

Estudio de la influencia del avance y la velocidad de corte en la temperatura durante el torneado de acabado en seco del acero al AISI 1045

Study of the influence of feed and cutting speed on temperature during dry finish turning of AISI 1045 steel

Luis Wilfredo Hernández-González^{1,*}, Ana María Quesada-Estrada², Dagnier Antonio Curra-Sosa¹, Luminita Dumitrescu²

¹ Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín. Campus “Oscar Lucero Moya”, Avenida XX Aniversario s/n, Piedra Blanca. Holguín, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Holguín, Holguín, Cuba

*Autor de correspondencia: wilfredo@uho.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 15 agosto 2021 **Aceptado:** 31 agosto 2021 **Publicado:** 2 de septiembre 2021

Resumen

El maquinado es un importante proceso de manufactura que debe satisfacer los severos requerimientos de la producción, que incluyen entre otros: el aumento de la productividad y de la calidad superficial, un mínimo consumo de energía y cumplimiento de las normas ecológicas, todos al menor costo posible. En la literatura científica, existen varias investigaciones en el torneado de aceros de medio contenido de carbono; sin embargo, no existen de estudios correlativos que determinen los parámetros de corte más adecuados, teniendo en cuenta la temperatura de corte. Por ello, este trabajo estuvo encaminado a determinar la velocidad de corte y el avance durante la operación de torneado de acabado en seco del acero AISI 1045 con insertos de metal duro recubierto GC1125, que garantice valores mínimos de temperatura de corte. Para cumplir este objetivo, fueron caracterizados el material de las probetas, la máquina herramienta y la herramienta de corte. Además, se muestra el diseño y montaje experimental. La temperatura fue medida utilizando un termómetro infrarrojo; fue realizado el análisis estadístico y determinados los modelos de regresión lineal múltiple, a partir de los cuales se construyeron los gráficos de superficie de respuesta y de contorno, los cuales permitieron determinar que, para un mínimo valor de temperatura de la zona de corte, los parámetros recomendados son el valor intermedio de avance y la mayor velocidad de corte.

Palabras clave: torneado, acero al carbono, temperatura de la zona de corte

Abstract

Machining is an important manufacturing process due to its precision, high processing speed, and its applicability in a wide spectrum of materials. Nowadays, machining must fulfill the severe requirements of production, which include among others: increase of productivity, superficial quality, ecological and energy consumption standards, all to the smaller possible cost. In scientific literature, there are some investigations in turning of medium carbon content steel; however, there are no studies, which determine the most suitable cutting parameters, considering the cutting temperature and surface roughness. Therefore, this work aims to determine the most suitable cutting speed and feed rate, in dry finish turning of AISI 1045 steel with GC1125 coated carbide insert, from cutting temperature and surface roughness. For this, the scientific observation, experimental and

measurement methods were used. The material of samples was characterized in terms of: chemical composition, heat treatment and hardness, as well as the machine tool and the cutting tool used. In addition, the setup and experimental design are shown. The temperature of cutting area was measured using an infrared thermometer, while a standard sample was used to determine the surface roughness. Statistical analysis was performed and, the models of multiple linear regression were determined, from which the graphs of contour and response surface were made, which allowed determining the feed rate and cutting speed for the given processing conditions.

Keywords: turning, carbon steel, cutting zone temperature

1. Introducción

El mecanizado es un proceso de fabricación en el que se utiliza una herramienta de corte afilada para cortar el material y dejar la forma de la pieza deseada. La acción de corte predominante en el mecanizado implica la deformación por cizallamiento del material de trabajo para formar la viruta; a medida que se retira la viruta, se expone una nueva superficie. El mecanizado se aplica con mayor frecuencia para dar forma a los metales y es uno de los procesos de fabricación más importantes. La Revolución industrial y el crecimiento de las economías del mundo basadas en la fabricación se pueden rastrear en gran medida al desarrollo de las diversas operaciones de mecanizado. Este es importante comercial y tecnológicamente por varias razones: variedad de materiales de trabajo, variedad de formas de piezas y características geométricas, precisión dimensional, buenos acabados superficiales.

