

# Predicción del desgaste del flanco de la herramienta de corte durante el torneado en seco de alta velocidad para piezas de acero AISI 316L en la industria minera

Yusimit K. Zamora-Hernández  
Yoandrys Morales-Tamayo  
Arlys M. Lastre-Aleaga

## Resumen

Se realizó un estudio experimental sobre la influencia de los parámetros de corte en el torneado del acero inoxidable AISI 316L con insertos recubiertos de TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiN. Un microscopio electrónico de barrido fue utilizado para medir y analizar el desgaste de las herramientas de corte. Los resultados fueron comparados utilizando el análisis de varianza y el análisis de regresión múltiple para describir la relación entre el desgaste del flanco de las herramientas de corte, el tiempo de maquinado y el avance de corte, obteniéndose las ecuaciones de los modelos ajustados. La investigación demostró el efecto significativo del avance y del tiempo de maquinado en el desgaste del flanco. El inserto de tres capas no sobrepasó el criterio de fin de vida del desgaste, mientras que el inserto de una capa sufrió un desgaste elevado para la mayor velocidad de corte. El desgaste del flanco tuvo mejor comportamiento para el avance de 0,08 mm/rev en todas las velocidades empleadas en este estudio. Los errores medios absolutos no superaron el 15 %.

**Palabras clave:** Torneado de alta velocidad; desgaste de flanco; acero inoxidable AISI 316L; estudio experimental; análisis de varianza y regresión.

## **Prediction of flank wear of the cutting tool during dry high-speed turning for steel parts AISI 316L in the mining industry**

### **Abstract**

In this research an experimental study of the influence of cutting parameters in turning of AISI 316L stainless steel with coated inserts of TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiN was performed. A scanning electron microscope was used to measure and analyze the wear of the cutting tools. Results were compared using analysis of variance and multiple regression for describing the relation between the flank wear of the cutting tools, machining time and the cutting feed, obtaining the equations adjusted models. The research demonstrated the significant effect of feed and machining time in flank wear. The three coating layers insert did not exceed the criterion of end of life of wear while the insert with one layer suffered a catastrophic wear at the highest cutting speed. The flank wear showed the best performance for the cutting feed of 0,08 mm/rev at all the speeds used in the study.

**Keywords:** High speed turning; flank wear; AISI 316L; experimental study; analysis of variance and regression.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria minera se encuentra en un constante proceso de innovación tecnológica; el aumento de las exigencias del mercado demanda un producto cada vez más acorde a los requerimientos del cliente. Esto conduce a la necesaria reducción de los costos, al aumento de la producción y un control sistémico en la calidad de los productos, en aras de mantener un comercio sustentable.

Durante la extracción de mineral, su procesamiento y comercialización, se requiere de la integración de un conjunto de subsistemas productivos. La fabricación y mantenimiento de maquinarias o componentes, asociados a los diferentes procesos de la industria minera, constituyen un sector de suma atención por los recursos y esfuerzos demandados, así como por su directa influencia en los costos de producción.

Las empresas de mecanizado que fabrican piezas o componentes para la industria minera buscan reducir los niveles de consumo energético y de materiales, lo que ha exigido el análisis de los métodos y tecnologías utilizadas en el diseño y los procesos de manufactura (Lastres, Cordovés & Arzola 2010).

En los últimos años el avance alcanzado en las máquinas herramientas, en las herramientas de corte y en las tecnologías de maquinado han posibilitado la utilización del maquinado de alta velocidad (HSM). Este facilita una mayor velocidad de remoción de material, reduce los tiempos de maquinado, el número de máquinas herramientas y garantiza un elevado acabado superficial, disminuyendo las fuerzas de corte y la vida útil de la herramienta de corte (Hernández *et al.* 2011).

La importancia de evaluar el desgaste y estimar la vida de la herramienta radica en disminuir los efectos indeseables que provoca como: una menor exactitud dimensional de la pieza terminada, tensiones residuales superficiales, deficiente rugosidad superficial y aumento de las vibraciones durante el proceso de corte (Suresh, Basavarajappa & Samuel 2012).

Muchas soluciones para aumentar la vida útil de la herramienta han estado dirigidas a disminuir la temperatura en la interface herramienta-pieza mediante la utilización y desarrollo de fluidos de corte de diferentes naturalezas. La utilización de estos encarece el proceso de fabricación, provoca daños en la salud de los operarios y afecta el medio ambiente. Las nuevas tecnologías para atenuar los efectos perjudiciales de los fluidos de corte se sustentan en el corte en seco, en la mínima lubricación y en el desarrollo de nuevas fórmulas de fluidos (Cordes 2012).

