

PROGRESIÓN INICIAL DEL DESGASTE DE UNA HERRAMIENTA CERÁMICA BIDEMICS EN EL MAQUINADO DEL ACERO AISI 316L

Ricardo del Risco Alfonso^a, Roberto Pérez Rodríguez^b, Marcelino Rivas Santana^c, Ramón Quiza^c.

^a Centro de Estudios de Explotación, Fabricación y recuperación de equipos y Piezas (CEEFREPE) de la Universidad de Camagüey.

^b Centro de Estudios de CAD/CAM (CE-CAD/CAM) de la Universidad de Holguín.

^c Centro de Estudios de Fabricación Avanzada y Sostenible (CEFAS) de la Universidad de Matanzas.

Resumen: Los procesos de corte de metales por arranque de virutas siguen teniendo un protagonismo importante en la industria de la construcción de maquinaria. Por tanto, es fundamental la mejora continua de estos procesos para alcanzar niveles óptimos de productividad, calidad y costos de producción. Un elemento clave en estos procesos lo constituye la herramienta de corte, motivando investigaciones en constante desarrollo que garanticen un incremento de la vida útil de dichas herramientas y por consiguiente el establecimiento de los regímenes de corte adecuados. En este sentido el estado del desgaste inicial, tiene una influencia significativa en toda la propagación del desgaste de la herramienta de corte y la vida útil, principalmente durante el mecanizado de materiales de mala maquinabilidad. El presente trabajo tiene como objetivo mostrar la relación entre la progresión inicial del desgaste durante el torneado en seco y con el empleo de la mínima cantidad de lubricante (MQL), con herramientas cerámicas BIDEMICS JX1, del acero AISI 316L con fines biomédicos. Se utilizaron, entre otros, los métodos de la observación científica, experimental, de medición y los estadísticos. Se demostró las potencialidades de esta herramienta de corte para maquinar el acero AISI 316L y se obtuvieron las ecuaciones que relacionan los parámetros del régimen de corte (velocidad de corte y velocidad de avance) con la progresión inicial del desgaste.

Palabras claves: régimen de corte; BIDEMICS; progresión inicial de desgaste.

Abstract: Metal cutting processes by chip removal continue to play an important role in the machine building industry. Therefore, continuous improvement of these processes is essential to achieve optimal levels of productivity, quality and production costs. A key element in these processes is the cutting tool, motivating research in constant development that guarantees an increase in the useful life of said tools and consequently the establishment of the appropriate cutting regimes. In this sense, the state of the initial wear has a significant influence on the entire propagation of wear of the cutting tool and the useful life, mainly during the machining of materials with poor machinability. The present work aims to show the relationship between the initial progression of wear during dry turning and with the use of the minimum amount of lubricant (MQL), with BIDEMICS JX1 ceramic tools, of AISI 316L steel for biomedical purposes. The methods of scientific, experimental, measurement and statistical observation were used, among others. The potentialities of this cutting tool to machine AISI 316L steel were demonstrated and equations were obtained that relate the parameters of the cutting regime (cutting speed and feed rate) with the initial progression of wear.

Keywords: cutting regime; BIDEMICS; initial wear rate.

1. Introducción.

Dentro de los procesos de manufactura, el corte de metales es uno de los procesos más difundidos en la construcción de maquinaria. Básicamente, todas las industrias aplican estos procesos, aunque se puede afirmar que las de mayor incidencia en su utilización son la automotriz, la ferroviaria, la aeronáutica, la naval y la de construcción [1].

Se ha demostrado que el maquinado convencional de materiales de difícil maquinabilidad es costoso en términos de desgaste de las herramientas de corte y de la disminución de la vida útil de las mismas, en este sentido Kara *et al.* [2] y Maurotto *et al.* [3] consideran que el acero AISI 316L presenta una mala maquinabilidad. Esto repercute en un incremento considerablemente el desgaste de la herramienta de corte, la formación del filo recrecido y la obtención de un deficiente acabado superficial.

El mecanizado de aceros inoxidable, por lo general, provoca un rápido desgaste de la herramienta de corte influenciado entre otros, por su endurecimiento rápido durante el mecanizado y su reactividad con la mayoría de los materiales de la herramienta. Según Liu *et al.* y Misra *et al.* [4, 5], los aceros inoxidable austeníticos son muy propensos a la formación de filo recrecido. El acero inoxidable austenítico es un material de difícil maquinabilidad y alcanza solo del 30 % al 50 % de la maquinabilidad del acero AISI 1045, según He *et al.* y Zou *et al.* [6, 7].

