

## Fluido de corte obtenido a base de aceite de *Jatropha curcas*. Investigación experimental durante el torneado del AISI 1045

## Cutting fluid obtained from the oil of *Jatropha curcas*. Experimental investigation during the turning of AISI 1045

Yoandrys Morales-Tamayo<sup>1</sup>, Yusimit Zamora-Hernández<sup>2</sup>, Joao Barzaga-Quesada<sup>1</sup>, Marioxy Morales-Torres<sup>1</sup>, Luis Enrique Freire Loor<sup>3</sup>, Bryan Carrasco-Viteri<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Carrera de Ingeniería Electromecánica. Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. Av. Almendros y Pujilí La Maná. Cotopaxi, Ecuador.

<sup>2</sup>Carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito km. 1 1/2 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. Quevedo. Los Ríos, Ecuador.

<sup>3</sup>Taller Hermanos Freire. Av. Rocafuerte. Valencia. Los Ríos, Ecuador.

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Estadística. Ambato. Tungurahua, Ecuador.

\*Autor de correspondencia: [yoandrys.morales@utc.edu.ec](mailto:yoandrys.morales@utc.edu.ec)

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



**Recibido:** 6 julio 2020 **Aceptado:** 20 julio 2020 **Publicado:** 27 julio 2020

### Resumen

En el campo de la fabricación, la operación de torneado es una técnica de eliminación de material muy común. Los aceites de base *Jatropha* pueden ofrecer muchos beneficios sobre los obtenidos a base de petróleo, como mantener la viscosidad a altas temperaturas, mejor capacidad de carga, buena estabilidad al corte, mejores propiedades de lubricación y mayor punto de inflamación. El objetivo del trabajo es realizar una investigación experimental durante el torneado del AISI 1045 utilizando un fluido de corte elaborado a base de aceite de Piñón (*Jatropha curcas*). Los efectos de los parámetros de corte fueron determinados aplicando un análisis de varianza y de regresión múltiple. Los factores analizados (tiempo de maquinado y velocidad de corte) tuvieron un efecto significativo sobre el desgaste del flanco para un 95% de confianza. La utilización de la emulsión como fluido de corte brinda potencialidades para el mecanizado del acero AISI 1045 puesto que los valores medidos de desgaste del flanco corresponden a valores cercanos de otros autores donde utilizan fluidos de corte industriales.

**Palabras clave:** Acero AISI 1045, fluido natural, torneado, desgaste del flanco, regresión múltiple

### Abstract

In the manufacturing field, turning is a very common material removal technique. *Jatropha* base oils can offer many benefits over those obtained from petroleum, such as maintaining viscosity at high temperatures, better load capacity, good shear stability, better lubrication properties and a higher flash point. The purpose of the work is to carry out an experimental investigation during the turning of the AISI 1045 using a cutting fluid made from the oil of oil of *Jatropha curcas*. The effects of the cut-off parameters were determined using analysis of variance and multiple regression. The factors analyzed (machining time and cutting speed) turned out to have a significant effect on flank wear for 95% confidence. The use of the emulsion as a cutting fluid

offers potential for machining AISI 1045 steel since the measured flank wear values correspond to close values of other authors where they use industrial cutting fluids.

**Keywords:** AISI 1045 steel, natural fluid, turning, flank wear, multiple regression

## 1. Introducción

En el campo de fabricación, la operación de torneado es una técnica de eliminación de material muy común. Las investigaciones sobre este tema tienen en cuenta varios aspectos, tales como: características geométricas y metalúrgicas de la herramienta de corte, la influencia del material de la pieza en el proceso y los parámetros del proceso de corte [1]. La interacción de todos estos factores durante las operaciones de corte provoca una serie de fenómenos físicos, químicos y termomecánicos que influyen en el desgaste de la herramienta. El desgaste del flanco es uno de los tipos de desgaste de la herramienta más analizados actualmente en las investigaciones; por esta razón es importante en el proceso de torneado predecir el desgaste de la herramienta [2].

La evaluación directa del desgaste de la herramienta durante el proceso de corte representa un esfuerzo muy costoso y lento para las industrias, en tanto es importante proporcionar modelos capaces de predecir estos parámetros con precisión. Del mismo modo, los fluidos de corte han sido utilizados por mucho tiempo, esencialmente para disminuir la temperatura de la herramienta de corte y con ello su desgaste. Su utilización implica costes adicionales dentro de los costes totales de fabricación [3].

