material. En: *Third Asia International Conference on Modelling & Simulation*. 2009: 470–474. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5072032> Consultado: 22/10/2022
22. T Chang, E Faison. Shrinkage behavior and optimization of injection molded parts studied by the Taguchi method. **Polymer Engineering & Science**, **41**, 703–710 (2001).
23. H Zhou. Computer modeling for injection molding. Part II: Simulation, mathematical models for the filling and packing simulation. Editorial Wiley & Sons, Inc. New Jersey (2013).
24. N Mishra. Design and analysis of ceiling cable holder base. **International Journal of Trend in Scientific Research and Development**, **3**, 564–567 (2019).
25. S Liao, D Chang, H Chen, L Tsou, J Ho, H Yau, *et al.* Optimal process conditions of shrinkage and warpage of thin-wall parts. **Polymer Engineering & Science**, **44**, 917–928 (2004).
26. M Song, Z Liu, M Wang, T Yu, D Zhao. Research on effects of injection process parameters on the molding process for ultra-thin wall plastic parts. **Journal of Materials Processing Technology**, **187**, 668–671 (2007).

27. S Mathur, R Kumar, V Mathur. Mathematical Modeling and Fuzzy Analysis of hot runner in comparison to cold runner in Injection moulding. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, **18**, 657–676 (2019).
28. I Ferreira, O de Weck, P Saraiva, J Cabral. Multidisciplinary optimization of injection molding systems. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, **41**, 621–635 (2010).
29. N Ivaşcu, C Fetecău. Dynamic temperature control in injection molding with new conformal heating/cooling system. **Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati, Fascicle V, Technologies in machine building**, **28**, 5–11 (2010).
30. A Saifullah, S Masood. Cycle time reduction in injection moulding with conformal cooling channels. En: *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering*. 2007. Disponible en: <https://researchbank.swinburne.edu.au/file/b9d88f55-8e50-4071-8265-498ccb3e3d45/1/PDF%20%28Published%20version%29.pdf> Consultado: 25/10/2022
31. D Frenkler, H Zawistowski. Hot Runners in Injection moulds. Editorial Smithers Rapra Publishing. United Kingdom (2001).
32. M Chiu, C Chu. Review of sustainable product design from life cycle perspectives. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing**, **13**, 1259–1272 (2012).
33. J Aisa, J Castany. Dimensional study of thermoplastic parts made using sequential injection molding. **Polymer Engineering & Science**, **49**, 1832–1838 (2009).
34. V Bulej, N Čuboňová, M Eberth, K Vasilko. The mould for production of plastic spout cap with internal thread by injection moulding. En: *MATEC Web of Conferences*. 2018:244. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824401025> Consultado: 25/10/2022
35. K Amellal, C Tzoganakis, A Penlidis, G Rempel. Injection molding of medical plastics: A review. **Advances in Polymer Technology**, **13**, 315–322 (1994).