

Comparación Método multi-criterio TOPSIS y MOORA para la optimización de un proceso de inyección de plástico

Comparison TOPSIS and MOORA multi-criteria method for the optimization of a plastic injection process

Comparaçãõ do método multi-critério TOPSIS e MOORA para a otimizaçãõ de um processo de injeçãõ plástica

Luis Pérez-Domínguez^{a*}, Jorge Luis Macías-García^b, Karla Yohana Sánchez-Mojica^c, David Luviano-Cruz^d

^aProfesor-Investigador, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, luis.dominguez@uacj.mx, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2541-4595>

^bEstudiante Universidad Autónoma, al114470@alumnos.uacj.mx, orcid:

^cEspecialista en Práctica Pedagógica Universitaria, investigaciones@fesc.edu.co, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3164-4725>

^dProfesor-Investigador, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, david.luviano@uacj.mx, orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4778-8873>

^{a,b,d}Universidad Autónoma - Ciudad Juárez - México

^cFundación de Estudios Superiores Comfanorte - FESC Cúcuta - Colombia

Recibido: 4 abril, 2017, Aceptado: 2 mayo, 2017.

Forma de citar: Pérez, L., Macías, J., Sánchez, K. & Luviano, D. (2017). Comparación Método multi-criterio TOPSIS y MOORA para la optimización de un proceso de inyección de plástico. Mundo Fesc, (90-97)

Resumen

El proceso de la industria de inyección de plástico se caracteriza por ser uno de los procesos de producción más complejo. En este sentido se vuelve una actividad que requiere el uso de métodos matemáticos sofisticados y el uso de tecnología avanzada, esto mismo ha llevado a desarrollar infinidad de proyectos de investigación enfocados en auxiliar la tipificación de factores críticos del proceso de inyección de plástico. De tal modo, que el presente proyecto propone la comparación del uso del método multi-criterio TOPSIS y MOORA para la optimización de un proceso de inyección de plástico. Los resultados esperados consisten en desarrollar experimentaciones con ambos métodos para clasificar los parámetros críticos y/o variables de un proceso de inyección de plástico que permita proponer estrategias de mejora continua.

Palabras clave: MCDM, TOPSIS, MOORA, Inyección de Plástico, Parámetros

Abstract

The process of the plastic injection industry is characterized by being one of the most complex production processes. In this sense, it becomes an activity that requires the use of sophisticated mathematical methods and the use of advanced technology, this has led to the development of an infinity of research projects focused on assisting the typification of critical factors of the plastic injection process. In such a way, that the present project proposes the comparison of the use of the TOPSIS and MOORA multi-criteria method for the optimization of a plastic injection process. The expected results consist in developing experiments with both methods to classify the critical parameters and / or variables of a plastic injection process that allows proposing continuous improvement strategies.

Keywords: MCDM, TOPSIS, MOORA, Plastic Injection, Parameters

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: luis.dominguez@uacj.mx

Resumo

O processo da indústria de injeção plástica caracteriza-se por ser um dos processos de produção mais complexos. Nesse sentido, torna-se uma atividade que requer o uso de métodos matemáticos sofisticados e o uso de tecnologia avançada, o que levou ao desenvolvimento de uma infinidade de projetos de pesquisa voltados para auxiliar na tipificação de fatores críticos do processo de injeção plástica. De tal forma, que o presente projeto propõe a comparação do uso do método multicritério TOPSIS e MOORA para a otimização de um processo de injeção plástica. Os resultados esperados consistem em desenvolver experimentos com os dois métodos para classificar os parâmetros críticos e / ou variáveis de um processo de injeção plástica que permita propor estratégias de melhoria contínua.