El mecanizado generalmente se realiza después de otros procesos de fabricación, tales como fundición o deformación en masa (por ejemplo, forja, dibujo de barra). Estos otros procesos crean la forma general la pieza inicial, y el mecanizado proporciona la geometría final, las dimensiones y el acabado [1]. El torneado es la operación de mecanizado más común llevada a cabo en cualquier taller mecánico, por lo tanto, el conocimiento de cómo mejorar esto es beneficioso en una amplia variedad de aplicaciones prácticas [2].

Las industrias de fabricación se esfuerzan por lograr en el proceso de maquinado un costo mínimo de producción o un máximo valor de producción, o la combinación óptima entre los dos enfoques, junto con la mejor calidad del producto. La selección apropiada del material de la pieza en bruto, de la herramienta de corte, de la máquina herramienta, de los fluidos de corte, de las condiciones de maquinado y el orden adecuado de las operaciones tecnológicas, son factores claves para el logro de estos objetivos.

Para una herramienta de corte y un material de pieza dados, se proporciona una gama de posibles parámetros de corte. Los parámetros de la herramienta de corte se seleccionan tradicionalmente de acuerdo con los manuales y los catálogos de datos de la herramienta de corte. El operario selecciona los parámetros dentro de los rangos usando prácticas de taller bien conocidas. De acuerdo con el objetivo final del proceso de mecanizado, el operario selecciona la mejor combinación de parámetros de herramienta de corte [3].

La temperatura de corte es una importante variable de salida durante el corte de metales. La temperatura influye fundamentalmente en el desgaste de la herramienta de corte, aspecto que determina en gran medida la calidad de la superficie maquinada y el costo de fabricación. La revisión realizada muestra que existen varios estudios del torneado de aceros al carbono [4-14]. Sin embargo, no existen estudios experimentales en el que se determinen los valores más adecuados de velocidad de corte y de avance, que garanticen valores mínimos de temperatura de corte, durante la operación

de torneado en seco de un acero de contenido medio de carbono. Por tanto, la presente investigación tiene como objetivo determinar la velocidad de corte y el avance más adecuados, durante la operación de torneado de acabado en seco del acero al carbono AISI 1045 con insertos de metal duro recubierto GC1125 (P25).

2. Materiales y Métodos

2.1. Montaje experimental

A continuación, se describe el procedimiento experimental utilizado, que incluye la selección de la máquina herramienta, el material de la probeta, la herramienta de corte y las condiciones de corte. Para realizar el maquinado se seleccionó el torno universal modelo 16k20, perteneciente a la Fábrica de máquinas cosechadoras de caña KTP de Holguín. Las características más importantes se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características principales del torno universal

Características	Datos
Modelo	16k20
Altura de los centros sobre la bancada (mm)	215
Número de velocidades del husillo	16
Rango de velocidad del husillo (r/min)	12,5-1 600
Potencia del motor principal (kW)	13
Rango de avance longitudinal (mm/r)	0,05-2,8
Rango de avance transversal (mm/r)	0,025-1,4

La investigación consistió en el estudio experimental de la influencia del avance y la velocidad de corte en la temperatura durante la operación de torneado de acabado en seco del acero al carbono AISI 1045. La pieza se montó entre plato autocentrante y contrapunta (Figura 1).



Fig.1 Montaje experimental de la investigación

La profundidad de corte se mantuvo constante ($a = 0,5$ mm). En la Tabla 2 aparecen las variables estudiadas.

Tabla 2. Variables consideradas en la investigación

Variable	Tipo de variable	Medida
Temperatura de la herramienta	Dependiente	T (°C)
Velocidad de corte	Independiente	v (198; 248; 310) m/min
Avance	Independiente	f (0,1; 0,15; 0,175) mm/r

La selección de las probetas, herramientas de corte y el orden de los ensayos fueron realizados de forma aleatoria. Se realizaron dos réplicas. Se utilizó como material para las probetas el acero al carbono AISI-SAE 1045, obtenido por los procesos de fundición y laminado en caliente, con la cual se fabrica el árbol (ktp-1-12-635) del reductor de velocidad (KTP-1-12-140) de la máquina cosechadora de caña KTP-1. Es un acero que se toma como patrón típico crítico para la fabricación de elementos de máquinas, pues su composición es ferrito perlítica al 50%, con un porcentaje medio de carbono que para su grupo es el máximo, lo que favorece sus propiedades mecánicas, pero dificulta la maquinabilidad.