Últimamente las investigaciones relacionadas con la evaluación de la vida útil de la herramienta han estado dirigidas a efectuar el corte refrigerado de metales, sin embargo, es discreto el número de las investigaciones relacionadas con el mecanizado en seco a altas velocidades utilizadas en el torneado de aceros inoxidable austeníticos en la industria minera.

A continuación se muestra un resumen de los trabajos investigativos más relevantes en la elaboración de los aceros inoxidable austeníticos.

Korkut *et al.* (2004) investigaron la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de la herramienta y en la rugosidad superficial durante la elaboración en seco del acero inoxidable AISI 304, con herramientas multicapas (TiC, TiCN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiN), utilizando velocidades de corte entre 120 m/min y 180 m/min. Por otro lado, Ciftci (2006) evaluó la rugosidad superficial y las fuerzas de corte para herramientas revestidas durante el mecanizado en seco de los aceros inoxidable AISI 316L y AISI 304 empleando velocidades de corte entre 120 m/min y 210 m/min. Estos autores utilizaron velocidades de corte bajas en sus análisis.

Lin (2008) evaluó el comportamiento de la rugosidad superficial para aplicar el torneado de acabado en seco de los aceros AISI 303 y 304, utilizando velocidades de corte entre 250 m/min y 450 m/min. Este autor utilizó elevadas velocidades de corte pero no evaluó el desgaste de la herramienta.

Xavior y Adithan (2009) determinaron la influencia de los fluidos de corte en el desgaste de la herramienta y en la rugosidad superficial durante el torneado de AISI 304 con herramientas de carburos y velocidades de corte de 38,95; 61,35 y 97,38 m/min. Estos autores analizaron bajas velocidades. Galanis y Manolakos (2010) desarrollaron un modelo para predecir la rugosidad superficial en cabezas femorales en el torneado del acero inoxidable AISI 316L utilizando velocidades de hasta 440 m/min. Estos autores, aunque trabajaron en la gama de la alta velocidad, no midieron el desgaste de la herramienta de corte.

Mahdavinejad y Saeedy (2011) realizaron un estudio experimental para optimizar los parámetros de corte del torneado en seco y con fluidos de corte del acero inoxidable AISI 304. Utilizaron herramientas de carburo de tungsteno con velocidades de corte entre 100 m/min y 200 m/min.

Leppert y Peng (2012) analizaron la tensión residual en la capa superficial producida durante el torneado del acero inoxidable AISI 316L con herramientas recubiertas. En el maquinado emplearon velocidades de corte de hasta 255 m/min. Estos autores no incluyeron en su

investigación altas velocidades de corte, ni midieron el desgaste de los insertos.

Naves y otros investigadores analizaron la aplicación de fluidos de corte a alta presión en las herramientas de corte con el objetivo de alargar la vida de estas. El factor analizado fue el desgaste del flanco para 300 m/min como velocidad de corte (Naves, Da Silva & Da Silva 2013). En el 2014 Gerth y otros realizaron una investigación para profundizar en el estudio del proceso de adhesión que se produce entre la viruta y la arista de corte de la herramienta. La operación corresponde al corte ortogonal y la velocidad de corte que utilizaron fue de 150 m/min (Gerth *et al.* 2014). Estas dos últimas investigaciones no incluyeron el rango de alta velocidad y, además, utilizaron los fluidos de corte para alargar la vida útil de las herramientas.

Del análisis anterior se aprecia que las investigaciones se han centrado en el estudio de la rugosidad superficial y las fuerzas de corte, siendo menos estudiadas las vibraciones mecánicas, las deformaciones superficiales y el desgaste de la herramienta en el mecanizado de alta velocidad en seco de los aceros inoxidables.

La minería que se desarrolla hoy en día exige de un uso adecuado de los procesos mecanizados, especialización de la producción y el incremento de la productividad del trabajo sobre la base de los rendimientos empresariales, con una disminución de los costos, reparación y mantenimiento.

Específicamente el corte del acero inoxidable se utiliza en la fabricación y el mantenimiento de bombas, excavadoras, correas transportadoras y carros de descarga, fundamentalmente en elementos sometidos a grandes cargas y a medios corrosivos como: árboles, ejes, engranes.

Por tanto, esta investigación tiene como objetivo investigar la evolución del desgaste del flanco respecto al tiempo de maquinado de dos insertos de carburo recubierto durante el torneado en seco a altas velocidades del acero inoxidable AISI 316L para dos velocidades y dos avances de corte.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El torneado experimental fue ejecutado en condiciones secas, con el uso del torno multifuncional tipo Okuma Multus B200-W, con una potencia del motor de 15 kW. La rotación del husillo osciló entre 50 rpm y 5000 rpm y el peso máximo que soportó sobre el lado izquierdo fue de 110 kg.