Son bien conocidos los efectos de los fluidos de corte en la salud del operario y en el medio ambiente, por lo que en las últimas décadas ha crecido el interés de encontrar alternativas para disminuir o atenuar estos inconvenientes. Entre las tecnologías fundamentales para mitigar los efectos de los fluidos de corte se encuentran, el corte en seco, el corte amortiguado o de mínima cantidad de fluido, la utilización de recintos con respiraderos alrededor de la operación de maquinado y el desarrollo de nuevas fórmulas de fluidos de corte [4]. Con este propósito, autores han desarrollado investigaciones, para la optimización de las condiciones de corte a través del Método Taguchi, dando como resultados que la velocidad de corte y el ángulo principal de corte juegan un papel incidente a bajas temperaturas de corte sobre las fuerzas de corte [1].

Existen numerosos estudios en la literatura relacionados con la introducción de técnicas avanzadas de aplicación y fabricación con compuestos biodegradables en los fluidos de corte con el objetivo de optimizar su rendimiento durante el mecanizado [4]. Las nuevas estrategias en las tecnologías para mejorar el rendimiento del mecanizado y lograr un entorno sostenible, son las siguientes: corte en seco, lubricación de cantidad mínima (MQL), la utilización de fluidos de base natural y la tecnología criogénica [5].

En relación al mecanizado en seco, se realizaron pruebas durante el corte ortogonal en seco del acero AISI 1045 con herramientas de carburo recubiertas de TiN [6]. Los autores proponen un mecanismo de formación denominado resistencia de contacto térmico (TCR) y demuestran que las fuerzas de corte, el espesor de la viruta y la longitud de contacto herramienta-viruta son insensibles a un TCR.

Dhage et al. [7] desarrollaron un análisis del mecanizado en seco del AISI 1045. Para ello realizaron un estudio experimental en el que las superficies de herramientas de corte de carburo sin recubrimiento se texturizan en diferentes niveles. Los resultados muestran que la asimetría, la curtosis y otros parámetros de textura en la superficie de ataque de la herramienta influyen significativamente en las fuerzas de mecanizado al alterar las condiciones de fricción en la interfaz de la herramienta-chip.

Otra de las alternativas para el mecanizado sostenible, es el método de lubricación de cantidad mínima. Nuñez et al. [8] realizaron un análisis de la influencia de la aplicación de la tecnología MQL en la vida de la herramienta de corte durante el corte del acero al carbono AISI 1018. Los resultados experimentales mostraron que el uso de MQL reduce significativamente el desgaste de la herramienta (aproximadamente un 40%) en comparación con el método de inundación.

Maruda et al. [9] presentaron el análisis del desgaste de herramientas de insertos de carburo cementado P25 en el acabado de torneado de acero al carbono AISI 1045 para diferentes condiciones de enfriamiento: corte en seco, cantidad mínima de lubricación por enfriamiento (MQCL) y MQCL con un aditivo a base de éster de fosfato. En la investigación se demostró que el desgaste de los insertos se reduce en aproximadamente un 40%, en comparación con el corte en seco y aproximadamente en un 25% en comparación con MQCL. Se demostró que la mejora fue a consecuencia de la formación de una película tribológica del éster de fosfato sobre la superficie de la herramienta de corte.

En años posteriores los mismos autores en otra investigación realizaron un estudio tribológico del torneado con la aplicación de varios métodos de lubricación/refrigeración MQCL. El método de MQCL garantizó menores valores de desgaste de la herramienta de corte sobre el método MQL en alrededor del 16% y en un 27% en comparación con el mecanizado en seco [10].

La utilización del mecanizado criogénico es otra de las alternativas actuales para mejorar el rendimiento del mecanizado. Dilip y Pradeep [11] investigaron el rendimiento y la influencia de dos refrigerantes criogénicos, el CO<sub>2</sub> y el LN<sub>2</sub> (nitrógeno líquido) en la temperatura de corte, la fuerza de corte, el desgaste de la herramienta, el acabado de la superficie y la morfología de la viruta en el mecanizado de acero AISI 1045, en comparación al mecanizado en húmedo. Los resultados demostraron que la aplicación de refrigerantes criogénicos redujo drásticamente la temperatura de corte, lo que resultó en una mejora apreciable en el acabado de la superficie del producto y un menor desgaste de la herramienta. El uso de LN<sub>2</sub> criogénico redujo la temperatura de corte entre un 3 y un 17% en comparación con el refrigerante de CO<sub>2</sub>.