Es un acero termomejorable muy utilizado en la industria metalmecánica para fabricar diversos elementos de máquinas, como son: árboles y ejes, ruedas dentadas, elementos roscados, manivelas, cigüeñales, bielas, etc. Su equivalente según diferentes normas es: 45 según la Norma Cubana; F1140 (UNE, España); S45C (JIS, Japón); CK45 (DIN, Alemania); AISI 1045 (AISI/SAE, Estados Unidos de Norteamérica). Se seleccionó una cuchilla de cilindrar de ángulo de posición principal $\varphi = 90^\circ$, cuya plaquita es de metal duro recubierto GC1125 (HC)-P25 (P10-P30), recomendada para acabado de acero de bajo contenido en carbono. En la Figura 2, se muestra la plaquita montada en su vástago. Estos insertos son recomendados para los parámetros siguientes: $v = (280-255-225)$ m/min y $f = (0,1-0,2-0,3)$ mm/r (Sandvik-Coromant, 2012). La herramienta fue montada en un vástago de código DCLNR, cuyas dimensiones son (125 x 25 x 25) mm.

Para medir la temperatura de la zona de corte se utilizó la técnica de radiación, la medición de un punto, con un termómetro infrarrojo.

3. Resultados y Discusión

3.1. Temperatura en la zona de corte

En la Figura 2 se observa el efecto del avance en la temperatura de la zona de corte. Se aprecia, que el aumento del avance provocó una disminución de la temperatura, lo cual no se corresponde con lo que generalmente aceptado [15-17], pues con el aumento del avance, aumenta el volumen de metal a cortar y con ello, la resistencia del metal al corte, por lo que trae consigo un incremento de la temperatura en la zona de corte. Además, Hadi et al. [18], plantearon que el incremento del avance aumenta la temperatura de la herramienta. También, se debe tener en cuenta que el rango de avance analizado es pequeño. En dicha figura, se aprecia además el modelo de regresión de la temperatura en función del avance para un coeficiente de determinación $R^2 = 1$.

En la Figura 3 se observa el efecto de la velocidad de corte en la temperatura de la zona de corte. Se aprecia que el aumento de la velocidad produjo una pequeña disminución de la temperatura. Sin embargo, Quan et al. [19] aumentaron la velocidad desde el torneado convencional hasta el de alta velocidad y observaron que, el incremento de la velocidad aumentó la potencia de corte y el total de calor de corte. Coinciden también Faraz et al. [20] y Qasim et al. [10]. Según [10], bajas velocidades generan menor fricción y por lo tanto, se genera menor calor. Se aprecia, además, el modelo de regresión de la temperatura en función de la velocidad de corte para un coeficiente de determinación $R^2 = 0,99$.