La probeta seleccionada fue de acero inoxidable AISI 316L, muy utilizado en la fabricación de productos resistentes a la corrosión y resistentes a

altas temperaturas (Gaitonde *et al.* 2008). La composición química se puede observar en la Tabla 1, para ello se utilizó un espectrómetro de emisión de chispa SPECTROMAxx

Tabla 1. Composición química del acero AISI 316L

Elemento	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	N
Composición (%)	0,015	0,58	1,50	16,95	2,05	10,08	0,031	0,029	0,059

Las muestras fueron rectificadas para garantizar que la superficie fuera completamente plana y no existieran discontinuidades en las chispas debido a algún relieve en la muestra. Se realizaron dos mediciones o quemas en la muestra, el promedio de las mediciones constituyó la composición química de la aleación.

Las probetas de 100 mm de diámetro y 200 mm de longitud fueron torneadas con insertos recubiertos con marcación Sandvik, GC1115 y GC2015. Los recubrimientos de TiCN–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–TiN, con un espesor de 15 µm, correspondieron al inserto GC1115 y para el inserto tipo GC2015 su recubrimiento fue de TiN, con 5 µm de espesor.

La geometría de los insertos fue CCMT 12 04 04-MF con rompevirutas, el portaherramienta marca Sandvik de código C6-SCLCL-45065-12 y un adaptador con código C6-391.01-63 060. El ángulo de incidencia principal fue de 7°, el ángulo de ataque fue de 0° y el radio de la punta fue de 0,4 mm. La dureza de los insertos, determinada con un microdurómetro marca SHIMADZU, fue de 1 755 HV GC1115 y 1 404 HV para el inserto GC2015.

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 (w)). Un total de 64 ensayos para dos réplicas fueron desarrollados con dos niveles de velocidades de corte (v), cuatro niveles de tiempo (T), dos niveles de avances de corte (f) y dos niveles de material de la herramienta; en la Tabla 1 aparecen las variables estudiadas.

En esta investigación fue asumido como fin de criterio de desgaste del flanco 0,2 mm, teniendo en cuenta los resultados de la revisión de la literatura científica, además de que se trata de una elaboración de acabado en seco y a alta velocidad de corte (Cordes 2012).

Se realizaron pruebas iniciales para determinar el estado de los instrumentos de medición, máquinas y del personal encargado de la

experimentación. Se cilindró la pieza comenzando con un filo nuevo y el corte fue interrumpido cada cierto tiempo (Tabla 1) para medir el desgaste del flanco, utilizando un microscopio electrónico de barrido (SEM) marca JEOL. La medición del desgaste fue efectuada acorde a la norma ANSI/ASME B94.55M; además, se utilizaron varias piezas de acero inoxidable AISI 316L para evitar cualquier efecto de confusión entre las mismas y la selección de la pieza para cada ensayo fue completamente aleatoria.

Tabla 2. Variables consideradas en el estudio

<b>v(m/min)</b>	<b>f(mm/rev)</b>		<b>T(min)</b>
400	0,08	0,16	2
			3
			4
			5
450	0,08	0,16	0,6
			1,2
			2
			3

### 3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

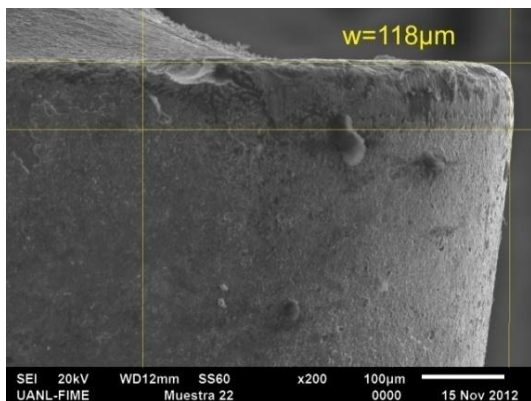
En la Figura 1 se muestra la medición del desgaste del flanco de los insertos para 400 m/min y 450 m/min de velocidad de corte, y para 5 min y 3 min de tiempo de maquinado, respectivamente. Se observa que para  $v = 400$  m/min y  $f = 0,16$  mm/rev los insertos GC1115 (1) y GC2015 (2) no exceden el criterio de fin de vida del desgaste del flanco ( $200 \mu\text{m}$ ). Para la velocidad de 450 m/min y avance 0,16 m/min el inserto GC1115 (1) sufre un desgaste excesivo, sobrepasando el criterio de fin de vida del desgaste del flanco y el inserto GC2015 (2) se aproxima a este límite, aunque no lo sobrepasa.