En otra de las investigaciones de Dilip [12], se analizó también el CO<sub>2</sub> como refrigerante criogénico en su investigación para disminuir la temperatura de corte y así contribuir a la disminución de las tensiones residuales en la pieza torneada de AISI 1045. Se realizó una comparación de la efectividad durante el torneado en seco y húmedo con respecto a la temperatura de corte, las fuerzas de corte, la eliminación de virutas y la rugosidad de la superficie. Los resultados experimentales mostraron que la aplicación de CO<sub>2</sub> criogénico como fluido de corte es eficiente para la operación de torneado, ya que reduce la temperatura de corte entre un 5 y 22% en comparación con el mecanizado convencional.

El uso de materias primas renovables como el aceite de palma, aceite de canola, aceite de coco, aceite de girasol, *Jatropha curcas*, entre otros, para producir nuevos fluidos de corte potenciales de base vegetal se ha estudiado en los últimos años para frenar la creciente demanda de materiales sostenibles que sean menos tóxicos y seguros para los ecosistemas, renovables y que ofrezcan una alternativa viable a los productos nocivos a base de petróleo [13,14].

Abdul [15] evaluaron la viabilidad técnica del uso de aceites vegetales naturales biodegradables como fluidos de corte en el mecanizado de acero AISI 1045 aplicando la técnica de cantidad mínima de lubricante (MQL). Los aceites naturales estudiados eran comestibles y extraídos de las semillas de algodón, aceite de palma, canola, girasol, maíz y soya. Los fluidos se sometieron en primer lugar a pruebas específicas para cuantificar su capacidad de enfriamiento y lubricación, así como sus propiedades físicas y químicas. Los dos aceites comestibles con los mejores resultados

fueron el de la semilla de algodón y de canola. En términos de vida útil de la herramienta, en condiciones de corte bajas, el aceite de canola mostró un buen rendimiento debido a su buena lubricidad. Bajo condiciones de corte altas, el aceite de semilla de algodón presentó el mejor rendimiento entre los aceites comestibles debido a su buena capacidad de enfriamiento.

El aceite de *Jatropha curcas* tiene una gran ventaja frente a los aceites vegetales puesto que no es comestible, y su cultivo no desplaza a otros cultivos alimentarios y además es adaptable a zonas donde los terrenos son improductivos [8, 16-18]. El aceite de base *Jatropha* puede ofrecer muchos beneficios sobre los obtenidos a base de petróleo, como mantener la viscosidad a altas temperaturas, mejor capacidad de carga, buena estabilidad al corte, mejores propiedades de lubricación y mayor punto de inflamación [8]. En su estudio, Abdul y otros desarrollaron un nuevo fluido de corte elaborado con un líquido iónico y en aceite natural (*Jatropha curcas*). Para ello probaron diferentes concentraciones de este aceite (1, 5 y 10%), el fluido con 10% superó los resultados en cuanto al valor de la fuerza de corte, temperatura y desgaste [15].

El objetivo del presente trabajo es realizar una investigación experimental durante el torneado del AISI 1045 utilizando un fluido de corte a base de *Jatropha curcas* mezclado con la menor cantidad de otros elementos.

## 2. Materiales y Métodos

La elaboración de la emulsión se generó con 1200 mL corresponde al aceite (30%), 2400 mL de agua destilada (60%), y 400 mL de agente emulsionante, el nonil fenol etoxilado de 6 mol (compuesto orgánico de la familia de los alquifenoles) (10%), el cual es efectivo y muy empleado en la formulación de emulsiones de esta naturaleza [19,20]. Se procedió solubilizar el agente emulsionante en el aceite por medio de agitación manual. Una vez mezclados estos dos elementos, se vertió en el vaso de precipitación con el agua destilada, se agitó por 5 segundos obteniendo como resultado 100% homogenización lechosa. Los materiales que se usaron para la producción fueron: cubeta de 5000 mL para el mezclado, vaso de precipitación plástico de 20mL, agitador, emulsionante nonil 6M. Las propiedades físicas de la emulsión elaborada se indican en la Tabla 1.