Al abordar, Memarianpour *et al.* [8], el comportamiento de la vida útil de la herramienta de corte, plantea que los efectos de los parámetros del régimen de corte, en el desgaste inicial de la herramienta, han recibido menos atención en comparación con las otras dos regiones de la curva de desgaste. Plantean además que, la selección adecuada de los parámetros de corte en los períodos iniciales de la operación de maquinado puede tender a optimizar toda la vida útil de la herramienta. En este mismo sentido, Aramesh *et al.* [9] en su estudio confirmaron la influencia significativa del estado del desgaste inicial en toda la propagación del desgaste de la herramienta de corte y la vida útil durante el mecanizado de materiales de mala maquinabilidad. En este sentido también se expresa Duong *et al.* [10].

Se concluye de estos estudios que los parámetros del régimen de corte, que logren disminuir la progresión inicial del desgaste, pueden a su vez garantizar una prolongación de la vida de la herramienta de corte.

En la presente investigación, se pudo determinar el valor de la progresión inicial del desgaste (VB'_0) para cada combinación de velocidad de corte y velocidad de avance del diseño experimental. Esto fue posible asumirlo, debido a que el comportamiento del desgaste, en la superficie de incidencia en las herramientas cerámicas al comienzo del proceso, mantiene un comportamiento lineal. Este tipo de comportamiento lineal se describe en los estudios realizados por Bashkov *et al.* [11].

2. Materiales y métodos.

El procedimiento experimental utilizado para la investigación se muestra en la figura 1. El material a maquinar es un acero AISI 316L. Se eligió como herramienta de corte una cerámica BIMEDIC JX1 de la Empresa NTK Cutting Tool de nueva generación [12]. La máquina herramienta

utilizada fue un torno CNC HAAS ST10 como se muestra en la figura 2. Se seleccionaron como variables de entrada la velocidad de corte en 3 niveles (200 m/min, 300 m/min y 400 m/min), el avance en 3 niveles (0,1 mm/r, 0,15 mm/r y 0,2 mm/r) y la profundidad de corte se mantuvo constante e igual a 0,5 mm, se realizaron 3 réplicas. Como variable de respuesta, a partir del desgaste inicial, se tomó la progresión inicial del desgaste (VB'_0). El trabajo se realizó bajo dos condiciones de lubricación, en seco y con el uso de mínima cantidad de lubricante (MQL).

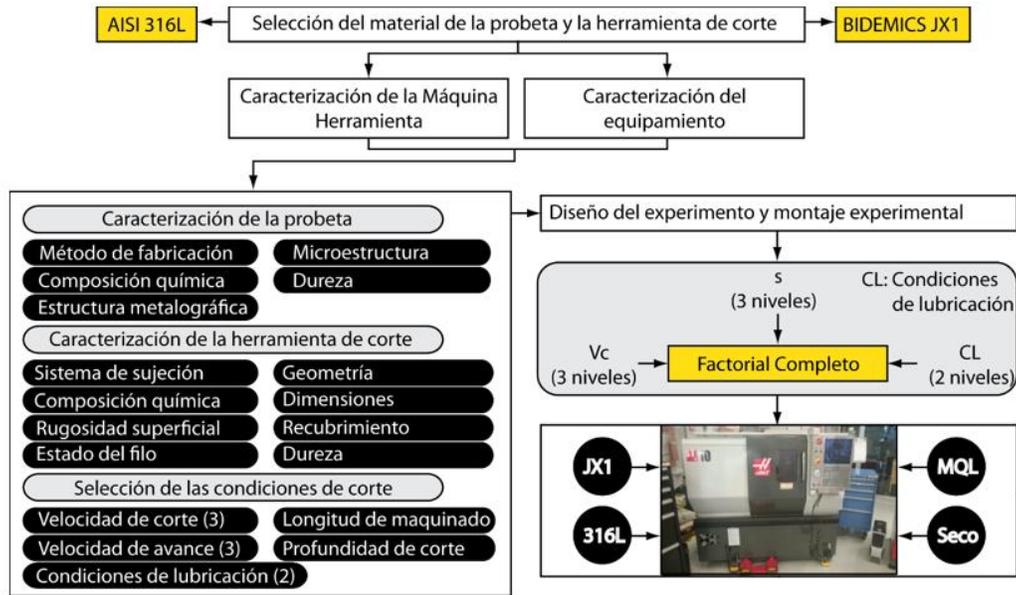


Figura 1. Procedimiento experimental



Figura 2. Estación experimental.