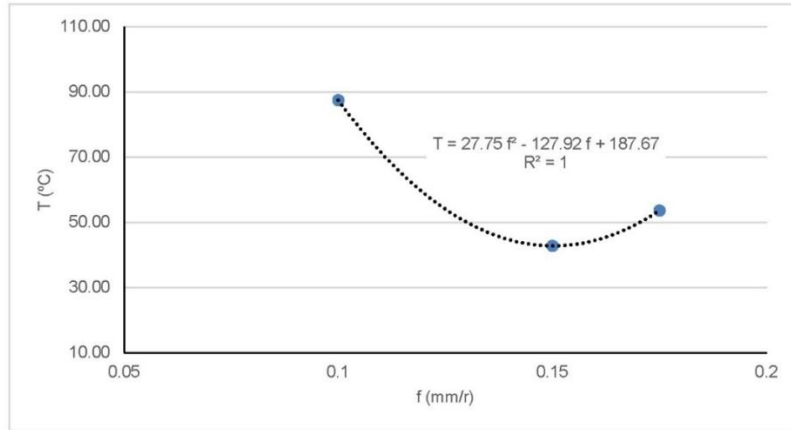


Fig.2 Efecto del avance en la temperatura de la zona de corte

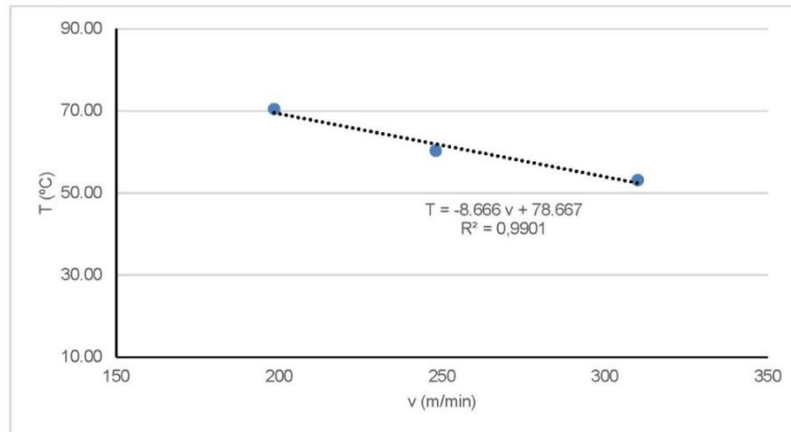


Fig.3 Efecto de la velocidad de corte en la temperatura de la zona de corte

Se calculan los datos de la respuesta de señal/ruido (S/R) utilizando un software apropiado. La respuesta más grande de S/R reflejaría la mejor respuesta, que da lugar al ruido más bajo para la temperatura. Éste es el criterio empleado en este estudio para determinar los mejores parámetros de corte. El diagrama de los efectos directos de las variables en la temperatura durante el torneado en seco del acero de AISI 1045 se muestra en la Figura 4. La pendiente de la línea indica que el efecto del avance es mayor comparado con la velocidad de corte. Además, los parámetros de corte para un mínimo valor de temperatura son: $f = 0,15 \text{ mm/r}$ and $v = 310,075 \text{ m/min}$.

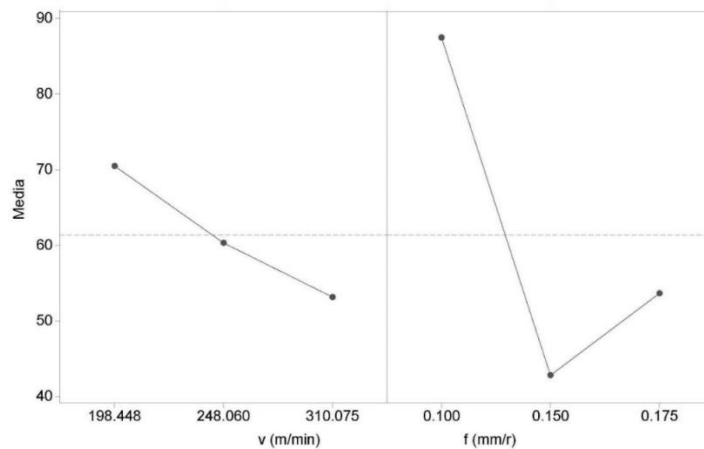


Fig.4 Efectos principales en la temperatura de la zona de corte

La tabla de respuesta (Tabla 3) fue determinada a partir de la gráfica de efectos principales (Figura 4). Según este análisis, el avance tuvo un mayor efecto en la temperatura.

Tabla 3. Respuesta para la media de la temperatura

Nivel	Velocidad de corte	Avance
1	70,5	87,5
2	60,33	42,83
3	53,16	53,66
Delta	17,34	33,84
Rango	2	1

Se obtuvo el modelo de regresión múltiple para describir la relación entre T y las dos variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$T = 1,212 v - 498 f - 0,0026 v^2 \quad (1)$$

El coeficiente de determinación (R^2) indica que el modelo así ajustado explica el 90,74% de la variabilidad en T. El coeficiente R^2 representa la bondad del ajuste. La tabla 4 muestra que el valor de p (probabilidad de F) es menor que 0,05, por lo que existe una relación estadísticamente significativa para el modelo, así como entre la temperatura y las variables independientes para un nivel de confianza del 95%.