**Tabla 1. Propiedades físicas del fluido de corte (emulsión)**

Pérdida por Calentamiento	Densidad	Punto de inflamación	Viscosidad (50 rpm, 19,5°C)
0,04 %	0,93 g/mL	345°C	58,9 mPa·s

### 2.2 Procedimiento experimental

El torneado experimental se ejecuta en condiciones húmedas utilizando un fluido de corte elaborado a base de aceite de *Jatropha*. La máquina herramienta utilizada es un torno paralelo Marca JET 1660-3PGH con una potencia del motor de 10 kW. El fluido utilizado en el corte se filtra y se recoge en el recipiente el torno. La probeta seleccionada fue de acero al carbono AISI 1045 con 100 mm de diámetro y 200 mm de longitud, la composición química se presenta en la Tabla 2. Se realizó el torneado con un inserto recubierto con (TiCN-TiN), ISCAR IC907. La geometría de los insertos fue CNMG 120408-TF; el ángulo de incidencia principal fue de 7°, el ángulo de ataque fue de 0° y el radio de la punta fue de 0,8 mm.

El análisis factorial completo fue el procedimiento utilizado para determinar la relación entre las variables independientes (parámetros de corte) y la variable dependiente (desgaste del flanco). Un total de 14 ensayos sin replicas fueron desarrollados con dos niveles de velocidades de corte (v), siete niveles de tiempo (T). En la Tabla 3 se indican las variables estudiadas. En esta investigación

se asume el criterio de desgaste del flanco  $VBB=0,3$  mm teniendo en cuenta criterios de la literatura y que se trata de una elaboración de acabado [21-22]. Las ecuaciones 1 y 2 son utilizadas para calcular el error absoluto ( $E$  (%)) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) respectivamente.

**Tabla 2. Composición química del acero AISI 1045**

Elemento	Composición química (%)
Carbono	0,42-0,50
Hierro	98,5-98,98
Manganeso	0,6-0,9
Fósforo	0,04 (Máx.)
Azufre	0,05 (Máx.)

$$E = \left( \frac{1}{N} \sum_i \left| \frac{t_i - t_0}{t_i} \right| \right) \times 100 \quad (1)$$

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_i (t_i - t_0)^2}{\sum_i (t_0)^2} \right) \quad (2)$$

Donde  $N$  es el número de ensayos;  $t_i$  valores experimentales y  $t_0$  valores estimados.

**Tabla 3. Variables de mecanizado consideradas en el estudio**

v(m/min)	T(min)	Condiciones constantes
250	0,17; 0,44 0,64; 0,83	Fluido de corte (Jatropha) Profundidad de corte 0,4 mm
300	1; 1,2; 1,8	Avance de corte 0,12 mm/rev

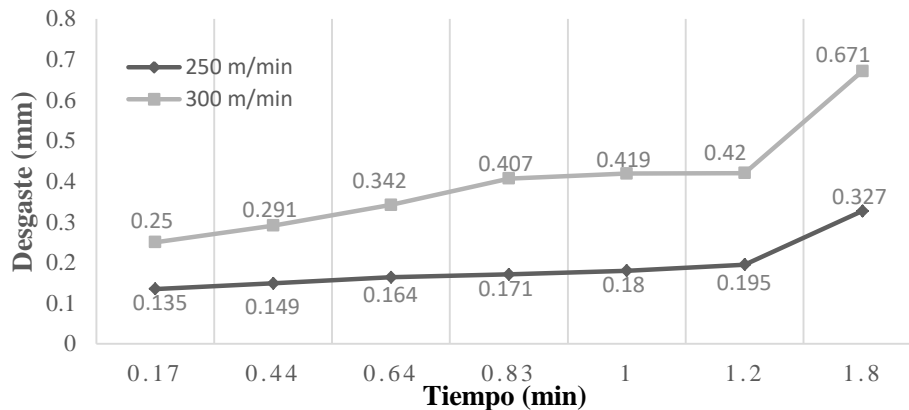
Después de cada experimento se retira el inserto del porta-herramientas y se realizan las respectivas mediciones del desgaste producido en el proceso de mecanización. El proceso de medición se realiza usando el microscopio metalográfico electrónico Motic BA310MET SERIES.

