

Rendimiento de insertos de metal duro no recubiertos, en operaciones de torneado. La influencia de la lubricación

Germán Abate^{1,2}, Gustavo Maceira^{2,3}, Daniela Pérez², Daniel Martínez Krahmer^{1,2}

Resumen

En todo proceso de mecanizado, existen varios factores que influyen sobre el desgaste de la herramienta. Entre los principales podemos mencionar: el material a mecanizar, el material de la herramienta, las condiciones de corte, la lubricación, la forma y fijación del material a mecanizar, el tipo de máquina-herramienta y su estado de uso. Por todos estos motivos, la maquinabilidad de los materiales ha sido y es investigada por diferentes autores.

En este trabajo en particular, se ha evaluado la incidencia de la lubricación, sobre el desgaste de insertos, aplicados a operaciones de torneado sobre barras trefiladas.

En tal sentido, resultó apropiado evaluar el rendimiento de insertos no recubiertos, en el torneado de un acero de corte libre SAE 12L14, utilizando un criterio de desgaste sobre la superficie de incidencia de $VB=0,5\text{mm}$ con y sin lubricación.

Las barras de 38mm de diámetro, fueron fijadas entre plato y contrapunta, con un largo expuesto de 320mm.

A partir de fijar unas condiciones de corte que garantizaron la rotura de viruta, se emplearon, una profundidad de pasada de 1,25 mm en combinación con un avance de 0,125 mm/rev, y velocidades de corte en el rango de 150 a 240 m/min. Como herramienta de corte, se usaron insertos de metal duro no recubierto, designados como CNMG 120408 de calidad ISO P40.

Los resultados de los ensayos realizados, arrojaron en el torneado en seco una velocidad

1. Laboratorio de Control Numérico y Metrología, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora

2. Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial,

3. Cátedra Tecnología Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. mkrahmer@inti.gov.ar

V15' de 278,8m/min, es decir, un valor mayor en un 12,0% al obtenido mecanizando en húmedo.

Palabras claves: insertos, metal duro, no recubiertos, desgaste en incidencia, torneado, lubricación.

1. Introducción

A diferencia de lo que sucede en un taller de mecanizado, que tiene siempre entre sus objetivos disminuir los tiempos de fabricación, y por ese motivo utiliza insertos recubiertos, un laboratorio de ensayo, que desea evaluar como un material a mecanizar desgasta un inserto, o como resulta la influencia en el desgaste de emplear o no lubricante de corte, utiliza insertos no recubiertos para realizar estas pruebas.

Básicamente, las razones obedecen a tres motivos: 1) dado que estos ensayos de duración de filo demandan mucho tiempo de máquina y material, una manera de reducir los costos radica en emplear insertos que se desgastan fácil-

mente, como es el caso de los no recubiertos, 2) porque usar un inserto con recubrimiento significa que dos materiales conforman la herramienta de corte, cada uno con una tasa de desgaste propia [1], situación que no hace otra cosa que dificultar la evaluación dimensional de la zona desgastada, y 3) seguramente, en razón de lo comentado antes, la Norma ISO 3685 sobre "Ensayos de vida para herramientas monocortantes de torneado" [2], establece exclusivamente realizar evaluaciones de duración, empleando calidades de insertos no recubiertos.

La situación comentada al principio hace que los grandes fabricantes de herramientas de metal duro orienten sus insertos a calidades con recubrimiento [3,4,5], en detrimento de las que no lo poseen, de manera que se hace muy difícil para los laboratorios de ensayo, poder cumplir la condición de la Norma sobre usar insertos no recubiertos.

Específicamente, en relación a la lubricación, Trent [6] enumera sus objetivos: 1) prevenir sobrecalentamientos y distorsiones geométricas sobre la pieza, máquina, y herramienta; 2) incrementar la duración de los filos de las herramientas; 3) mejorar la terminación superficial; y 4) remover la viruta de la zona de corte.

Esta claro que, desde el punto de vista de la producción y sus costos, la utilización de lubricantes de corte, traerá aparejado, no sólo un aumento de los mismos, sino también la necesidad de disponer de un amplio espacio en la fábrica, tanto para su almacenamiento y deposición, esto más allá de la afectación ambiental que genera.