La utilización de elevadas velocidades de corte provoca un aumento de la temperatura en la herramienta de corte, como consecuencia debilita la arista de corte (Bartarya & Choudhury 2012). Los insertos maquinados a 400 m/min mostraron desgaste por abrasión, adhesión y muela. Para el caso de la velocidad de 450 m/min, el inserto GC1115 (1) presentó un excesivo desgaste, revelando abrasión, adhesión, difusión, deformación

plástica, y fractura del borde cortante; mientras que el GC2015 (2) mostró abrasión, adhesión, difusión, y muela, conclusión similar a la obtenida por Jianxin *et al.* (Jianxin *et al.* 2011)

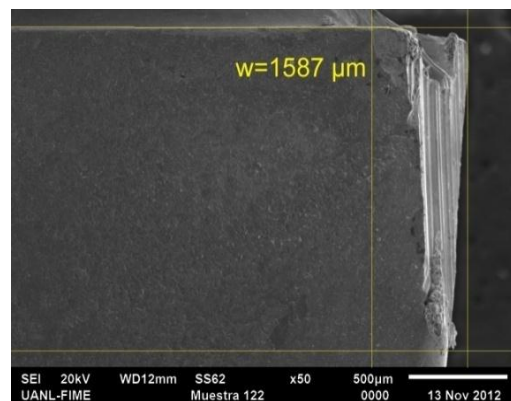
En la Figura 2a se muestra la evolución del desgaste del flanco de los insertos para  $v = 400$  m/min, se aprecia un mejor comportamiento del inserto GC1115 (1) hasta 4 min de corte. Para los 5 min de maquinado el inserto GC2015 (2) obtuvo el mejor resultado en cuanto al desgaste; ninguno de los dos insertos alcanzó el límite del criterio de fin de vida. Para la velocidad de corte de 450 m/min (Figura 2b) el mejor desempeño, hasta 1,2 min de corte, fue también para el inserto GC1115 (1); en cambio para los tiempos restantes el desgaste del flanco en sus filos de corte fue superior hasta llegar a desmoronarse antes de alcanzar el tiempo final de maquinado. Para el caso del avance, en las Figuras 2a y 2b es apreciable que el comportamiento del desgaste del flanco fue favorable cuando se utilizó el avance de 0,08 mm/rev en las dos velocidades.

$v = 400$  m/min

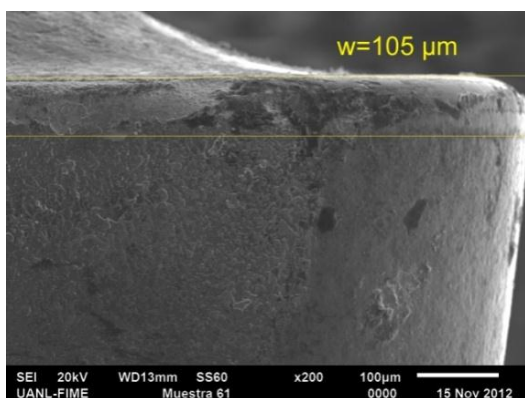


GC1115 (1)

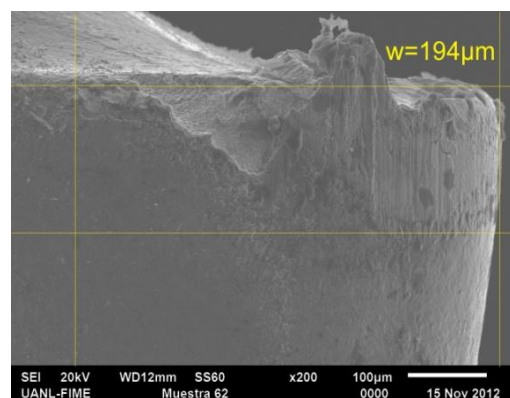
$v = 450$  m/min



GC1115 (1)



GC2015 (2)



GC2015 (2)

Figura 1. Desgaste del flanco ( $w$ ) de los insertos para  $v = 400$  m/min (5 min),  $v = 450$  m/min (3 min) y  $f = 0,16$  mm/rev.



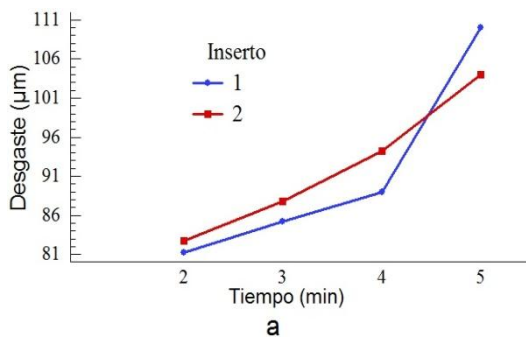
Se observó que la herramienta de menor desgaste GC2015 (2) es coincidentemente la de menor dureza, debido a que posee tres recubrimientos específicos para mejorar la mecánica del corte. La capa compuesta por Ti(N,C) le proporciona resistencia al desgaste y estabilidad térmica, la capa de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> le suministra resistencia al calor y al desgaste cráter y el recubrimiento de TiN le aporta resistencia al calor y un bajo coeficiente de fricción (Suresh *et al.* 2012). Además, la herramienta de mayor dureza solo presenta un recubrimiento 5 µm de espesor mientras que la suma de los recubrimientos del inserto de tres capas alcanza 15 µm de espesor.