Palavras-chave: MCDM, TOPSIS, MOORA, Injeção Plástica, Parâmetros

Introducción

Actualmente, el proceso de inyección de plástico juega un papel fundamental dentro de la industria especializada en el trato de polímeros. Esto debido a que, en dicho procedimiento, se fabrican diversos productos de plástico, los cuales poseen dimensiones complejas, una gran precisión y un bajo costo. Los métodos de decisión multicriterio constituyen una herramienta básica para la toma de decisiones en el mundo global. En este trabajo se va a centrar en la comparación de la aplicación del método TOPSIS y el método MOORA analizando el impacto de los diferentes parámetros en el proceso de inyección de plástico como resultados obtenidos. El método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) de Hwang y Yoon (1981), enfrenta el conflicto de ocuparse con la solución ideal, solución anti-ideal el anti-ideal o con la mezcla de los dos. (Zeleny, 1973). De tal suerte, que decide usar TOPSIS se enfoca en la proposición de solución de compromiso, en el sentido de la alternativa más cercana a la ideal. El método MOORA fue introducido por primera vez en el 2006 por Brauers y Zavadskas. La idea básica de este procedimiento es calcular el rendimiento global de cada alternativa como la diferencia entre las sumas de sus rendimientos normalizados que pertenecen a los criterios de

costo y beneficio.(Pérez Domínguez, Alvarado Iniesta, Rodríguez Borbón, Villegas, & Osslan, 2015).Por otro lado, el proceso de moldeo por inyección de plástico es un proceso que costa tres etapas: llenado, empaque y enfriamiento. En la primera fase, el polímero fundido es inyectado en la cavidad de moldeo durante un corto periodo de tiempo; en la segunda fase, se aplica una debida presión al plástico fundido para compensar las contracciones y el desarrollo de la cristalinidad que provoca un incremento en la densidad; por último, en la tercera fase, el polímero fundido se solidifica hasta que las partes estén listas para la expulsión.

La optimización del proceso se lleva a cabo regularmente en el campo de la fabricación, estableciendo específicamente los parámetros de proceso iniciales óptimos. Así de esta manera, el moldeo por inyección de plástico se usa ampliamente para fabricar una variedad de piezas. Las condiciones de moldeo o los parámetros del proceso juegan un papel decisivo que afecta la calidad y la productividad de los productos de plástico. Las condiciones de moldeo comprenden los siguientes parámetros importantes: temperatura de fusión, temperatura del molde, tiempo de llenado, tiempo de empaque y presión de empaque. (Bodini & Bañuelos 1992).

Materiales y métodos

Técnica para el orden de preferencia por similitud a la solución ideal TOPSIS

El método TOPSIS, desarrollado por Hwang y Yoon (1981), es un ranking en la concepción y aplicación. El método TOPSIS intenta elegir alternativas que simultáneamente tienen la distancia más corta de la solución ideal positiva y la distancia más alejada de la solución ideal negativa. Lo positivo se conoce como solución ideal la cual maximiza los criterios de beneficios y minimiza el costo, mientras que la contraparte se conoce como solución ideal negativa en la cual se maximiza la costó y se minimizan los criterios de beneficios. (Majid Behzadian, S. Khanmohammadi Otaghsara, Morteza Yazdani, Joshua Ignatius 2012).

La solución ideal y anti-ideal, son soluciones artificiales. En este sentido, la solución ideal contiene a todos los valores de los criteriosque pertenecen a los valores óptimos de las alternativas; la solución anti-ideal es la solución agrupa a todos los valores de los criterios que conciernen a los valores menos deseados de cada criterio de la calificación de las alternativas. Asimismo,el procedimiento a detalle del método TOPSIS propuesto por Hwang y Yoon (1981) se presenta a continuación.