### 3. Resultados y Discusión

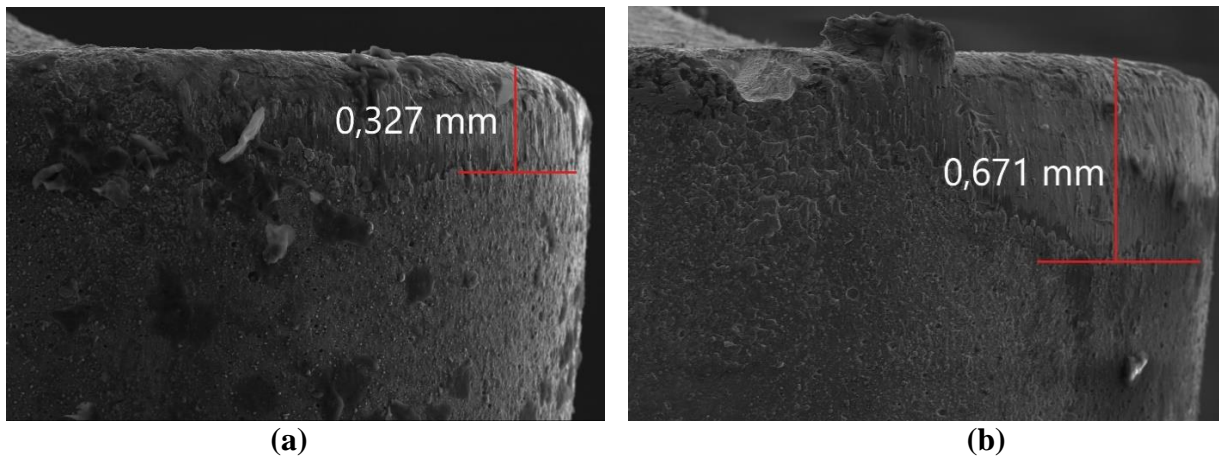
Los resultados que se detallan a continuación corresponden a la evaluación del desgaste del flanco respecto al tiempo de maquinado y a las velocidades de corte. En la Fig.1 se muestra la evolución del desgaste del flanco para el estudio realizado. Se observan valores mínimos del desgaste del flanco cuando se utiliza la velocidad de 250 m/min. Esta tendencia de mejores valores para la menor velocidad se corresponde con lo expresado por Abdul [15]. Los valores alcanzados de desgaste de flanco con la velocidad de 250 m/min se mantuvieron por debajo del criterio de fin de vida adoptado en esta investigación (0,3 mm). Solo el desgaste a los 1,8 min no cumplió, no siendo así para los valores de la velocidad de 300 m/min; hasta 0,44 min estuvieron inferiores a 0,3 mm como medida de fin de vida. Con los valores obtenidos podemos recomendar el uso del fluido de corte elaborado con base de aceite de Jatropha, puesto que los valores obtenidos experimentalmente son similares a los obtenidos por Sahu [23].

El desgaste de las herramientas de corte es causado por una combinación compleja de diferentes mecanismos, como abrasión, adhesión, difusión o deformación plástica. La contribución de estos mecanismos al desgaste general depende de las características de la pieza de trabajo, la herramienta de corte y los parámetros de mecanizado [24]. En la Fig.2 se muestra la fotografía de la superficie del flanco de las herramientas de corte a los 1,8 min obtenida en el microscopio metalográfico. En ella se pueden observar las marcas de abrasión, demostrando este mecanismo de desgaste como

predominante, causado por la fricción entre la cara del flanco de la herramienta y las superficies mecanizadas.



**Fig.1 Comportamiento del desgaste del flanco para las velocidades analizadas**



**Fig.2 Comportamiento del desgaste del flanco para las velocidades analizadas (a) 250 m/min, (b) 300m/min**

*Análisis de Varianza*

El análisis de varianza del estudio experimental realizado se presenta en la Tabla 4. Se midió la contribución de cada factor determinando la significación de las variables para un 95% de confianza. Esto se comprueba determinando los p-valores inferiores a 0,05. Resultaron significativas ambas variables, tanto para el tiempo como para la velocidad. Este resultado es similar al obtenido por Hasan [25]. El aumento de la velocidad tiene mayor influencia en el aumento del desgaste del flanco del inserto de corte.