Se realizó el análisis de varianza para determinar los factores y las interacciones estadísticamente significativas en el desgaste del flanco y, además, se realizó un análisis de regresión utilizando el software STATGRAPHICS Plus versión 5.1

### **3.1. Análisis de varianza factorial y de regresión**

El análisis del estudio experimental realizado para la velocidad de corte de 400 m/min se presenta en la Tabla 2. Se midió la contribución de cada factor eliminando los efectos del resto de los factores. La importancia significativa de las variables, para un 95 % de confianza, se comprobó determinando los p-valores inferiores a 0,05. Resultaron significativos el avance de corte, el tiempo de maquinado y la interacción entre estas dos variables, por el contrario los tipos de insertos no resultaron tener un efecto significativo en consecuencia que su p-valor es superior a 0,05.

v= 400 m/min



v=450 m/min

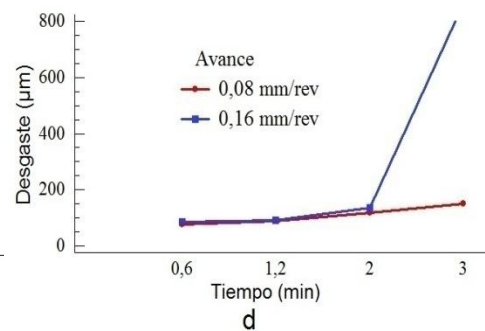
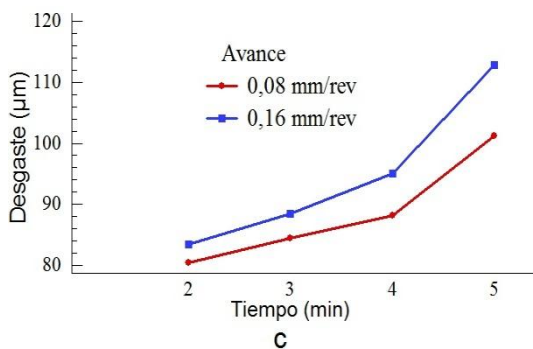
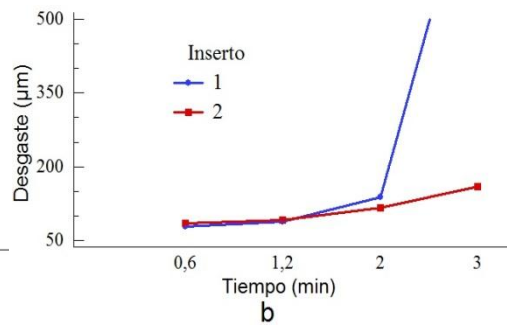


Figura 2. Evolución del desgaste del flanco (a) y (b) Inserto-Tiempo, (c) y (d) Avance-Tiempo.

Tabla 3. Análisis de varianza factorial de desgaste del flanco de los insertos para 400 m/min

Fuente	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	Cociente-F	p-valor
Avance de corte	300,12	1	300,125	59,25	0,0000
Inserto	3,12	1	3,125	0,62	0,4407
Tiempo de maquinado	2 503,75	3	834,583	165,61	0,0000
Inserto-Tiempo	221,62	3	73,875	14,66	0,0000
Residuo	95,75	19	5,039		
Total (corregido)	3 202,00	31			

Se realizó un análisis de regresión para describir la relación entre el desgaste del flanco de cada inserto, el avance de corte y el tiempo de maquinado, para obtener la ecuación del modelo ajustado. Además, se determinó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que representa la bondad del ajuste. En las Figuras 3 y 4 se muestran las ecuaciones de regresión

de los modelos ajustados para cada inserto y el coeficiente de determinación para 400 m/min de velocidad de corte a través de una superficie respuesta. También se presenta el tiempo de vida útil de cada inserto ( $T_{vu}$ ), para cada avance de corte, teniendo en cuenta el criterio de fin de vida (200  $\mu\text{m}$ ).