1. Construir la matriz de decisión

Se plantean un conjunto dem alternativas A_i $i=1, 2, \dots, m$ calificada a través de un conjunto de criterios C_j , $j = 1, 2, \dots, n$ construyendo la matriz de decisión.

	w_1	w_2	.	w_n
	C_1	C_2	.	C_n
A_1	α_{11}	α_{12}	.	α_{1n}
A_2	α_{21}	α_{22}	.	α_{2n}
...
A_i	α_{m1}	α_{m2}	.	α_{mn}

Donde:

β_{ij} = Representa la valoración de la alternativa A_i , con respecto al criterio C_j .

w_{ij} = $[w_1, w_2, \dots, w_n]$ es el vector de pesos asociados a los criterios.

2. Definir la normalización de la matriz de decisión

La norma que se usa se describe a continuación mediante la ecuación (1).

$$(1) n_{ij} = \alpha_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^m (\alpha_{ij})^2}, j = 1, \dots, m$$

3. Establecer la matriz de decision normalizada ponderada

Los elementos de decisión de la matriz de decisión normalizada ponderada v_{ij} se obtiene usando la ecuación (2).

$$(2) v_{ij} = w_j \cdot n_{ij}, j=1, \dots, n, i=1, \dots, m$$

Dónde:

w_j = corresponde a valor de la preferencia del j -esimo criterio, de tal suerte que $\sum w_j$ **deben ser igual a 1**, si hablamos del caso general que verifica la igualdad.

4. Definirla solución ideal positiva (T^+) y la solución anti-ideal (T^-)

La solución ideal positiva y solución anti-ideal (T^+ y T^-) se establecen usando la ecuación (3) y (4) respectivamente.

$$(3) T^+ = \{t_1^+, \dots, t_n^+\} = \{(max_i t_{ij}, j \in j) (min_i t_{ij}, j \in j)\}$$

$$(4) T^- = \{t_1^-, \dots, t_n^-\} = \{(min_i t_{ij}, j \in j) (max_i t_{ij}, j \in j)\}$$

Dónde:

j = describe con los criterios de beneficios y j' está relacionado con los criterios de costos.

5. Calcular la distancia euclidiana

La distancia a cada alternativa a la solución ideal positiva z_i^+ , y a la solución ideal negativa z_i^- , esta dada por (5) y (6) respectivamente.

$$(5) z_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (t_{ij} - t_j^+)^2}, i = 1, \dots, m$$

$$(6) z_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (t_{ij} - t_j^-)^2}, i = 1, \dots, m$$

6. Calcular la cercanía conexa a la solución absoluta

La cercanía relativa R_i se deduce mediante la ecuación (7).

$$(7) R_i = \frac{z_i^-}{(z_i^+ + z_i^-)}, i = 1, \dots, m$$

Si $R_i = 1$, A_i entonces es igual a T^+ . Si $R_i = 0$, entonces A_i es igual a T^- . Por tanto, cuanto más próximo es el valor del radio a 1, indica una mayor preferencia de la alternativa i -ésima.

7. Establecer la jerarquía de las preferencias

Simplemente se ordenarán en sentido decreciente las alternativas, comenzando con aquellas que más se aproxime a la solución ideal R_i (mayor proximidad relativa).

Optimización multi-objetivo por análisis de radio

El método Optimización multi-objetivo por análisis de radio proporción (MOORA, por sus siglas en inglés) fue introducido por primera vez en el 2006 por Brauers y Zavadskas. La idea básica de este procedimiento es calcular el rendimiento global de cada alternativa como la diferencia entre las sumas de sus rendimientos normalizados que pertenecen a los criterios de costo y beneficio. Antes de iniciar, es importante tener bien definidos todos los atributos y considerar que todos estos deben ser mensurables, es decir, que puedan ser medidos o valorados con respecto a cada una de las alternativas. A continuación, se describirá detalladamente el procedimiento para la implementación de dicho método (Pérez Domínguez, Alvarado Iniesta, Rodríguez Borbón, Villegas, & Osslan, 2015).