Se realizó un análisis de regresión múltiple para describir la relación entre el desgaste del flanco, el tiempo de maquinado y la velocidad. La finalidad fue obtener la ecuación del modelo ajustado para el inserto de corte empleado. Además, se determinó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que representa la bondad del ajuste. A continuación, se muestra el modelo empírico de la ecuación aplicando el ajuste por mínimos cuadrados (Ecuación 3) para las condiciones de corte analizadas en el estudio, el coeficiente de determinación alcanzó un valor de 98,38%. En la Fig.3 se observa a través de una gráfica de superficie respuesta el aumento del desgaste del flanco con el aumento de la velocidad de corte y del tiempo de mecanizado.

**Tabla 4. Análisis de varianza para el desgaste del flanco**

Fuente	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	Cociente-F	p-valor
Tiempo de maquinado	0,119728	6	0,0199547	7,01	0,0160
Velocidad de corte	0,156098	1	0,156098	54,81	0,0003
Residuo	0,017087	6	0,00284784		
Total (corregido)	0,292913	13			

*Análisis de Regresión Múltiple*

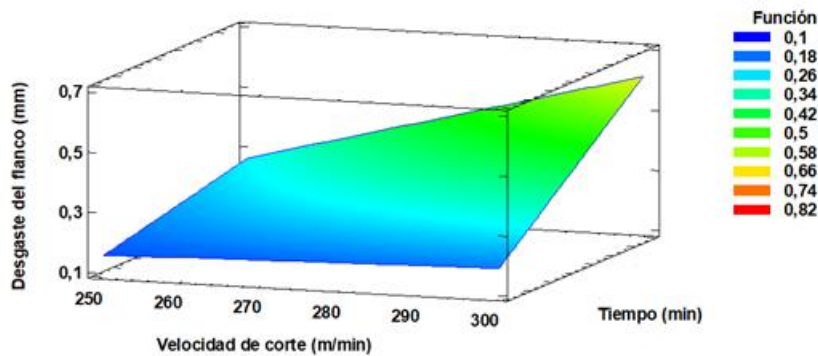
$$D = 0,0006 \cdot V - 0,69 \cdot T + 0,003 \cdot V \cdot T \tag{3}$$

Donde:

D: es el desgaste del flanco en mm.

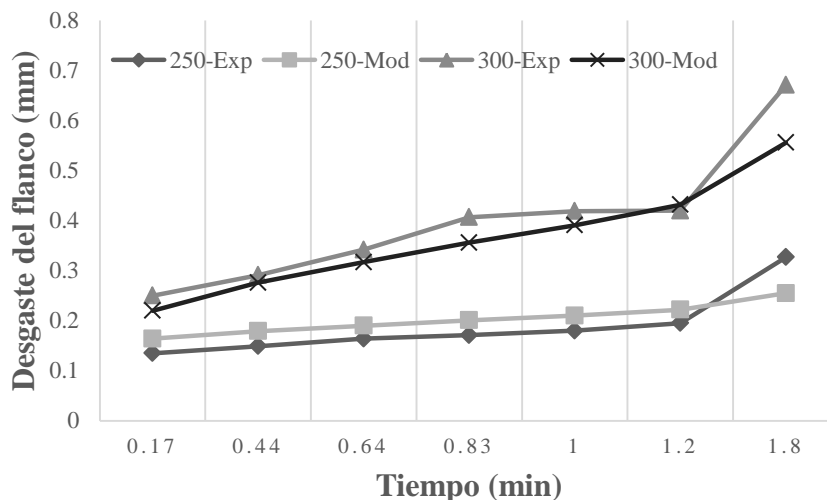
V: es la velocidad de corte en m/min.

T: tiempo de mecanizado en min.



**Fig.3 Superficie respuesta de la ecuación del modelo**

Los resultados obtenidos fueron analizados por métodos estadísticos. Los criterios utilizados fueron el error absoluto y el coeficiente de determinación. La comprobación del modelo empírico obtenido se realizó mediante el análisis del error absoluto (Tabla 5). Para una mejor comprensión de los resultados del modelo obtenido, en la Fig.4 se observan los valores para ambas velocidades. Se evidencia la cercanía de los valores obtenidos por el modelo comparados con los valores medidos experimentalmente, excepto para los experimentos 1, 3 y 7.