Se realizó el análisis de composición química de la probeta, mediante microscopía electrónica de barrido, para demostrar que coincidía con un acero AISI 316L. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la aleación de la probeta utilizada.

Material	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	Ni %	P %	S %
AISI 316L	0,015	0,7	1,7	18,5	2,0	14,2	0,02	0,01

También se realizó un análisis de composición química a la herramienta en la parte externa y en la parte interna para determinar si la herramienta tenía recubrimiento. Los resultados se muestran en la tabla 2 y demuestran que la herramienta no presenta recubrimiento.

Tabla 2. Composición química de la herramienta de corte BIDEMICS JX1.

	Tungsteno %	Oxígeno %	Aluminio %	Carbono %	Zirconio %
Parte externa	55,23	18,78	16,12	6,4	3,45
Parte interna	56,22	17,94	17,33	4,92	3,57

Por último se realizó una inspección del filo para comprobar su integridad como se muestra en la figura 4.

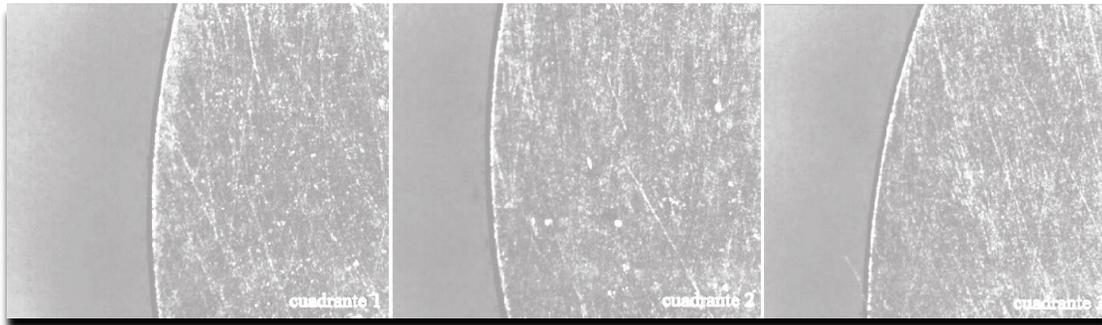


Figura 4. Inspección de los filos de corte utilizados

3. Análisis de los resultados.

En las figuras 5 (a) y 5 (b) se puede observar el deterioro de la herramienta de corte en el maquinado en seco, en las superficies de incidencia y ataque, para la menor velocidad de corte y la menor velocidad de avance (200 m/min y 0,1 mm/r). En las figuras 5 (c) y 5 (d) se muestra el deterioro de la herramienta para la máxima velocidad de corte y el máximo valor de la velocidad de avance (400 m/min y 0,2 mm/r).

Como se puede apreciar el deterioro de la herramienta se manifiesta, principalmente, a través del desgaste abrasivo y el desprendimiento de material y en menor medida, el desgaste adhesivo. Este desprendimiento ocurre, fundamentalmente, en una pequeña zona donde se produce el primer contacto de la herramienta de corte con la pieza. Esto se corresponde con lo reportado por otros estudios de Mohd-Ali *et al.* [13], Mohd-Ali *et al.* [14] y Ahmad-Azhar *et al.* [15]. En las figuras 6 (a) y 6 (b), se refleja el deterioro de la herramienta de corte en el maquinado con MQL, en las superficies de incidencia y ataque para la menor velocidad de corte y la menor velocidad de avance (200 m/min y 0,1 mm/r). En las figuras 6 (c) y 6 (d), el deterioro se muestra para la máxima velocidad de corte y el máximo valor de la velocidad de avance (400 m/min y 0,2 mm/r).