1. Planteamiento de MDF.

El método comienza con la identificación de alternativas y criterios disponibles. Luego, se

construye la matriz de toma de decisiones, que contiene n filas que representan las alternativas A_1, \dots, A_n en la evaluación, y $J+L$ las columnas que representan los criterios bajo evaluación (J criterios cuantitativos y L criterios cualitativos). De esta forma, la matriz de decisión final (MDF) se calcula usando la ecuación (8).

$$MDF = [VO, VST] = \begin{matrix} A^1 & \begin{bmatrix} x_1^1 & \dots & x_j^1 & x_{j+1}^1 & \dots & x_{j+L}^1 \end{bmatrix} \\ A^2 & \begin{bmatrix} x_1^2 & \dots & x_j^2 & x_{j+1}^2 & \dots & x_{j+L}^2 \end{bmatrix} \\ \vdots & \begin{bmatrix} \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \\ A^n & \begin{bmatrix} x_1^n & \dots & x_j^n & x_{j+1}^n & \dots & x_{j+L}^n \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (8)$$

Dónde A_i representan las alternativas, para $i=1 \dots n$, y x_j^i representa las entradas de la alternativa i con respecto al criterio j .

2. Calcular la matriz de decisión normalizada.

Es factible que los criterios de calificación se expresen en diversas unidades o escalas de medida; por lo que, la normalización se lleva a cabo. Donde la norma euclidiana se obtiene de acuerdo con la ecuación (9) al criterio x_j .

$$|X_j| = \sqrt{\sum_1^n x_i^2} \quad (9)$$

Por lo tanto, la normalización de cada entrada en el MDF se lleva a cabo de acuerdo con la ecuación (10).

$$Nx_{ij} = \frac{x_{ij}}{|X_j|} \quad (10)$$

Los resultados obtenidos usando ecuación (10) son valores adimensionales que carecen de escala, lo que permite que las operaciones entre los criterios sean aditivas.

3. Calcular la matriz de decisión normalizada ponderada.

Teniendo en cuenta la diferente importancia

de los criterios, las calificaciones ponderadas normalizadas WNx_{ij} se calculan con la ecuación (11).

$$WNx_{ij} = w_i \cdot Nx_{ij} \quad (11)$$

4. Calculo de la contribución de cada alternativa.

La contribución de cada alternativa se obtiene usando la ecuación (12).

$$Ny_i = \sum_{i=1}^g Nx_i - \sum_{j=g+1}^m Nx_j \quad (12)$$

Resultados y discusión

Aplicación y Comparación del Método TOPSIS y MOORA

A continuación, en las Tablas 1 y 2 se reflejarán los resultados obtenidos de ambos métodos en donde se realizarán las comparaciones de dichos. De igual manera del software que se utilizó para llevar a cabo el trabajo. El programa MOLDEX3D es el que se utilizó para realizar la experimentación de la simulación y verificar los resultados. En la simulación se utilizó un engrane como pieza de moldeo, cuyo material a inyectar fue polipropileno (PP P-20TC-1156), como se muestra en la figura 1, que es uno de los polímeros más comunes para este tipo de procesos.