Tabla 4. Análisis de varianza del modelo de regresión múltiple para la temperatura

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor p
Regresión	3	72 790	24 263,4	48,99	0,000
v	1	13 971	13 971,4	28,21	0,000
f	1	4 379	4 379,4	8,84	0,009
v^2	1	9 888	9 888,1	19,96	0,000
Error	15	7 430	495,3		
Falta de ajuste	6	4 835	805,8	2,79	0,081
Error puro	9	2 595	288,3		
Total	18	80 220			

Fue desarrollada la gráfica de contorno (Figura 5), para observar el efecto correlativo de la velocidad de corte y del avance en la temperatura de la zona de corte. Los menores valores de temperatura de corte ($T \leq 60^\circ\text{C}$) fue registrado para los parámetros siguientes: avance ($f > 0,13 \text{ mm/r}$), y todo el rango de velocidad de corte.

En la Figura 6 se muestra la gráfica de residuos. La gráfica normal de probabilidad (Figura 6 a) para la temperatura asegura la distribución bastante cercana a una línea recta que revelan que los residuos se han dispersado en la normalidad, confirmando que los términos relacionados con los modelos son significativos; también asegura una correlación perfecta entre los valores experimentales y los predichos. De la gráfica de residuos vs. observaciones (Figura 6 d), el patrón de la distribución de los residuos es arbitrario y no siguen ningún patrón cíclico con el número de observaciones.