**Fig.4 Valores medidos y predichos por el modelo obtenido**

Para los dos primeros esto se atribuye a que el valor del desgaste es mínimo pues a este tiempo la herramienta de corte no ha perdido capas de material producto de la fricción que se genera durante el corte. Para 1,8 min de corte el desgaste de la herramienta aumenta considerablemente en ambas velocidades debido al incremento de la temperatura propia del proceso de corte y como se puede observar en la Fig.2, hay presencia del material de la pieza de trabajo en la superficie del flanco intensificando el deterioro del filo.

**Tabla 5. Error absoluto basado en el modelo empírico obtenido**

No.	Velocidad	Tiempo	Desgaste Exp.	Desgaste predicho	Error (%)
1	250	0,17	0,135	0,164	21,31
2	250	0,44	0,149	0,179	20,11
3	250	0,64	0,164	0,190	15,99
4	250	0,83	0,171	0,201	17,49
5	250	1,00	0,180	0,210	16,93
6	250	1,20	0,195	0,222	13,71
7	250	1,80	0,327	0,255	21,87
8	300	0,17	0,250	0,220	11,96
9	300	0,44	0,291	0,276	5,24
10	300	0,64	0,342	0,317	7,320
11	300	0,83	0,407	0,356	12,50
12	300	1,00	0,419	0,391	6,64
13	300	1,20	0,420	0,432	2,95
14	300	1,80	0,671	0,556	17,13

#### 4. Conclusiones

En esta investigación se realizó un estudio experimental durante el torneado del AISI 1045 utilizando un fluido de corte a base de aceite de *Jatropha* para predecir el desgaste del flanco. La influencia de variables como la velocidad y el tiempo de mecanizado fueron analizadas a través de un diseño factorial completo. El modelo para predecir el desgaste del flanco fue desarrollado a partir de los datos experimentales. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede expresar que la utilización de la emulsión como fluido de corte brinda potencialidades para el mecanizado del acero AISI 1045 puesto que los valores medidos de desgaste del flanco corresponden a valores cercanos a lo reportado por autores donde utilizan fluidos de corte industriales. Además, el modelo desarrollado puede ser utilizado para estimar el desgaste del flanco teniendo en consideración el valor de coeficiente de determinación de 98,38%, indicando la proporción de la variabilidad de los datos explicada por los modelos de regresión.

#### Referencias

1. Qasim, A., et al., *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.
2. Zamora, Y., et al., *Influence of the cutting parameters on flank wear of coated inserts during turning of AISI 316L*. Enfoque UTE, 2015. **6**(1): p.13 - 24.
3. Araújo, A.S., et al., *Lubri-cooling and tribological behavior of vegetable oils during milling of AISI 1045 steel focusing on sustainable manufacturing*. Journal of Cleaner Production, 2017. **156**: p.635-647.
4. Hegab, H., et al., *Sustainable Cooling and Lubrication Strategies in Machining Processes: A Comparative Study*. Procedia Manufacturing, 2019. **33**: p.786-793.
5. Shokrani, A., et al., *Hybrid cryogenic MQL for improving tool life in machining of Ti-6Al-4V titanium alloy*. Journal of Manufacturing Processes, 2019. **43**: p.229-243.



6. Courbon, C., et al., *On the existence of a thermal contact resistance at the tool-chip interface in dry cutting of AISI 1045: Formation mechanisms and influence on the cutting process*. Applied Thermal Engineering, 2013. **50**(1): p.1311-1325.
7. Dhage, S., et al., *Effects of surface texture parameters of cutting tools on friction conditions at tool-chip interface during dry machining of AISI 1045 steel*. Procedia Manufacturing, 2019. **33**: p.794-801.
8. Núñez, D., et al., *Influence of minimum quantity of lubricant (MQL) on tool life of carbide cutting tools during milling process of steel AISI 1018*. Enfoque UTE, 2017. **8**(2): p.44 - 55.
9. Maruda, R.W., et al., *Tool wear characterizations in finish turning of AISI 1045 carbon steel for MQCL conditions*. Wear, 2017. **372**: p.54-67.
10. Maruda, R.W., et al., *Evaluation of turning with different cooling-lubricating techniques in terms of surface integrity and tribologic properties*. Tribology International, 2020. **148**: p.106334.
11. Dilip, B., et al., *Experimental comparison of carbon-dioxide and liquid nitrogen cryogenic coolants in turning of AISI 1045 steel*. Cryogenics, 2012. **52**(10): p.569-574.
12. Dilip, B., et al., *Experimental investigation of turning AISI 1045 steel using cryogenic carbon dioxide as the cutting fluid*. Journal of Manufacturing Processes, 2011. **13**(2): p.113-119.
13. Araújo, R.P., et al., *Analysis of the surface roughness and cutting tool wear using a vapor compression assisted cooling system to cool the cutting fluid in turning operation*. Journal of Manufacturing Processes, 2019. **44**: p.38-46.
14. Franco-Pérez, J., et al., *Epoxidación del aceite vegetal de *Jatropha curcas* L. con ácido paracético*. Revista Tecnología Química, 2018. **38**(2): p.380-385.
15. Abdul, A.S., et al., *The influence of modified vegetable oils on tool failure mode and wear mechanisms when turning AISI 1045*. Tribology International, 2019. **129**: p.347-362.
16. Rodríguez, P., et al., *Cálculo del impacto medioambiental de la producción de biocombustibles derivados del aceite de *Jatropha curcas**. Revista Cubana de Ingeniería, 2013. **4** (1): p.51-58.
17. Piloto, R., et al., *Thermal behavior of *Jatropha curcas* oils and their derived fatty acid ethyl esters as potential feedstocks for energy production in Cuba*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2012. **109**: p.1005-1012.
18. Piloto, R., et al., *Characterization of *Jatropha curcas* oils and their derived fatty acid ethyl esters obtained from two different plantations in Cuba*. Biomass and Bioenergy, 2011. **35**: p.4092-4098.
19. Melo-Espinosa, E.A., et al., *Emulsified fuels based on fatty acid distillates and rapeseed oil: A physicochemical characterization*. Fuel, 2016. **185**: p.734-742.
20. Melo-Espinosa, E.A., et al., *Experimental investigation of emulsified fuels produced with a microchannel emulsifier: Puffing and micro-explosion analyses*. Fuel, 2018. **219**: p.320-330.
21. *Tool-life testing with single-point turning tools*. American National Standard, B94.55M, 1985.
22. Cordes, S.E., *Thermal stability of  $\gamma$ -alumina PVD coatings and analysis of their performance in machining of austenitic stainless steels*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2012. **5**(1): p.20-25.
23. Sahu, S., et al., *Optimization of Surface Roughness Using Taguchi Methodology & Prediction of Tool Wear in Hard Turning Tools*. Materials Today: Proceedings, 2015. **2**(4): p.2615-2623.
24. Hoier, P., et al., *Characterization of abrasion- and dissolution-induced tool wear in machining*. Wear, 2019. **426-427**: p.1548-1562.
25. Hasan, S., et al., *Tool flank wear analyses on AISI 440 C martensitic stainless steel by turning*. International Journal of Material Forming, 2010. **3**(0): p.427-430.

### Conflicto de Intereses

No existe ningún conflicto de intereses entre los autores, ni de los autores con otras entidades vinculadas al contenido del artículo.

**Contribución de los autores**

**Yoandrys Morales-Tamayo.** ORCID: 0000-0001-7456-1490

Participó en el análisis y determinación del tipo de desgaste de la herramienta. Redacción del artículo.

**Yusimit Zamora-Hernández.** ORCID: 0000-0001-9792-7379

Participó en el análisis y discusión de los resultados del desgaste obtenido por microscopía. Redacción del artículo.

**Joao Barzaga-Quesada.** ORCID: 0000-0003-1919-3773

Participó en la fabricación de las máquinas de extracción del aceite natural y su extracción.

**Marioxy Morales-Torres.** ORCID: 0000-0002-8467-2431

Participó en el análisis estadístico de la investigación.

**Luis Enrique Freire Loo.** ORCID: 0000-0002-9248-5900

Participó en la experimentación en la máquina herramienta-torno.

**Bryan Carrasco-Viteri.** ORCID: 0000-0002-4936-6949

Participó en la obtención y análisis físico químico de la emulsión.