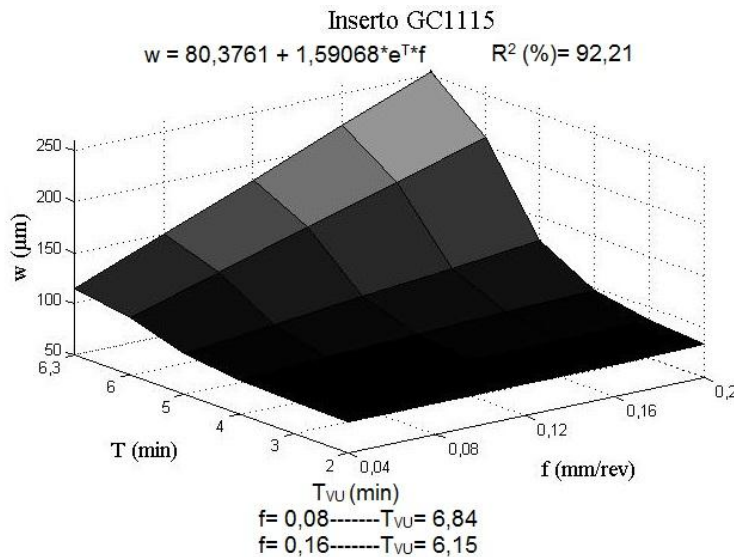


Figura 3. Curva de superficie que representa el desgaste del flanco del inserto GC1115 (1) para  $v = 400$  m/min.

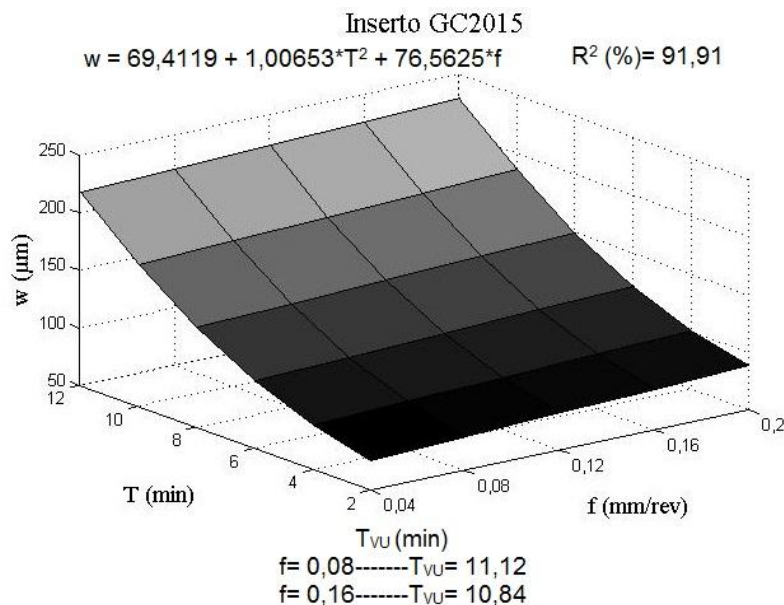


Figura 4. Curva de superficie que representa el desgaste del flanco del inserto GC2015 (2) para  $v = 400$  m/min.

La comparación en el análisis de la varianza (Tabla 3) del desgaste del flanco para  $v = 450$  m/min muestra que los insertos, el tiempo de maquinado y la interacción entre ellos tienen un efecto estadísticamente significativo en el desgaste del flanco, para un nivel de confianza

del 95,0 %; sin embargo, el avance de corte no tuvo un efecto tan significativo para este nivel de confianza. Los resultados del análisis de regresión para describir la relación entre el desgaste del flanco de los insertos, el avance de corte y el tiempo de maquinado para velocidad de corte (450 m/min) se observa en una superficie respuesta (Figuras 5 y 6). Además, se puede observar el tiempo de vida útil de cada inserto (Tvu) para cada avance de corte utilizado.

Tabla 4. Análisis de varianza factorial de desgaste del flanco de los insertos para 450 m/min

Fuente	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	Cociente-F	p-valor
Avance de corte	275 097,0	1	275 097,0	7,94	0,1100
Inserto	243 428,0	1	243 428,0	7,02	0,0158
Tiempo de maquinado	97 439,0	3	324 780,0	9,37	0,0005
Inserto-Tiempo	705 615,0	3	235 205,0	6,79	0,0027
Residuo	658 405	19	34 652,9		
Total (corregido)	3,616	31			