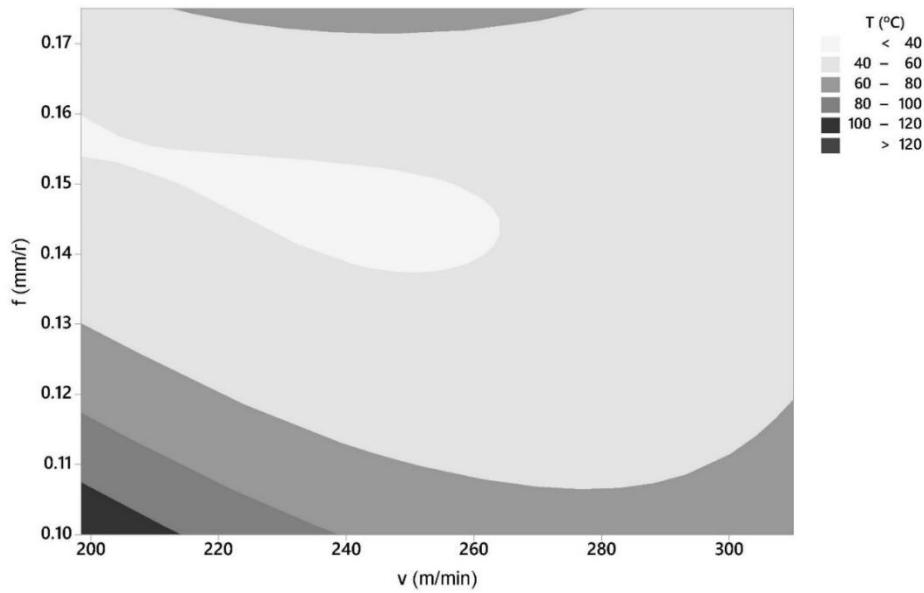


Fig.5 Gráfica de contorno para la temperatura de la zona de corte

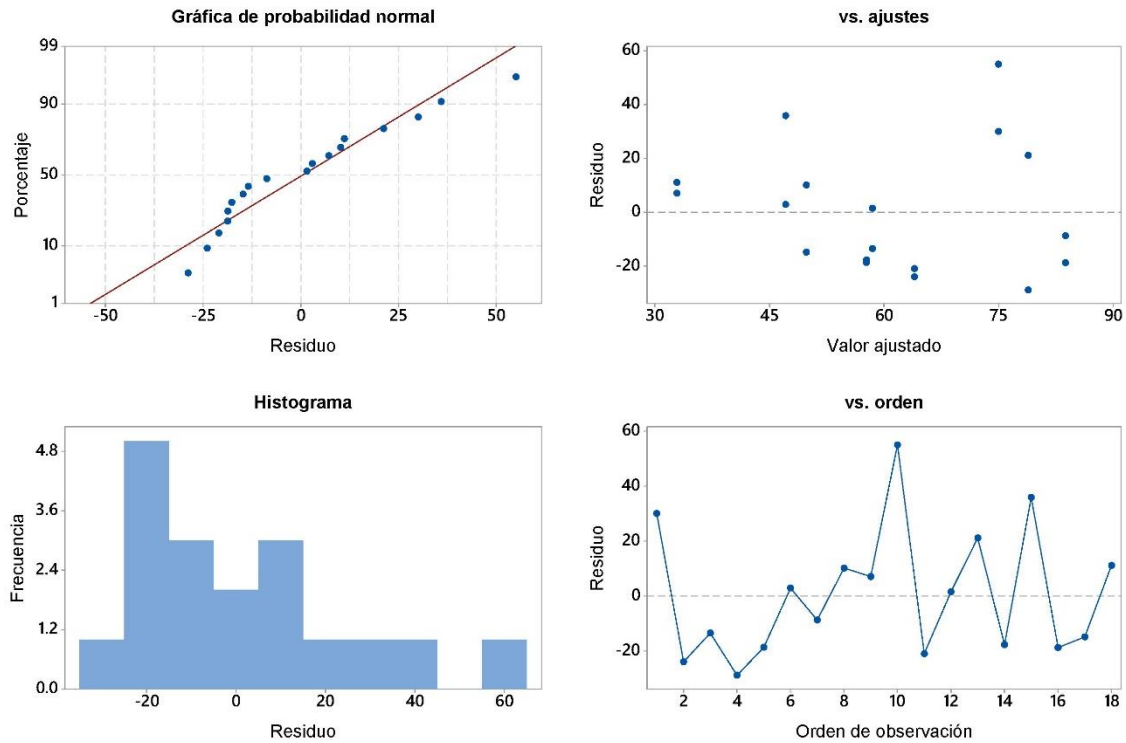


Fig.6 Residuos para la temperatura de la zona de corte

4. Conclusiones

Se realizó el estudio experimental para determinar la velocidad de corte y el avance más adecuados, durante la operación de torneado de acabado en seco del acero al carbono AISI 1045, con cuchillas de metal duro recubierto GC1125 (P10), a partir de la temperatura de la zona de corte. El aumento del avance y de la velocidad de corte provocaron una disminución de la temperatura, lo cual no se corresponde con lo que generalmente es aceptado, pues con el aumento del avance y de la velocidad, aumenta el volumen de metal a cortar y con ello la resistencia del metal al corte, lo que trae consigo

un incremento de la temperatura en la zona de corte. Los menores valores de temperatura de la zona de corte fueron registrados dentro del rango de (41-69)°C para la velocidad de corte $v \leq 295$ m/min, y todo el rango de avance.