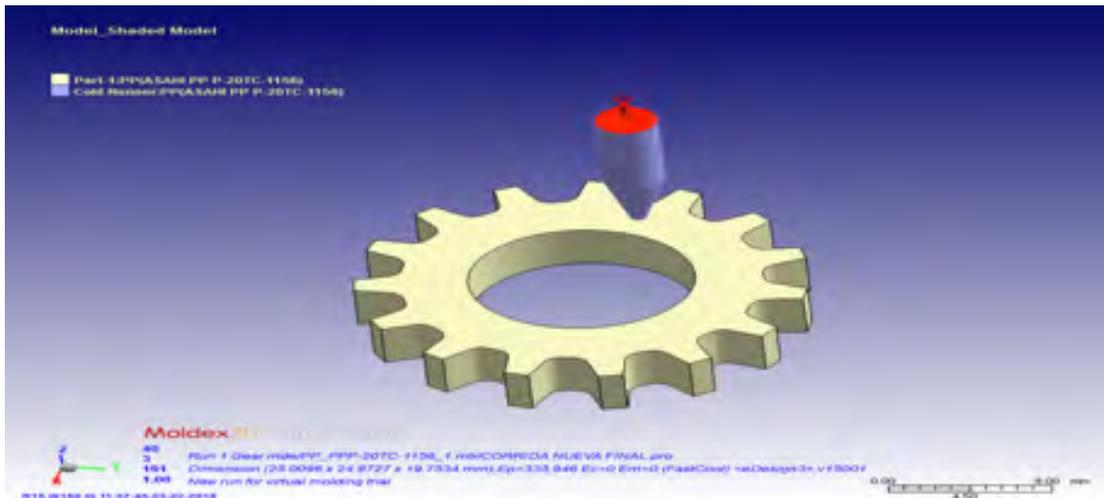


Figura 1. Engrane de Polipropileno.

Tabla 1. Valores Óptimos del Método TOPSIS

TOPSIS					
Temperatura de Fusión (°C)	Temperatura de Molde (°C)	Tiempo de Enfriamiento (Sec)	Tiempo de Llenado (Sec)	Presión de Inyección (Mpa)	Presión de Empacado (Mpa)
200	75	16	0.5	160	160
SIMULACIONES	DEFORMACION (mm)	CONTRACCION (%)	TRAMPAS DE AIRE (#)	LINEAS DE SOLDADURA (#)	ALTO CIZALLAMIENTO (%)
Simulación Optima	0.095	3.270	40	113	0.251
Best Melt Temperature	0.647	15.928	37	85	0.039
Best Mold Temperature	0.701	17.062	39	72	0.001
Best Cooling Time	0.693	17.058	39	78	0.018
Best Filling Time	0.679	17.171	40	131	0.147
Best Injection Pressure	0.693	17.084	39	139	0.022
Best Packing Pressure	0.693	17.084	39	139	0.022

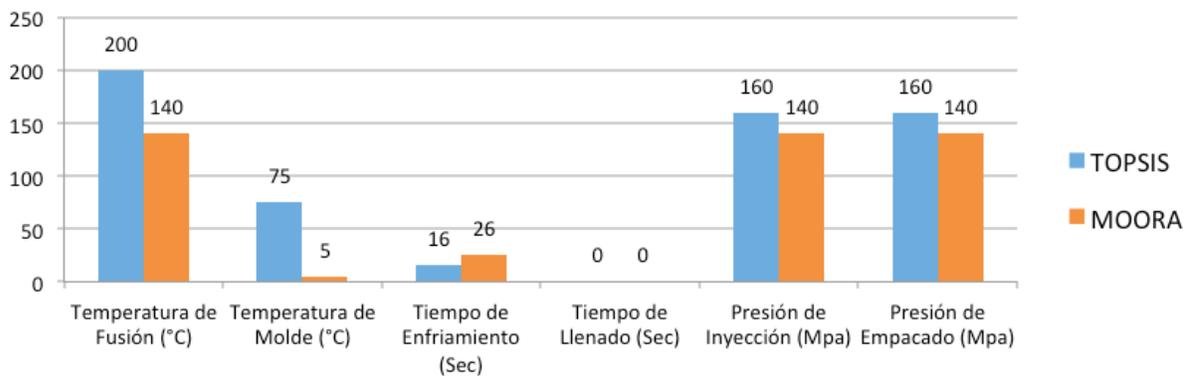
Tabla 2. Valores Óptimos del Método MOORA