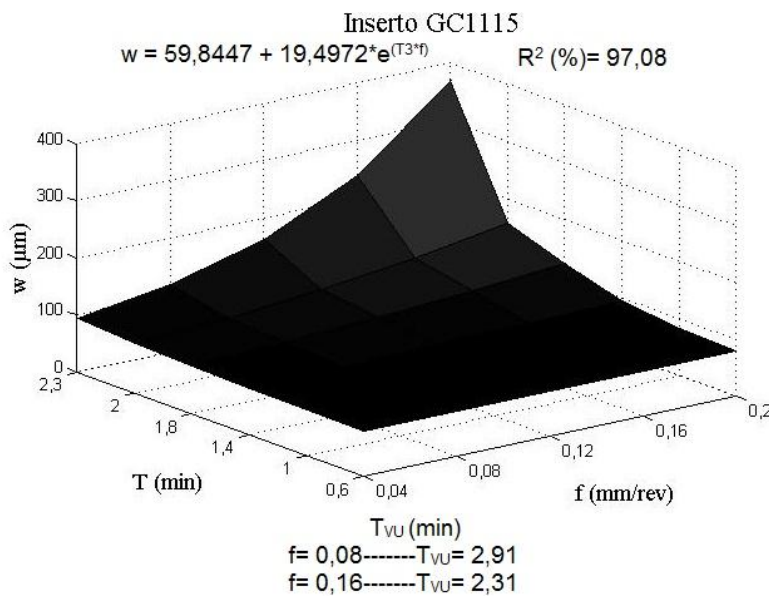


Figura 5. Curva de superficie que representa el desgaste del flanco del inserto GC1115 (1) para v = 450 m/min.

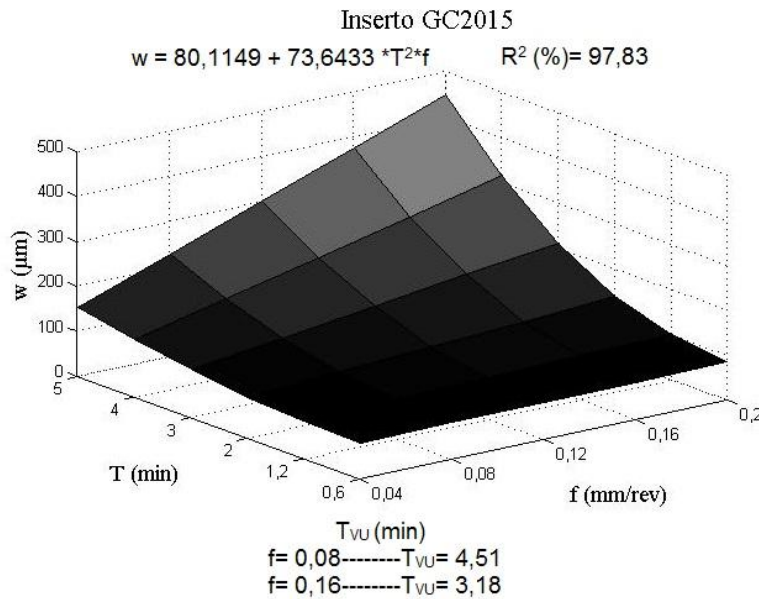


Figura 6. Curva de superficie que representa el flanco del inserto GC2015 (2) para v = 450 m/min.

### 3.2. Análisis de los errores de los modelos propuestos en la investigación

La exactitud y precisión de un modelo es evaluada y comprobada comúnmente por la ecuación 1 (Jiao *et al.* 2004; Asiltürk & Çunka 2011; Suresh *et al.* 2012).

$$E_{\text{medio}} = \left( \frac{1}{N} \sum_i^N \left| \frac{t_i - t_0}{t_0} \right| \times 100 \right) \tag{1}$$

Donde:  $E_{\text{medio}}$ , error medio absoluto;

$t_i$ , son los valores reales obtenidos por experimentación;

$t_0$ , son los valores predichos por el modelo evaluado en cuestión.

Los errores medios absolutos de los modelos obtenidos se muestran en la Tabla 5. En ella se puede apreciar que los modelos alcanzaron errores medios absolutos menores al 15 %.

Tabla 5. Errores medios absolutos (%) obtenidos por regresión múltiple

Velocidad	Inserto	Error (%)
400	GC1115	1,662
	GC2015	1,182
450	GC1115	11,979
	GC2015	1,650

#### **4. CONCLUSIONES**

Basado en los análisis y resultados del estudio del desgaste de la herramienta durante el torneado del acero AISI 316L se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El desgaste del flanco aumentó con el tiempo de maquinado para las velocidades de corte utilizadas en el estudio.
2. Para las velocidades de corte estudiadas, el mejor desempeño corresponde al inserto GC2015, con tiempos de vida útil superiores al inserto GC1115.
3. El desgaste del flanco tuvo mejor comportamiento para el avance de 0,08 mm/rev en todas las velocidades empleadas en este estudio.
4. El análisis de varianza factorial demostró que el avance de corte y el tiempo de maquinado tienen un efecto significativo para un nivel de confianza del 95 %.
5. Resulta insuficiente el empleo de técnicas de diseño de experimentos para el estudio de las condiciones de corte en el torneado de aceros inoxidables, que favorezcan el empleo eficiente de los materiales utilizados en el proceso productivo en las empresas de mecanizado para la industria minera.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la SEP por proporcionar la beca postgraduada de investigación en la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) en México. Se le agradece al Centro de Investigación e Innovación en Ingeniería Aeronáutica por el apoyo financiero, tecnológico y por todas las facilidades brindadas para el desarrollo del trabajo de investigación. Se agradece al Departamento de Ciencias Técnicas de la Universidad de Granma por el apoyo brindado.