Referencias

1. Groover, M., *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (Fifth ed.), 2013. NJ: John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-39367-3.
2. Astakhov V., Davim J., *Tools (Geometry and Material) and Tool Wear*. In: *Machining*, 2008. London: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-84800-213-5_2.
3. Abellan, J.V., Romero, F., Siller, H.R., Estruch, A., Vila, C., *Adaptive control optimization of cutting parameters for high quality machining operations based on neural networks and search algorithms*. In *Advances in Robotics, Automation and Control*, Aramburo, J., Ramirez-Trevino, A., IntechOpen, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5772/5539>.
4. Iqbal, S.A., Mativenga, P.T., Sheikh, M.A., *Contact length prediction: mathematical models and effect of friction schemes on FEM simulation for conventional to HSM of AISI 1045 steel*. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 2008. **3**(1-2): p. 18-33. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJMMM.2008.017622>
5. Diniz, A., Micaroni, R., Hassui, A., *Evaluating the effect of coolant pressure and flow rate on tool wear and tool life in the steel turning operation*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2010. **50**(9-12): p. 1125-1133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2570-1>.
6. Ozlu, E., Molinari, A., Budak, E., *Two-zone analytical contact model applied to orthogonal cutting*. *Machining Science and Technology*, 2010. **14**(3): p. 323-343. DOI: <https://doi.org/10.1080/10910344.2010.512794>.
7. Rajemi, M.F., Mativenga, P.T., Aramcharoen, A., *Sustainable machining: selection of optimum turning conditions based on minimum energy considerations*. *Journal of Cleaner Production*, 2010. **18**(10-11): p. 1059-1065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.01.025>.
8. Stachurski, W., Midera, S., Kruszyński, B., *Determination of mathematical formulae for the cutting force F_c during the turning of C45 steel*. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 2012. **16**(2): p.73-79.
9. Hernández, L.W., Pérez, R., Zambrano, P.C., Siller, H.R., Toscano, H., *Estudio del rendimiento del torneado de alta velocidad utilizando el coeficiente de dimensión volumétrica de la fuerza de corte resultante*. *Revista Metalurgia*, 2013. **49**(4). DOI: <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1226>.
10. Qasim, A., Nisar, S., Shah, A., Saeed, M., Sheikh, M., *Optimization of process parameters for machining of AISI-1045 steel using Taguchi design and ANOVA*. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2015. **59**: p. 36-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2015.08.004>.
11. Kant, G., *Prediction and optimization of machining parameters for minimizing surface roughness and power consumption during turning of AISI 1045 steel*, 2016. Tesis de Doctorado. Birla Institute of Technology & Science. Pilani, India.
12. Hernández, L.W., Ahmed, Y.S., Pérez, R., Zambrano, P.C., Guerrero., M.P., *Selection of machining parameters using a correlative study of cutting tool wear in high-speed turning of AISI 1045 steel*. *Journal of Manufacturing Material Processing*, 2018. **2**(66): p. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp2040066>.
13. Abbas, A., Benyahia, F., Rayes, M. E., Pruncu, C., Taha, M., Hegab, H., *Towards optimization of machining performance and sustainability aspects when turning AISI 1045 steel under different cooling and lubrication strategies*. *Materials*, 2019. **12**(3023): p. 2-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma12183023>.

14. Morales, Y., Zamora, Y., Barzaga, J., Morales, M., Freire, L., Carrasco, B., *Fluido de corte obtenido a base de aceite de Jatropha curcas. Investigación experimental durante el torneado del AISI 1045*. Revista Cubana de Ingeniería, 2020. **11**(3): p. 1-10.
15. Trent, E., Wright, P., *Metal cutting* (4th ed.), 2000. MA, USA: Butterworth–Heinemann.
16. Astakhov, V., *Cutting Tool Wear, Tool Life and Cutting Tool Physical Resource*. Tribology of Metal Cutting, 2006. **52**: p. 220-274. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8922\(06\)80006-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8922(06)80006-4).
17. Ghani, M., Abukhshim, N., Sheikh, M., *An investigation of heat partition and tool wear in hard turning of H13 tool steel with CBN cutting tools*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008. **39**(9-10): p. 874-888. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-007-1282-7>.
18. Hadi, H., Tajul, L., Zailani, Z.A., Hamzas, M.F., Hussin, M.S., *The parametric effect and optimization on JIS S45C steel turning*. International Journal of Engineering Science and Technology, 2011. **3**(5): p. 4479-4487.
19. Quan, Y., He, Z., Dou, Y., *Cutting heat dissipation in high-speed machining of carbon steel based on the calorimetric method*. Frontiers of Mechanical Engineering, 2008. **3**(2): p. 175-179. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11465-008-0022-5>.
20. Faraz, A., Mativenga, P., Sheikh, M., *An experimental and coupled thermo-mechanical finite element study of heat partition effects in machining*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010. **46**: p. 491-507. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2117-5>.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al Centro de Estudios CAD/CAM y al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín (Cuba), al Centro de Estudios de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas (CEEFREP) de la Universidad de Camagüey (Cuba) y a la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador por el apoyo brindado en esta investigación.

Conflicto de Intereses

No existe ningún conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Luis Wilfredo Hernández-González. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2181-1959>

Participó en la conceptualización de la investigación, curación de datos, investigación, metodología, redacción y edición.

Ana María Quesada-Estrada. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6131-6928>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, supervisión, curación de datos y metodología.

Dagnier Antonio Curra-Sosa. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5361-6536>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, curación de datos y metodología.

Luminita Dumitrescu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7350-9922>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, supervisión, curación de datos y metodología.