TOPSIS					
MELT TEMP °C	MOLD TEMP °C	COLLING TIME (SEC)	FILLING TIME (SEC)	INJECTION PRESSURE (MPa)	PACKING PRESURE (Mpa)
140	5	26	0.5	140	140
SIMULACIONES	DEFORMACION (mm)	CONTRACCION (%)	TRAMPAS DE AIRE (#)	LINEAS DE SOLDADURA (#)	ALTO CIZALLAMIENTO (%)
Simulación Óptima	0.092	2.867	38	138	4.704
Best Melt Temperature	0.502	12.052	41	127	1.108
Best Mold Temperature	0.686	17.085	40	131	0.364
Best Cooling Time	0.693	17.084	39	139	0.022
Best Filling Time	0.679	17.171	40	131	0.147
Best Injection Pressure	0.693	17.084	39	139	0.022
Best Packing Pressure	0.693	17.084	39	139	0.022

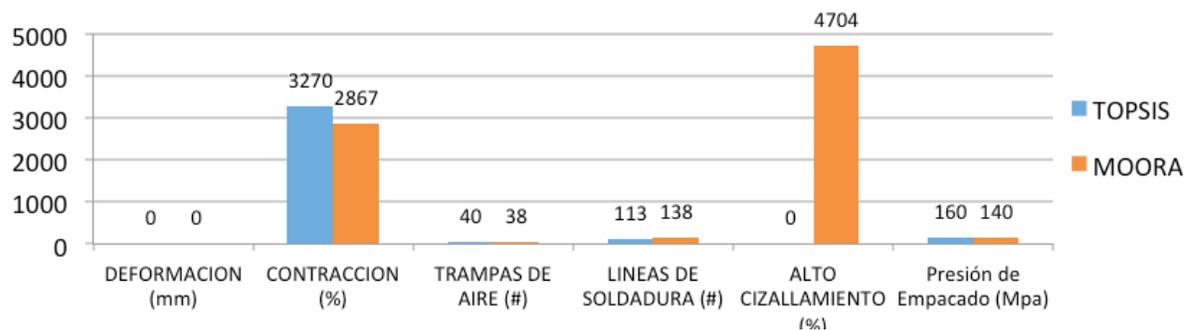
En la Tabla 1 se muestran los valores más óptimos del método TOPSIS, de igual manera en la tabla 2 se muestran los valores más óptimos con el método MOORA.

El trabajo presentado es la comparación de dos trabajos de investigación de la optimización de un proceso de inyección de plástico utilizando

dos métodos, el método TOPSIS y el método MOORA, los valores que arrojo cada método son diferentes, cada método tomo sus valores óptimos de cada uno de sus parámetros, en la gráfica 2 se muestra como existe un poco de diferencia entre los dos métodos.



Gráfica 2. Comparación de los métodos TOPSIS vs MOORA de los valores Óptimos.



Gráfica 3. Comparación de defectos TOPSIS vs MOORA

La gráfica 3 nos muestra la comparación de los principales defectos que nos arrojaron las simulaciones realizadas utilizando los valores óptimos que se obtuvieron de la implementación de los métodos antes dicho

Conclusiones y recomendaciones

El presente trabajo documenta la comparación de los métodos TOPSIS y MOORA. Este sentido, los resultados arrojados por ambos indican que existe diferencia en los aspectos que se manejan de los diferentes parámetros involucrados en el estudio realizado. Así, por ejemplo, el método de TOPSIS indica que los valores óptimos que se obtuvieron con el Ranking proyectan un valor más elevado que el método MOORA. Por consiguiente, los valores en la simulación final cambian prácticamente, en ambos métodos en el defecto de la deformación y de la contracción, (Warpage y Shrinkage). Sucesivamente, se registra un cambio muy notorio en ambos métodos en relación a la contracción de un 15% a 18% dado que los resultados que inicialmente nos arroja base redujo al 3.270% y 2.867% respectivamente. Tal como, se muestra en la figura 3 para cada uno de los valores obtenidos. Se recomienda en el futuro, realizar más experimentaciones con otros métodos para evaluar la consistencia en el cambio de la jerarquía de cada parámetro evaluado.

Referencias

- Bodini, Gianni, CACCHI, Pesan Franco. *Moldes y Maquinas de inyección para la transformación de plásticos*. 2nd. Ed. Italia, Editorial McGraw-Hill, 1987. 435p.
- C. H. Coombs, "On the use of inconsistency of preferences in psychological measurement," *Journal of Experimental Psychology*, vol. 55, pp. 1-7, 1958.
- C. L. Hwang and K. Yoon, "Multiple Attribute Decision Methods and Applications", Springer, Berlin Heidelberg ed 1982.
- Ceballos, Blanca; Lamata, María Teresa; Pelta, David; Sanchez J. Miguel; (2013) "El método TOPSIS Relativo Vs. Absoluto " *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, PP. 181-192
- H. T. Lin and W. L. Chang, "Order selection and pricing methods using flexible quantity and fuzzy approach for buyer evaluation," *European Journal of Operational Research*, vol. 187, no. 2, pp. 415-428, June 2008.
- H. S. Byun and K. H. Lee, "A decision support system for the selection of a rapid prototyping process using the modified TOPSIS method," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 26, pp. 1338-1347, 2005.
- J. M. Benitez, J. C. Martin, and C. Roman, "Using fuzzy number for measuring quality of service in the hotel industry," *Tourism Management*, vol. 28, no. 2, pp. 544-555, Apr. 2007.
- Majid Behzadian, S. Khanmohammadi Otaghsara, Morteza Yazdani, Joshua Ignatius. (2012) "A state-of the-art survey of TOPSIS applications" consultada por internet, Agosto 2017. Direccion de internet [http:// www.elsevier.com/locate/es](http://www.elsevier.com/locate/es).
- Matarrese, P., Fontana, A., Sorlini, M., Diviani, L., Specht, I., & Maggi, A. (2017). Estimating energy consumption of injection moulding for environmental-driven mould. *Journal of Cleaner Production*.
- M. Zeleny, "Compromise programming," in *Multi criteria decision making*. J.-L. Cochrane and M. Zeleny, Eds. Columbia: University of South Carolina. USA, 1973, pp. 262-301.
- M. Saremi, S. F. Mousavi, and A. Sanayei, "TQM consultant selection in SMEs with TOPSIS under fuzzy environment," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 2, Part 2, pp. 2742-2749, Mar. 2009.
- Pérez Domínguez, L., Alvarado Iniesta, A., Rodríguez Borbón, I., Villegas, V., & Osslan. (2015). Intuitionistic fuzzy MOORA for supplier selection. *DYNA*.
- P. L. Yu, "A class of solutions for group decision problems," *Management science*, vol. 19, no. 8, pp. 936-946, 1973.
- Satoshi, K., & Shinji, N. (2014). Multi-objective optimization of volume shrinkage and

- clamping force for plastic injection molding via sequential approximate optimization. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 35-44.
- Sellés Cantó, M. Á., Pérez Bernabeu, E., Sánchez Caballero, S., & Peydró Rasero, M. Á. (2012). *Utilización de la Optimización Multicriterio y Redes Neuronales como Métodos Para La Mejora de la Calidad de las Piezas Obtenidas por Moldeo por Inyección de Termoplásticos*. 3C Tecnología.
- S. Barba-Romero and J. Pomerol, *Decisiones Multicriterio, Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica* Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá, 1997.
- S. Milani, A. Shanian, R. Madoliat, and J. A. Nemes, "The effect of normalization norms in multiple attribute decision making models: a case study in gear material selection," *Industrial Applications*, vol. 29, p. -312, 2005.
- Villanueva Ponce, Rodrigo; García Alcaraz, Jorge Luis (2013) "Evaluación de Tecnología utilizando TOPSIS en Presencia de Multicolinealidad en Atributos: ¿Por qué usar distancia de Mahalanobis?" *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, núm. 67, abril-junio, 2013, pp. 31-42
- Xuan-Phuong, D. (2014). General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15-27.