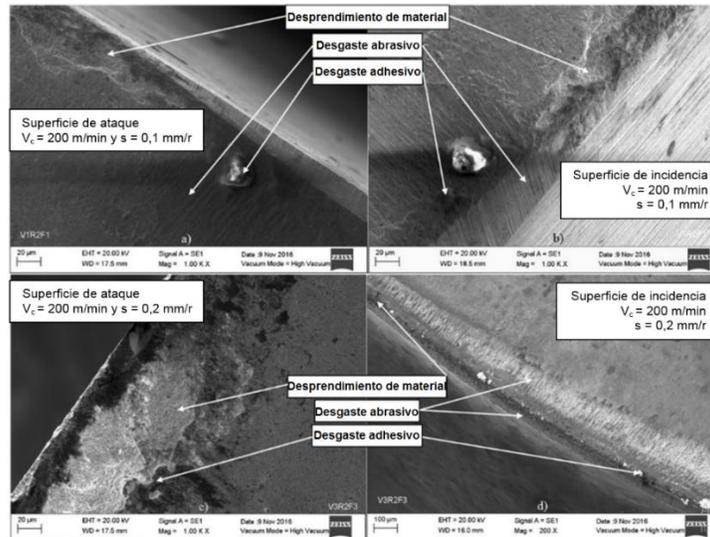


Figura 5. Deterioro de la herramienta durante el maquinado en seco

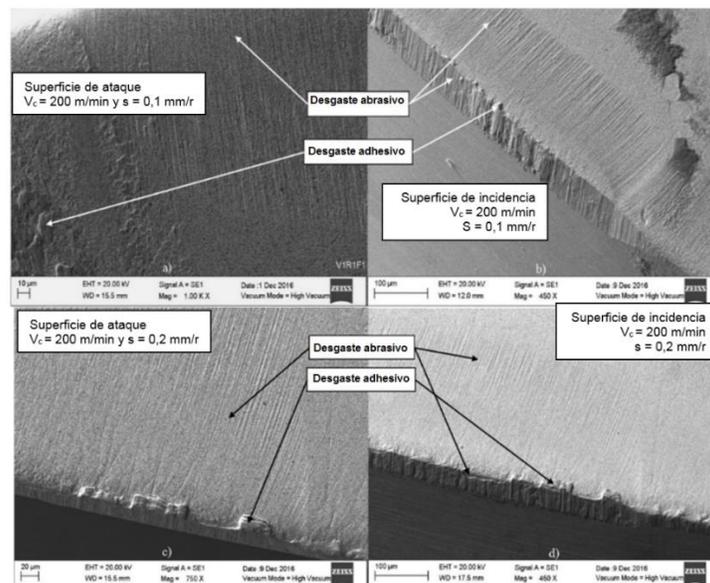


Figura 6. Deterioro de la herramienta durante el maquinado con MQL.

Como se puede apreciar, al igual que al caso anterior, el deterioro de la herramienta se manifiesta, principalmente, a través del desgaste abrasivo y en menor medida, el desgaste adhesivo. Al realizar una comparación se puede observar que, para los mismos regímenes de corte, cuando se utiliza el MQL, no se aprecia desprendimiento de material. El desgaste abrasivo y el adhesivo en la herramienta de corte están presente en ambas condiciones de lubricación, aunque en el caso del MQL éste se manifiesta en menor medida. Esto evidencia un mejor comportamiento de dicha herramienta bajo este régimen de lubricación.

En la figura 7 a) y b) se muestra la magnitud del desgaste de la herramienta de corte en la superficie de incidencia, para la velocidad de corte de 200 m/min y 0,1 mm/r de velocidad de avance, en seco y con MQL respectivamente. Para ambos insertos, el utilizado en seco y utilizado

con MQL, la longitud de maquinado fue la misma e igual a 100 mm. Se puede apreciar que el inserto que fue utilizado con MQL, tuvo un mejor comportamiento en cuanto al desgaste. Se observa, además, que la magnitud del desgaste (VB) fue menor en el caso del maquinado con MQL.

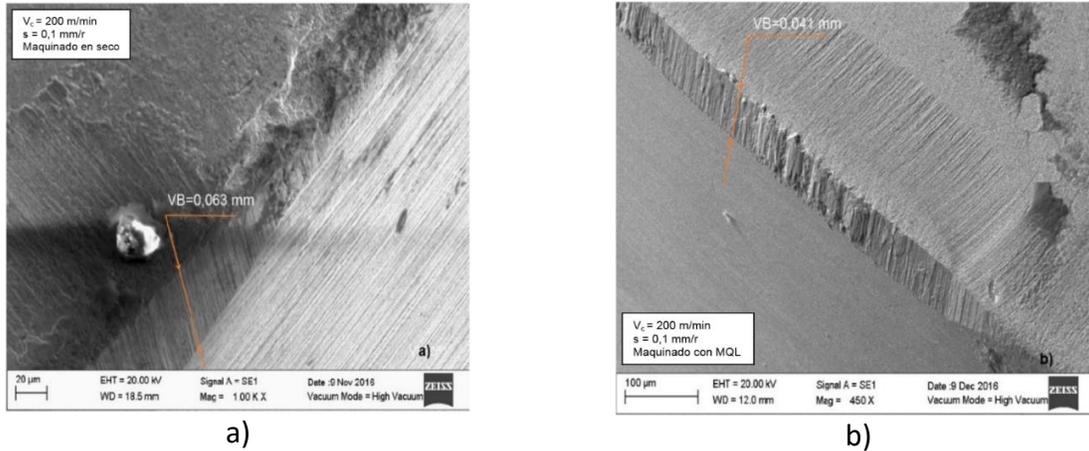


Figura 7. Desgaste en la superficie de incidencia de la herramienta de corte para la $V_c = 200$ m/min y $s = 0,1$ mm/r. a) En seco y b) con MQL.

En la figura 8 a) y b) se muestra el desgaste de la herramienta de corte en la superficie de incidencia, para la velocidad de corte de 200 m/min y 0,2 mm/r de velocidad de avance en seco y MQL respectivamente. Al igual que en el caso anterior, el inserto utilizado con MQL tuvo un mejor comportamiento, al obtenerse un menor desgaste en la herramienta de corte. Si se comparan las zonas de desgaste para la mínima velocidad de corte con el mínimo y máximo valor de velocidad de avance, se puede concluir que en el caso del maquinado en MQL y en seco, prácticamente no se aprecia variación en el desgaste. Por tanto, el comportamiento es muy similar, evidenciándose la poca influencia de la velocidad de avance en el mismo.

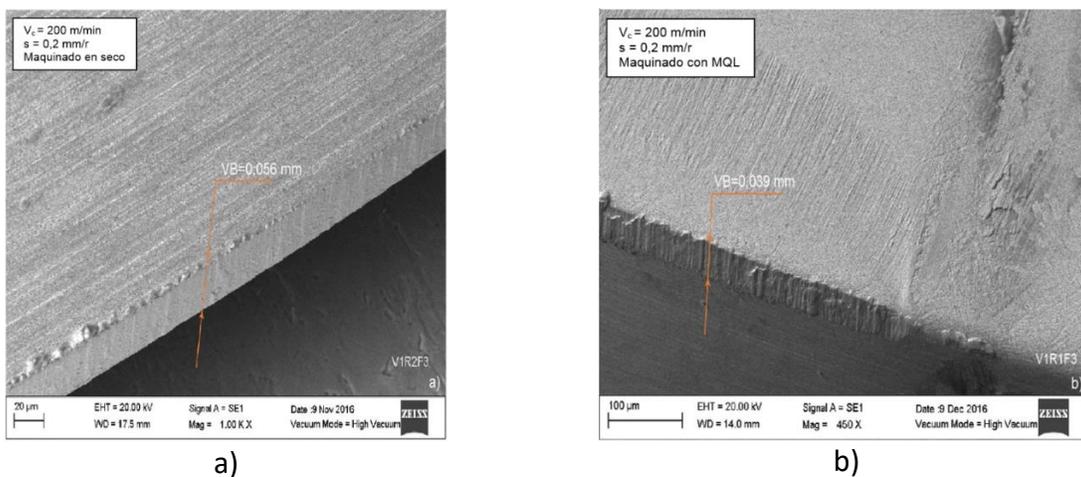


Figura 8. Desgaste en la superficie de incidencia de la herramienta de corte para la $V_c = 200$ m/min y $s = 0,1$ mm/r. a) En seco y b) con MQL

En la figura 9 a) y b) se muestra el desgaste de la herramienta de corte en la superficie de incidencia, para la velocidad de corte de 400 m/min y 0,1 mm/r de velocidad de avance en seco y con MQL respectivamente. Como se puede apreciar, la magnitud del desgaste se incrementa con el aumento de la velocidad de corte, notándose un mejor comportamiento para el inserto trabajando con MQL, cuya magnitud de desgaste fue menor.

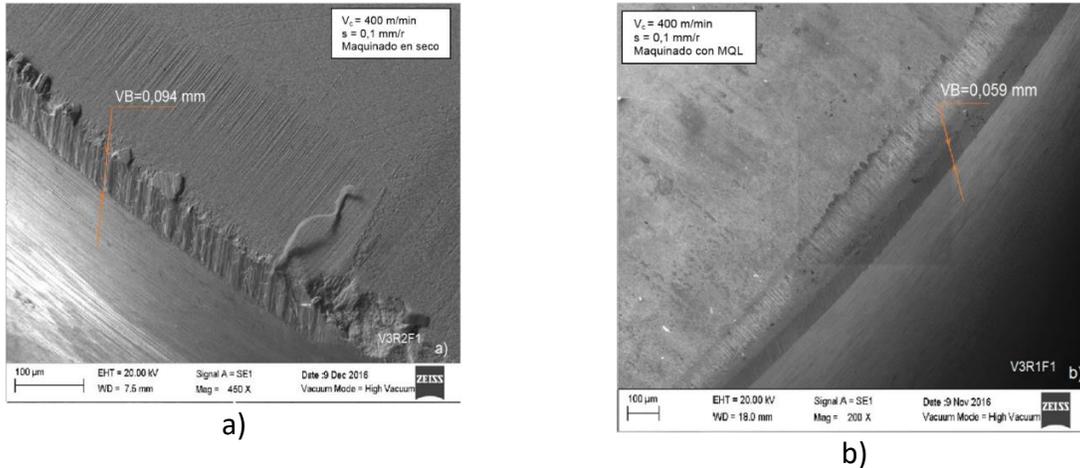


Figura 9. Desgaste en la superficie de incidencia de la herramienta de corte para la $V_c = 400$ m/min y $s = 0,1$ mm/r. a) En seco y b) con MQL

En la figura 10 a) y b) se refleja el desgaste de la herramienta de corte para la velocidad de corte de 400 m/min y 0,2 mm/r de velocidad de avance en seco y con MQL respectivamente. Se puede apreciar que, al igual que para la menor velocidad de corte, al variar la velocidad de avance, la magnitud del desgaste prácticamente no sufre variación. Sin embargo, comparado con la velocidad de corte, la variación del desgaste si es significativa, lo cual demuestra que la velocidad de corte en estas herramientas es el factor que más incide en el desgaste.

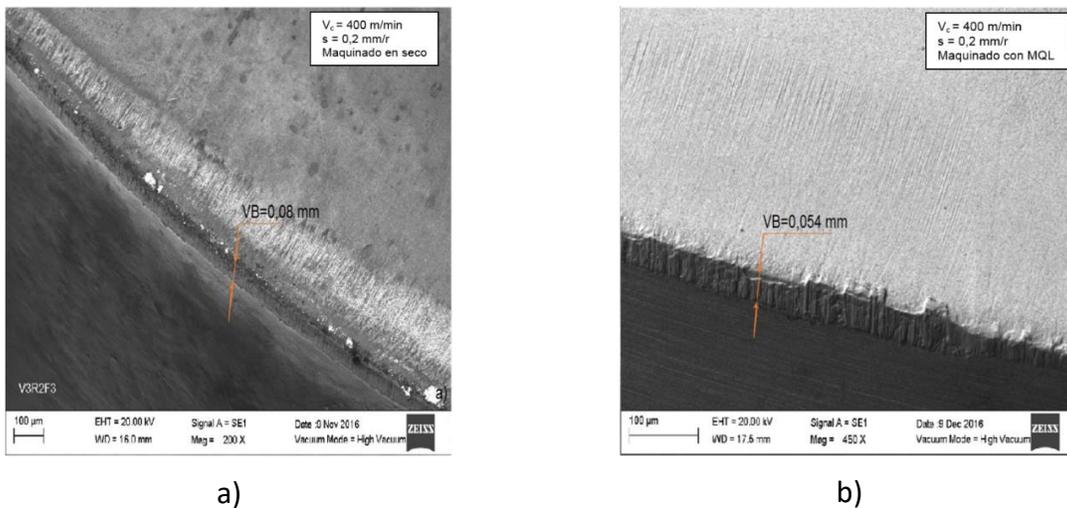


Figura 10. Desgaste en la superficie de incidencia de la herramienta de corte para la $V_c = 400$ m/min y $s = 0,1$ mm/r. a) En seco y b) con MQL

A partir de los valores de desgaste obtenidos y tomando en cuenta que la longitud de maquinado fue constante, se puede definir la progresión inicial del desgaste para ambas condiciones de lubricación. Esto permite también que se obtengan, las ecuaciones que la definen y que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Modelos de progresión inicial del desgaste obtenidos.

Régimen de lubricación	Ecuación de la progresión inicial del desgaste	R ²
Seco	$VB'_0 = \frac{V_C^{1,52} \cdot s^{0,82}}{3,25 \cdot 10^3}$	0,99
MQL	$VB'_0 = \frac{V_C^{1,42} \cdot s^{0,911}}{2,33 \cdot 10^3}$	0,92

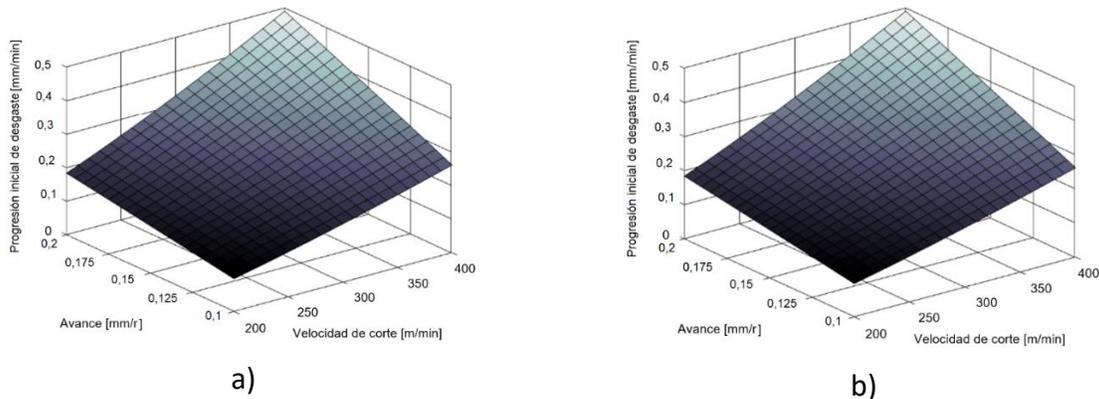


Figura 11. Comportamiento de la progresión inicial del desgaste para: a) Maquinado con MQL y b) Maquinado en seco.

La figura 11 permite apreciar como la progresión inicial del desgaste para ambas condiciones de lubricación se incrementa con el aumento de la velocidad de corte, siendo este el factor que mayor incidencia tiene, lo cual se corresponde con lo planteado en la teoría del corte de metales, siendo ésta menor durante el maquinado utilizando el MQL.

4. Conclusiones.

Se realizó un estudio que permitió obtener las ecuaciones, que integran y relacionan los parámetros del régimen de corte (V_c , s y régimen de lubricación), de la herramienta cerámica BIDE MICS JX1 con la progresión inicial del desgaste durante el torneado del acero AISI 316L.

Se utilizó el criterio de progresión inicial del desgaste (VB'_0). Se consideró que su optimización (obtención de la combinación de parámetros que brinden los menores valores de VB'_0), puede garantizar un incremento de la vida útil de la herramienta.

Se pudo demostrar el efecto estadísticamente significativo de la velocidad de corte y la velocidad de avance (V_c y s) en la progresión inicial del desgaste (VB'_0). Un aumento de la velocidad de corte provoca un incremento de la progresión inicial del desgaste, siendo más significativo para el maquinado en seco. Por otra parte, un aumento de la velocidad de avance provoca un

incremento de la progresión inicial del desgaste, siendo también más significativo para el maquinado en seco.

Referencias.

- [1] E. M. Trent and P. K. Wright, *Metal Cutting*, 4 ed. Boston: Butterworth–Heinemann, 2000, p. 464. [Online]. Available.
- [2] F. Kara, K. Aslantaş, and A. Çiçek, "Prediction of cutting temperature in orthogonal machining of AISI 316L using artificial neural network," *Applied Soft Computing*, vol. 38, pp. 64-74, 2016/01/01/ 2016.
- [3] A. Maurotto, D. Tsivoulas, Y. Gu, and M. G. Burke, "Effects of machining abuse on the surface properties of AISI 316L stainless steel," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 151, pp. 35-44 Accessed on: 8 de septiembre de 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpvp.2017.02.004> En línea. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpvp.2017.02.004>
- [4] Z. Q. Liu, J. M. Wang, and Y. Wan, "Machinability for Turning of 1Cr18Ni9Ti Austenitic Stainless Steel with Ceramic Tool," *Key Engineering Materials*, vol. 315-316, pp. 584-587 Accessed on: 19 de noviembre de 2018. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.315-316.584 en línea. Available: <https://www.scientific.net/KEM.315-316.584>
- [5] R. D. K. Misra, V. S. Y. Injeti, and M. C. Somani, "The significance of deformation mechanisms on the fracture behavior of phase reversion-induced nanostructured austenitic stainless steel," *Scientific Reports*, vol. 8, no. 1, p. 7908 Accessed on: 10 de septiembre de 2018. doi: 10.1038/s41598-018-26352-1 en línea. Available: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26352-1>
- [6] H. B. He *et al.*, "A study on major factors influencing dry cutting temperature of AISI 304 stainless steel," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 18, no. 10, pp. 1387-1392 Accessed on: 12 de enero de 2019. doi: 10.1007/s12541-017-0165-6 en línea. Available: <https://doi.org/10.1007/s12541-017-0165-6>
- [7] B. Zou, H. Zhou, C. Huang, K. Xu, and J. Wang, "Tool damage and machined-surface quality using hot-pressed sintering Ti(C7N3)/WC/TaC cermet cutting inserts for high-speed turning stainless steels," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 79, no. 1-4, pp. 197-210 Accessed on: 12 de febrero de 2019. doi: 10.1007/s00170-015-6823-x en línea. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-015-6823-x>
- [8] M. Memarianpour, S. A. Niknam, S. Turenne, and M. Balazinski, "Initial Tool Wear Mechanism in Dry and Lubricated Turning of Inconel 718," in *Advances in Engineering Research and Application*, Cham, 2019, pp. 390-397: Springer International Publishing.
- [9] M. Aramesh, Y. Shaban, S. Yacout, M. H. Attia, H. A. Kishawy, and M. Balazinski, "Survival life analysis applied to tool life estimation with variable cutting conditions when machining titanium metal matrix composites (Ti-MMCs)," *Machining Science and Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 132-147 Accessed on: 3 de enero de 2017. doi: 10.1080/10910344.2015.1133916 en línea. Available: <https://doi.org/10.1080/10910344.2015.1133916>

- [10] X. T. Duong, J. R. R. Mayer, and M. Balazinski, "Initial tool wear behavior during machining of titanium metal matrix composite (TiMMCs)," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 60, pp. 169-176 Accessed on: 5 de febrero de 2017. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2016.07.021> en línea. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263436816301858>
- [11] V. M. Bashkov and P. G. Kacev, *Prueba de resistencia de la herramienta de corte*. URSS: Construcción de maquinaria, Moscú, 1985, p. 129.
- [12] N. C. tools, "CUTTING TOOLS. NEW PRODUCTS," vol. 2, ed. Japón, 2016, pp. 2-4.
- [13] A. Mohd Ali, A. Z. Ahmad Azhar, M. M. Ratnam, and Z. A. Ahmad, "Wear Analysis of ZTA-MgO Ceramic Cutting Inserts on Stainless Steel 316L Machining," *Advanced Materials Research*, vol. 1087, pp. 101-105 Accessed on: 4 de octubre de 2018. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1087.101 en línea. Available: <https://www.scientific.net/AMR.1087.101>
- [14] A. Mohd Ali, N. S. Abdullah, M. Ratnam, and Z. A. Ahmad, "The Cutting Speed Influences on Tool Wear of ZTA Ceramic Cutting Tools and Surface Roughness of Work Material Stainless Steel 316L during High Speed Machining," *Materials Science Forum*, vol. 840, pp. 315-320. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.840.315 Available: <https://www.scientific.net/MSF.840.315>
- [15] A. Z. Ahmad Azhar, M. Mokhtar, M. M. Ratnam, and Z. A. Ahmad, "Effects of TiN Single Layer Coating on the Wear of ZTA Cutting Inserts and Surface Roughness of Workpiece," *Materials Science Forum*, vol. 888, pp. 52-56 Accessed on: 5 de diciembre de 2018. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.888.52 en línea. Available: <https://www.scientific.net/MSF.888.52>