#### **6. REFERENCIAS**

- ASILTÜRK, I. & ÇUNKA, M. 2011: Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method. *Expert Systems with Applications* 38(5): 5 826–5 832.
- BARTARYA, G. & CHOUDHURY, S. K. 2012: State of the art in hard turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 53(1): 1-14.

- CIFTCI, I. 2006: Machining of austenitic stainless steels using CVD multi-layer coated cemented carbide tools. *Tribology International* 39(6): 565-569.
- CORDES, S. E. 2012: 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* 5(1): 20-25.
- GAITONDE, V.; KARNIK, S.; SIDDESWARAPPA, B. & ACHYUTHA, B. 2008: Integrating Box-Behnken design with genetic algorithm to determine the optimal parametric combination for minimizing burr size in drilling of AISI 316L stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 37(3): 230-240.
- GALANIS, N. & MANOLAKOS, D. 2010: Surface roughness prediction in turning of femoral head. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 51(1): 79-86.
- GERTH, J.; GUSTAVSSON, F.; COLLIN, M.; ANDERSSON, G.; NORDH, L. G.; HEINRICHS, J. & WIKLUND, U. 2014: Adhesion phenomena in the secondary shear zone in turning of austenitic stainless steel and carbon steel. *Journal of Materials Processing Technology* 214(8): 1 467-1 481.
- HERNÁNDEZ, L. W.; PÉREZ, R.; ZAMBRANO, P.; GUERRERO, M. & DUMITRESCU, P. 2011: Estudio del desgaste del flanco de carburos recubiertos y cermet durante el torneado de alta velocidad en seco del acero AISI 1045. *Revista de Metalurgia* 47(3): 262-272.
- JIANXIN, D.; JIANTOU, Z.; HUI, Z. & PEI, Y. 2011: Wear mechanisms of cemented carbide tools in dry cutting of precipitation hardening semi-austenitic stainless steels. *Wear* 270(7-8): 520-527.
- JIAO, Y.; LEI, S.; PEI, Z. J. & LEE, E. S. 2004: Fuzzy adaptive networks in machining process modeling: surface roughness prediction for turning operations. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44(15): 1 643-1 651.
- KORKUT, I.; KASAP, M.; CIFTCI, I. & SEKER, U. 2004: Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel. *Materials & Design* 25(4): 303-305.
- LASTRES, M.; CORDOVÉS, A. & ARZOLA, J. 2010: Distribución y corte de piezas irregulares con anidamiento bidimensional en la industria minera. *Minería y Geología* 26(3): 48-67.
- LEPPERT, T. & PENG, R. 2012: Residual stresses in surface layer after dry and MQL turning of AISI 316L steel. *Production Engineering* 6(4): 367-374.
- LIN, H. M. 2008: The study of high speed fine turning of austenitic stainless steel. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 27(2): 191-194.
- MAHDAVINEJAD, R. & SAEEDY, S. 2011: Investigation of the influential parameters of machining of AISI 304 stainless steel. *Sadhana* 36(6): 963-970.

- NAVES, V. T. G.; DA SILVA, M. B. & DA SILVA, F. J. 2013: Evaluation of the effect of application of cutting fluid at high pressure on tool wear during turning operation of AISI 316 austenitic stainless steel. *Wear* 302(1-2): 1 201-1 208.
- SURESH, R.; BASAVARAJAPPA, S.; GAITONDE, V. N. & SAMUEL, G. L. 2012: Machinability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 33: 75-86.
- SURESH, R.; BASAVARAJAPPA, S. & SAMUEL, G. L. 2012: Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool. *Measurement* 45(7): 1 872-1 884.
- XAVIOR, M. A. & ADITHAN, M. 2009: Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of aisi 304 austenitic stainless steel. *Journal of materials processing technology* 209(2): 900-909.

**Yusimit K. Zamora-Hernández** [yzamorah@udg.co.cu](mailto:yzamorah@udg.co.cu)  
Master en CAD/CAM. Profesor Asistente.  
Universidad de Granma, Bayamo, Cuba.

**Yoandrys Morales-Tamayo** [ymoralest@udg.co.cu](mailto:ymoralest@udg.co.cu)  
Master en CAD/CAM. Profesor Asistente.  
Universidad de Granma, Bayamo, Cuba.

**Arlys Michel Lastre-Aleaga** [arlysichel@gmail.com](mailto:arlysichel@gmail.com)  
Doctor en Ciencias Técnicas. Profesor Titular.  
Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador.