

# ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COSTO OPERACIONAL DEL MECANIZADO DE UNA PIEZA MEDIANTE ESTRATEGIAS 3 EJES CONTRA 3 + 2 EJES

Ferney Alexis Giraldo Castrillón<sup>1</sup>, Miyer Jaiver Valdés Ortiz<sup>2</sup>, Ubaldo García Zaragoza<sup>3</sup>, Julian Mora Orozco<sup>4</sup>, Juan Gonzalo Ardila Marín<sup>5</sup>

1. Ingeniero Mecánico, MSc (c). Experto en Manufactura en XmartPLM. Docente Cátedra. Facultad de Ingenierías. Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín. Colombia. E-Mail: [ferney.giraldo@xmartplm.com](mailto:ferney.giraldo@xmartplm.com)

2. Ingeniero Electromecánico, MSc (c). Técnico Especializado en Laboratorio de Simulación, Modelamiento y Prototipos. Docente Cátedra. Facultad de Ingenierías. Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín. Colombia. E-Mail: [miyervaldes@im.edu.co](mailto:miyervaldes@im.edu.co)

3. Ingeniero Mecánico, MSc. Gerente de Innovación en XmartPLM. XmartPLM. Bogotá. Colombia. E-Mail: [ubaldo.garcia@xmartplm.com](mailto:ubaldo.garcia@xmartplm.com)

4. Ingeniero Mecánico, MSc. Gerente General en XmartPLM. Docente Cátedra. Universidad EAFIT. Medellín. Colombia. E-Mail: [jmoraor@eafit.edu.co](mailto:jmoraor@eafit.edu.co)

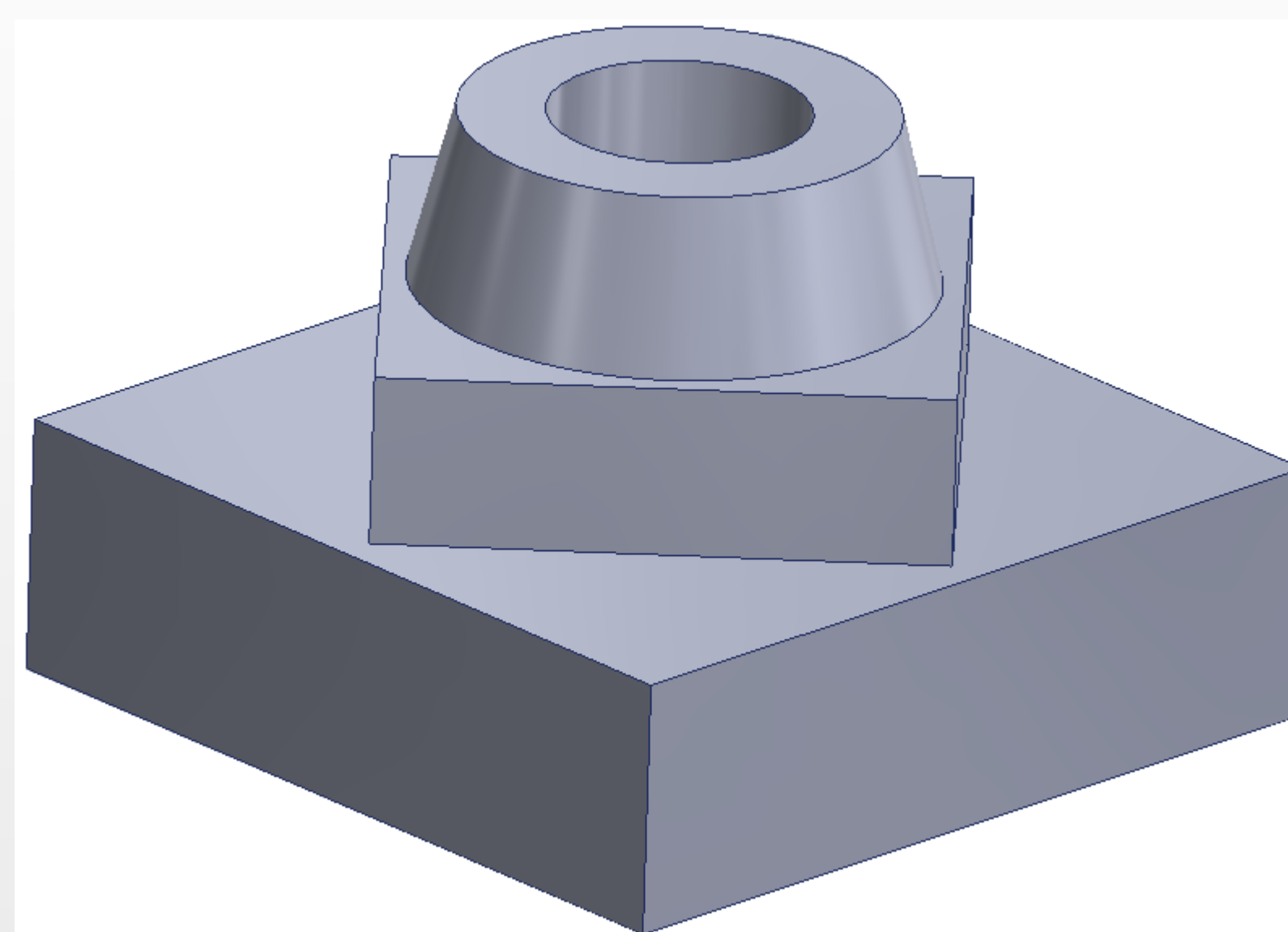
5. Ingeniero Mecánico, MSc. Docente Líder en Laboratorio de Simulación, Modelamiento y Prototipos. Docente Tiempo Completo. Facultad de Ingenierías. Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín. Colombia. E-Mail: [juanardila@im.edu.co](mailto:juanardila@im.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

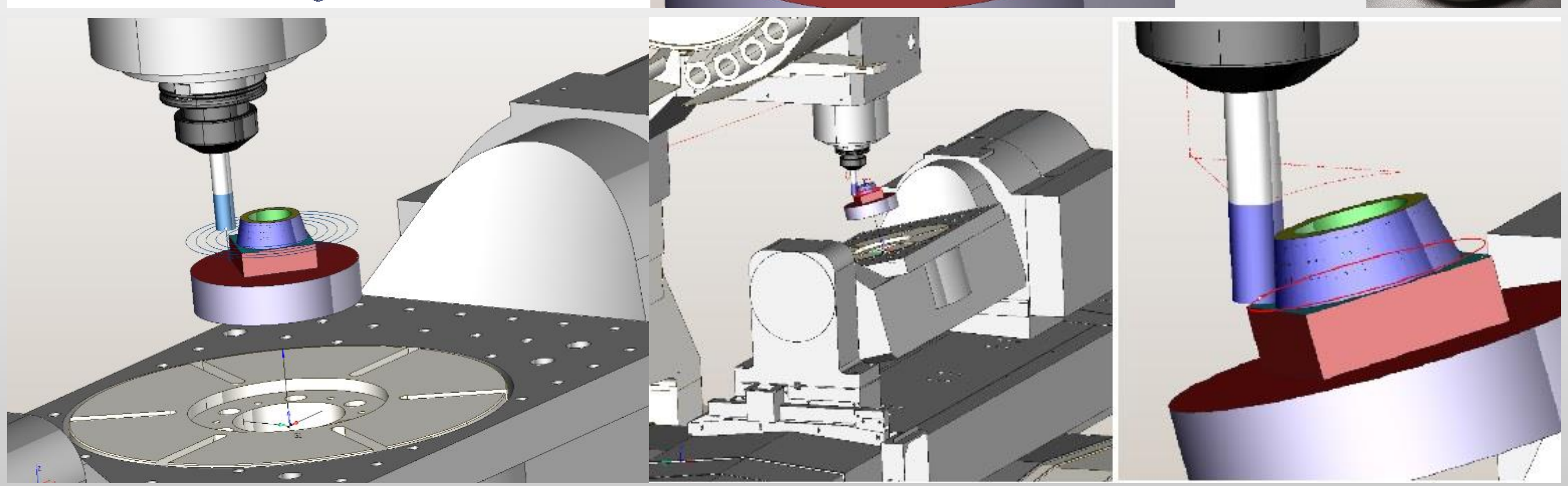
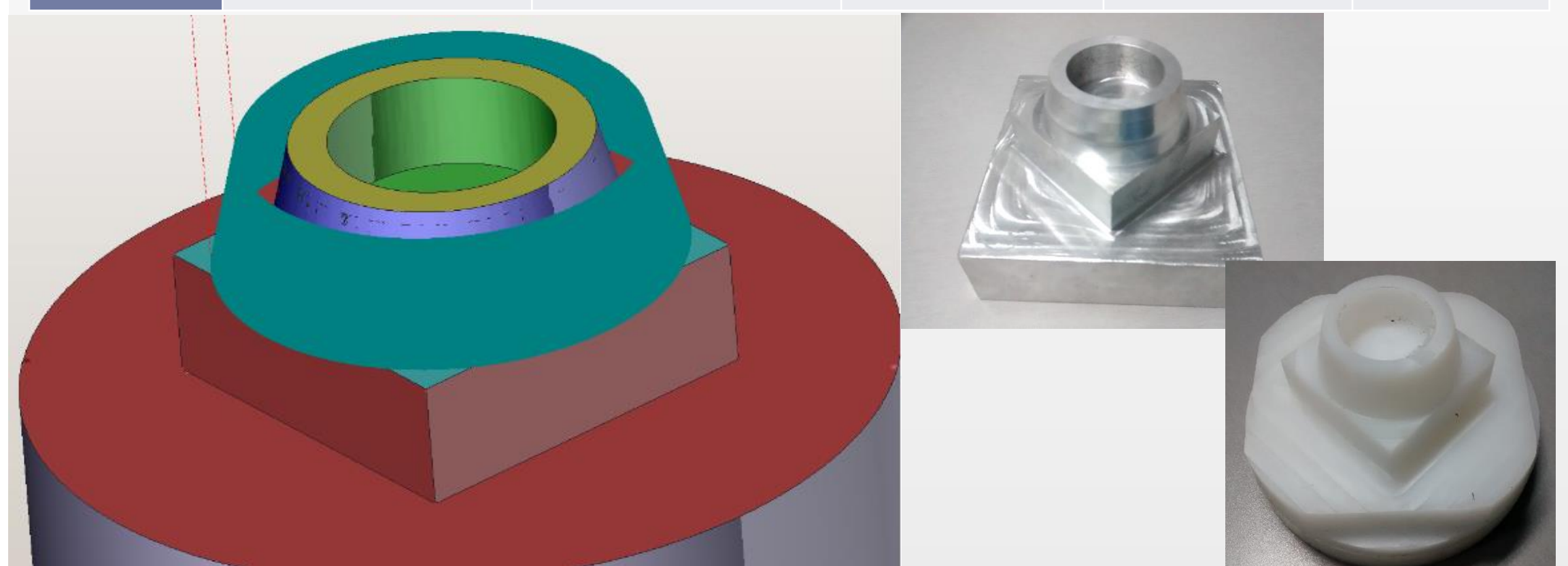
El fresado con múltiples ejes permite la manufactura de piezas con restricciones geométricas o superficies de formas libres, para lo cual son útiles las orientaciones multieje, en 2016, Ozkirimli, y otros, propusieron un método de evaluación de la estabilidad del fresado para casos complejos de múltiples ejes con herramientas especiales (Ozkirimli, Tunc, & Budak, 2016). Liang, y otros, también en 2016, mostraron que se pueden resolver regiones complejas en el fresado multieje con la precisión esperada (Liang, Zhang, & Ren, 2016). En 2017, Zhou, y otros, utilizaron un método de optimización multiobjetivo para obtener rugosidad mínima de la superficie y máxima compresión residual optimizando el ángulo de inclinación, la velocidad de corte y el avance, lo probaron en el mecanizado multieje (Zhou, Ren, & Yao, 2017). Este mismo año, Liu, y otros, probaron que el error de perpendicularidad para las máquinas herramientas multieje necesita una compensación de dos tipos (Liu, Zhang, & Wang, 2017). En 2018, Xiang, y otros, proponen un método para analizar y compensar errores geométricos en una rectificadora CNC de seis ejes (Xiang, Li, Deng, & Yang, 2018). Este mismo año, Luo, y otros, predijeron la vida útil de la herramienta en el proceso de fresado multieje (Luo, Luo, Zhang, & Tang, 2018). En resumen, muchas investigaciones se han llevado a cabo sobre los parámetros de mecanizado y la programación y control de las máquinas herramientas de ejes múltiples, mostrando la importancia que han venido tomando en el ámbito científico. Por lo tanto, el presente estudio muestra el mejoramiento en los costos operativos, básicamente en el tiempo de manufactura, que pueden aplicar las empresas que implementen procesos de mecanizado multieje; a continuación, se reporta la metodología y los resultados obtenidos.

## DESARROLLO

La industria manufacturera emplea los procesos de mecanizado en su producción y requiere la reducción de sus costos operativos, el mecanizado con 5 ejes se ha convertido en una valiosa herramienta para alcanzar este fin, pero el desconocimiento de las estrategias multiejes no ha permitido su aprovechamiento en la industria local. El presente estudio genera una propuesta de mejoramiento aplicable en las empresas que disponen de estos equipos; constó de dos pruebas, en la primera se fabricó una pieza usando una estrategia 3 ejes, mientras la segunda se realizó con 3 + 2 ejes; luego se compararon los tiempos requeridos para alcanzar el mismo acabado con cada estrategia. Se concluyó que, en un porcentaje muy alto, el mecanizado con estrategia 3 + 2 es más eficaz que el mecanizado con solo 3 ejes, esto traería grandes beneficios para la industria local gracias a la disminución de costos en mano de obra dedicada a hacer montajes y desmontajes que se vuelven innecesarios.



Material	Operación	Velocidad del husillo (RPM)	Velocidad de avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Paso de corte (mm)
Aluminio 7075	Desbaste	6500	1300	16	8
	Acabado	10 000	800	0.01	-
Nylon	Desbaste	7000	4500	16	8
	Acabado	7300	3500	0.01	-



## CONCLUSIONES

Se comparó el mecanizado de la misma pieza siguiendo estrategias diferentes, una de 3 ejes tal como se haría en un taller con centros de mecanizado convencionales, la otra fue una estrategia de 3 + 2 ejes que requiere el uso de máquinas multiejes; se midieron los tiempos de mecanizado en la simulación del software CAM y en la realidad y se evidenciaron diferencias muy grandes si pretende alcanzarse la misma calidad superficial.

El mecanizado con estrategia 3 + 2 es más eficaz que el mecanizado con solo 3 ejes en un porcentaje muy alto, esto puede representar grandes beneficios para la industria local asociados a la disminución de costos en tiempo de mecanizado y en mano de obra dedicada a hacer montajes y desmontajes que se vuelven innecesarios.

## REFERENCIAS

- Liang, Y., Zhang, D., & Ren, J. (2016). Accessible regions of tool orientations in multi-axis milling of blisks with a ball-end mill. *Int J Adv Manuf Technol*, 1887–1900.
- Liu, Y., Zhang, H., & Wang, X. (2017). Analysis on Influence of Perpendicularity Error of Five Axis NC Machine Tool Error Modeling Accuracy and Complexity. *Procedia Engineering*, 557-565.
- Luo, M., Luo, H., Zhang, D., & Tang, K. (2018). Improving tool life in multi-axis milling of Ni-based superalloy with ball-end cutter based on the active cutting edge shift strategy. *Journal of Materials Processing Technology*, 105-115.
- Ozkirimli, O., Tunc, L., & Budak, E. (2016). Generalized model for dynamics and stability of multi-axis milling with complex tool geometries. *Journal of Materials Processing Technology*, 446-458.
- Xiang, S., Li, H., Deng, M., & Yang, J. (2018). Geometric error analysis and compensation for multi-axis spiral bevel gears milling machine. *Mechanism and Machine Theory*, 59-74.
- Zhou, J., Ren, J., & Yao, C. (2017). Multi-objective optimization of multi-axis ball-end milling Inconel 718 via grey relational analysis coupled with RBF neural network and PSO algorithm. *Measurement*, 271-285.