Incluso, su incidencia en los costos, según el tipo de empresa, se sitúa habitualmente entre un 7,5% a 15% [7]

Por todas estas razones, su empleo deberá justificarse plenamente.

Por otra parte, una extensa revisión de la bibliografía nos muestra que la mayoría de los trabajos de investigación realizados sobre duración de filo de herramientas en operaciones de torneado, se orientan a comparar el rendimiento de varias calidades recubiertas entre sí, o a lo sumo, de una calidad no recubierta con varias recubiertas (antes de seguir avanzando, queremos recordar que se denomina vida o duración

de una herramienta, al tiempo de corte total obtenido hasta alcanzar un desgaste predeterminado. Es por esta razón que muchas veces cuando se habla de duración y desgaste, pudiera parecer que fueran sinónimos).

Dando mayores precisiones, C. Haron [8] comparó en pruebas de torneado de un acero de herramientas denominado 95MnCrW1 con una dureza HRC23, la duración de insertos romboidales del tipo V de 35° con y sin recubrimiento, efectuando el mecanizando tanto en seco como en húmedo (con lubricación). Los resultados obtenidos mostraron que los insertos recubiertos presentaron una tasa de desgaste mucho menor que los no recubiertos. Adicionalmente se observó que, en condiciones húmedas, las duraciones alcanzadas lo hicieron en el mismo sentido, aunque con un sensible incremento, respecto de los valores obtenidos en seco. Para dar una idea, los insertos no recubiertos duraron menos de 5 minutos a una velocidad de corte de 75m/min mientras que, los recubiertos llegaron a 7 minutos de duración a una velocidad de 350m/min, en ambos casos sin usar lubricación. De estos resultados se desprende que, la velocidad de 75m/min resultó un valor límite para el inserto no recubierto. Por el contrario, un rango de velocidades entre 250 a 350m/min, resultaría una condición de corte adecuada en el caso de emplear los insertos recubiertos.

Por otra parte, R. Yigit [9] evaluó la evolución del desgaste de insertos recubiertos y no, en el torneado en seco de una fundición nodular de dureza HB 258, a cuatro diferentes velocidades de corte (rango empleado de 125 a 200m/min). Se utilizaron insertos con sustrato de metal duro (WC+Co) y geometría SNMA 120408 de tres diferentes tipos: sin recubrimiento, con una capa exterior de TiN de 7,5mm y con recubrimiento exterior de TiN de 10,5mm de espesor.

En todos los casos analizados, el inserto recubierto de TiN de 10,5mm fue aquel que presentó el mejor comportamiento frente al desgaste, si bien las diferencias a su favor, no resultaron muy significativas.

Habitualmente los estudios de desgaste de herramientas se realizan en condiciones estables de corte. Por el contrario, M. Kayhan [10] se propuso entender la duración de los filos de

corte, en el caso de encontrarse sometidos a vibraciones autoexcitadas (chatter).

La investigación del chatter ha mostrado que la profundidad de pasada, es el factor de corte más crítico que afecta la estabilidad del proceso, y su aparición durante el mecanizado es una de las limitaciones más importantes en la producción de piezas.

En este trabajo, los datos fueron recolectados en procesos de torneado, utilizando insertos de metal duro sin recubrimiento, mecanizando un acero AISI 1040, tanto en condiciones estables como de chatter. También fueron analizadas la influencia de las condiciones de corte, y la severidad del chatter. Los resultados obtenidos mostraron una reducción de la vida útil con el chatter, tanto mayor cuanto más severo resultó ser. La disminución de la duración fue del orden del 50%, incrementándose a 80% en el caso de un chatter más severo, e incluso, su efecto fue más negativo a medida que se aumentaba la velocidad de corte. Resulta evidente entonces que, un sistema de mecanizado más rígido puede proveer una solución eficaz para disminuir las vibraciones autoinducidas.

Por su lado, M. Khan [11] estudió la incidencia del sistema de lubricación (MQL=Minimum Quantity Lubricant, húmedo, y seco), aplicando un aceite vegetal, en el desgaste de insertos de metal duro no recubiertos del tipo SNMG 120408, durante el torneado de acero AISI 9310 con una dureza HB 257. De los tres métodos de lubricación evaluados, el sistema MQL fue aquel que produjo los menores valores para el desgaste a igual tiempo de corte, mientras que el corte en seco resultó el de peor performance.

En el caso de M. Rogante [12], se propuso evaluar el desgaste de insertos de metal duro tipo TNMG 220408 con y sin recubrimiento, aplicados al torneado de semiterminación en seco de un acero SAE 1045 de dureza HB 191, utilizando un torno de control numérico. Los resultados obtenidos mostraron que empleando insertos recubiertos pudieron alcanzarse tiempos de mecanizado de al menos un 50% mayor, que en el caso de usar no recubiertos.

Con el objeto de considerar la influencia de un tratamiento criogénico aplicado a insertos de metal duro no recubiertos, S. Gill [13] realizó

ensayos de torneado en seco y húmedo sobre un acero SAE 1060, utilizando cuatro velocidades de corte en el rango de 110 a 180m/min, midiendo en todos los casos la evolución del desgaste en la superficie de incidencia (criterio de interrupción de los ensayos $VB=0,6\text{mm}$).

Los resultados obtenidos mostraron que, los insertos con tratamiento criogénico rindieron de mejor modo cuando se trabajó en húmedo, y que incluso esta tendencia se acentuó a mayores velocidades de corte.

Trabajando sobre Inconel 718 de dureza HRC 32, A. Bhatt [14] midió el desgaste en insertos tipo RCMT 1204, tanto recubiertos como no, en operaciones de torneado en terminación. Las tres velocidades de corte utilizadas se encontraron en el rango de 50 a 100m/min.

Llamativamente, a la menor velocidad de corte de 50m/min, los insertos sin recubrimiento produjeron el mejor rendimiento, en tanto que a la velocidad intermedia de 75m/min esta situación se alcanzó con el inserto recubierto con TiAl PVD. Para finalizar, a la velocidad de 100m/min, el inserto con triple capa TiCN+Al₂O₃+TiN CVD resultó aquel que mejor se comportó.

Ensayando un par de materiales relativamente modernos, como el Ti6Al4V y otro similar de maquinabilidad mejorada, el TIMETAL, ambos con una dureza en el entorno de los HB 240, M. Armendia [15], usando insertos no recubiertos del tipo CNMG 120408 en operaciones de torneado húmedo (aceite emulsionable al 7% con caudal de 12 l/min), y a velocidades de corte en el rango de 50 a 100m/min, midió el desgaste sobre la superficie de incidencia. Los resultados alcanzados mostraron que hasta los 80m/min no hubo diferencia entre los materiales mecanizados, en tanto que a 90m/min y 100m/min, la maquinabilidad del TIMETAL fue significativamente superior.

Asimismo, A. Sahoo [16] en el torneado de terminación en duro de un acero AISI 4340 de dureza HRC 47, midió el desgaste en incidencia sobre insertos del tipo CNMG 120408 recubiertos y no recubiertos, a una velocidad de 150m/min y en seco. En estas condiciones, los insertos recubiertos con TiN produjeron una duración de filo de 19 minutos, en tanto que los de ZrCN de 8 minutos, mientras que los no recubiertos no

llegaron al minuto de duración.

Por último, D. Martínez Krahmer [17], realizando pruebas de torneado, comparó la duración de tres calidades de insertos de metal duro no recubiertos, resultando aquellos designados como ISO P10 superiores en al menos un 11% en relación a otros de menor resistencia al desgaste, como fueron aquellos de calidades ISO P20 e ISO P40.

Siendo entonces que, una amplia revisión de la bibliografía nos muestra pocos antecedentes en cuanto a la evaluación de la incidencia de la lubricación, sobre el desgaste de las herramientas de corte, y con el objeto de evidenciar, que no siempre es necesario el uso de lubricantes de corte, sino que debiera efectuarse un análisis en cada caso, en este trabajo nos propusimos analizar el rendimiento de insertos no recubiertos, en el torneado con y sin lubricación de un acero de corte libre SAE 12L14.

2. Procedimiento experimental

2.1 Materiales y equipos

2.1.1 Material de trabajo

El material evaluado fueron barras de acero trefilado grado SAE 12L14, de 38,1mm de diámetro cortadas a una longitud de 350mm, cuya composición química se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero SAE 12L14

Material	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Pb
SAE 12L14	0,05-0,09	0,90-1,15	0,04-0,09	0,26-0,35	0,02	0,20-0,35

Se prepararon probetas metalográficas, conteniendo una sección longitudinal y otra transversal de la barra.

Las probetas fueron atacadas empleando nital 2%. Las inclusiones se clasificaron de acuerdo con la Norma ASTM E45, mientras que el tamaño de grano lo fue según la Norma ASTM E 112.

Las observaciones, se hicieron con un microscopio óptico marca ZEISS, AXIOTECH, mientras que la microdureza fue determinada con un microdurómetro Vickers, marca Shimadzu HMV 2000.

2.1.2 Máquina y herramienta empleadas

Para efectuar los ensayos de rendimiento, se

utilizó un torno de control numérico Promecor SMT 19.

Las herramientas de corte usadas, fueron insertos no recubiertos del tipo CNMG120408 de calidad ISO P40, con montaje en portainsero MCLNR-2525M12.

2.2. Condiciones operativas del proceso de torneado

En primer lugar, se realizaron pruebas tendientes a establecer un valor de avance que, en combinación con una profundidad de pasada de 1,25mm, produjese la rotura de viruta. Este avance resultó ser de 0,125mm/v.

Para fijar las velocidades de corte, se tomaron como referencia valores indicados por los principales fabricantes de insertos de metal duro, resultando así un rango de 150 a 240m/min.

Las barras de 38mm de diámetro, fueron fijadas entre plato y contrapunta, con un largo expuesto de 320mm.

Lubricante: aceite emulsionable sintético al 5%. Caudal = 10 l/min.

2.3 Medición de desgaste

El desgaste VB sobre la superficie de incidencia de los insertos, fue determinado usando un banco de medición óptico marca Dormer. A pesar que la Norma ISO 3685 establece un criterio de interrupción de ensayo de VB = 0,3mm este desgaste fue fijado en un valor de 0,5mm dado que la calidad ISO P40 es de reducida resistencia al desgaste.

3. Resultados y discusión

3.1 Material a mecanizar

Sobre el material a ensayar, se realizaron mediciones de microdureza Vickers, según la Norma ASTM E 384, empleando 500X y una carga de 1000 gf, sobre una sección transversal, resultando un valor HV de 200 ± 5 .

El análisis metalográfico reveló que, el material presenta una microestructura laminada en caliente, constituida por una matriz de granos equiaxiales de ferrita, con una menor proporción de perlita distribuida en bandas y de forma heterogénea en la matriz; correspondiéndole un tamaño de grano equivalente al N° 6.5 (ver Fi-

gura 1).

Las inclusiones corresponden al tipo A (sulfuro), serie fina N° 2 ½ y serie gruesa N° 2, y tipo D (óxido), serie fina N° ½ (ver Figura 2).

La microestructura del borde correspondiente a la superficie exterior de la muestra es similar a la del núcleo, observándose granos deformados plásticamente, provenientes del trabajo de deformación plástica en frío (trefilado).

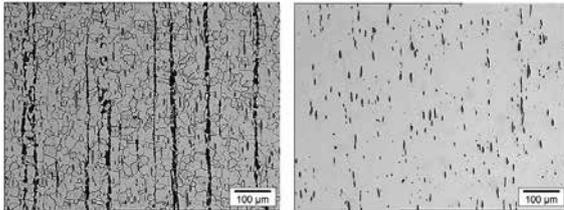


Figura 1. Microestructura (100x) Figura 2. Inclusiones (100x)

3.2 Resultados del mecanizado

A continuación presentaremos los valores obtenidos, diferenciados según se haya utilizado o no, lubricante de corte.

3.0.1 Torneado en seco

En las figuras 3, 4, y 5 se presentan los valores medidos para las curvas de desgaste, así como las curvas de ajuste cuadrático y su ecuación correspondiente, para las velocidades de 240, 180 y 150m/min respectivamente.

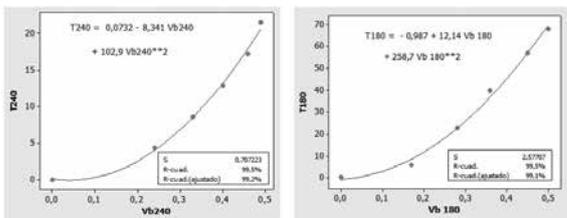


Figura 3. Curva de desgaste para Vc=240/min. Figura 4. Curva de desgaste para Vc=180m/min.

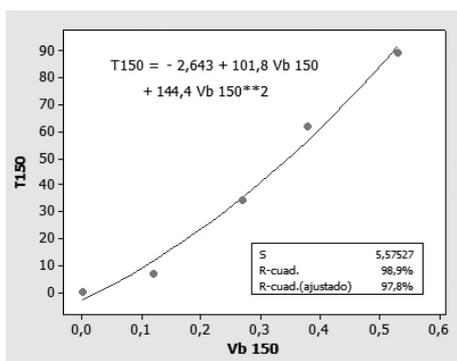


Figura 5. Curva de desgaste para Vc=150/min.

3.0.2 Torneado en húmedo

En las figuras 6, 7, y 8 se presentan los valores medidos para las curvas de desgaste, así como las curvas de ajuste cuadrático y su ecuación correspondiente, para las velocidades de 240, 180 y 150m/min respectivamente.

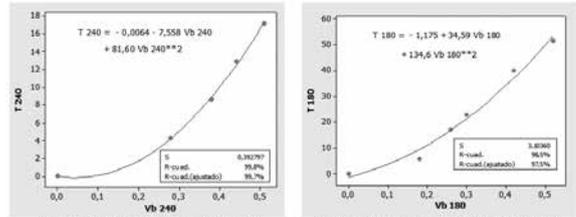


Figura 6. Curva de desgaste para Vc=240/min. Figura 7. Curva de desgaste para Vc=180m/min.

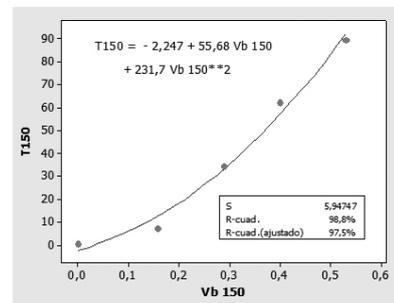


Figura 8. Curva de desgaste para Vc=150/min.

3.3 Tipo de viruta

En lo que respecta a las virutas generadas durante las pruebas, se pudo apreciar que la forma predominante en todos los casos correspondieron al tipo 6.2 (viruta en arco corto), según el anexo G: Chip Characteristics, Table G.1- Chip forms, de la Norma ISO 3685:1993(E). Esta viruta es típica en el torneado de aceros de corte libre, dado que tanto los sulfuros de manganeso, como el plomo que se mantiene en solución sólida, producen una discontinuidad en la microestructura que favorece el corte de viruta, independientemente de las condiciones de corte y del filo del inserto.

3.4 Curva de Taylor

A partir de las distintas curvas de desgaste obtenidas (ver figuras 3 a 8 inclusive), se determinaron los puntos necesarios para poder ajustar la curva de Taylor, para ambos ensayos. Estos valores se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2. Valores Vc vs T para las distintas calidades ensayadas

Velocidad de corte (m/min)	Lubricación	Duración de filo T (min)
150	No / Si	84,4 / 83,5
180		69,8 / 49,8
240		21,6 / 16,6

Finalmente, al realizar el análisis de estos últimos valores según de la Norma ISO 3685, se obtuvieron los parámetros calculados siguientes, tal como lo indican los anexos D y F, de la citada Norma (ver tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de la curva de Taylor:

Material	Lubricación	Exponente	Constante (m/min)	V _{15'} (m/min)	Incremento V _{15'} (%)	Coefficiente de Correlación R ²
Acero SAE 12L14	No	0,33	686,5	278,8	-----	0,931
	Si	0,29	543,5	249,1	+ 12,0	0,994

Examinando la Tabla 2, se desprende que, las duraciones mínimas de filo alcanzadas fueron de mayores a 15 minutos en todos los casos. Se desprende entonces que, las V15' obtenidas (ver tabla 3), se encontraron por encima del intervalo específico de velocidades usado durante las pruebas.

Con información la información de las tablas 2 y 3, se construyó a partir de las ecuaciones de Taylor correspondientes, un diagrama que incluye a las dos curvas en forma superpuestas, tal como se muestra en la figura siguiente:

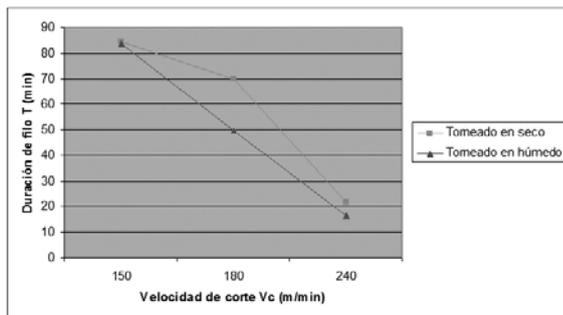


Figura 9. Curvas de Taylor superpuestas

De la observación de este gráfico se puede concluir que, efectuar el torneado en seco repercutió positivamente en la duración del filo del inserto, principalmente en la velocidad de corte intermedia (180m/min).

4. Conclusiones

- Contrariamente a lo esperado, el torneado en seco produjo una mejora en la duración del filo de las herramientas usadas en el mecanizan-

do de acero SAE 12L14, en todas las velocidades de corte testeadas. Esto puede deberse a una acción ineficiente de la lubricación (poco caudal y/o presión), ya que las oscilaciones de temperatura resultantes de estas faltas, podrían inducir fatiga térmica sobre el filo, aumentando así su tasa de desgaste. Por el contrario, en el mecanizado en seco siempre hay una mayor estabilidad térmica.

- Los resultados de los ensayos realizados, arrojaron con el torneado en seco una velocidad V15' de 278,8m/min, es decir, un valor mayor en un 12,0% al obtenido mecanizando en húmedo.

- Tal como lo indican los resultados de los ensayos realizados, la posibilidad de eliminar la utilización de lubricantes de corte, en casos como este, se traduciría en el ámbito de la producción, tanto en una disminución de los costos de producción, como de la afectación ambiental.

- Para el acero ensayado, una duración económica de los filos (mayores a 15 minutos), se podrían obtener a velocidades menores o iguales a unos 250 m/min.

- El tipo de viruta obtenida en todos los casos (conocida como arco corto), es ideal para el mecanizado en máquinas automáticas, dado que su reducido tamaño y longitud, no requiere de paradas de máquina, que tienen por objeto remover enredos de viruta.

Referencias

- [1] C. Godoy y otros, Análise topográfica por perfilometría de desgaste de cratera en herramienta de metal duro revestida con TiN, Actas del Congreso CONAMET/SAM 2002, Santiago de Chile (paper).
- [2] Norma ISO 3685:1993, Tool life testing, with single point turning tools (Norma).
- [3] www.sandvik.coromant.com (página web).
- [4] www.iscar.com (página web).
- [5] www.kennametal.com (página web).
- [6] E. Trent, Metal cutting, Butterworth-Heinemann, Cuarta edición, USA, 2000 (libro).
- [7] D. Martinez Krahmer, Sobre algunos procesos de agujereado, Editorial Nueva Librería, Buenos Aires, Argentina, 2010 (libro).
- [8] C. Haron y otros, Wear of coated and uncoated carbides in turning tool steel, Journal of

Materials Processing Technology, 2001 (paper).

[9] R. Yigit y otros, Effect of cutting speed on the performance of coated and uncoated cutting tools in turning nodular cast iron, Journal of Materials Processing Technology, 2008 (paper).

[10] M. Kayhan, An experimental investigation of chatter effects on tool life, Engineering Manufacture, 2009 (paper).

[11] M. Khan, Effects on minimum quantity lubrication on turning AISI 9310 alloy steel using vegetable oil-based cutting fluid, Journal of Materials Processing Technology, 2009 (paper).

[12] M. Rogante, Wear characterisation and tool performance of sintered carbide inserts during automatic machining of AISI 1045 steel, Journal of Materials Processing Technology, 2009 (paper).

[13] S. Gill y otros, Wear behaviour of cryogenically treated tungsten carbide inserts under dry and wet turning conditions, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2009 (paper).

[14] A. Bhatt, Wear mechanisms of WC coated and uncoated tools in finish turning of Inconel 718, Tribology International, 2010 (paper).

[15] M. Armendia, Comparison of the machinabilities of Ti6Al4V and TIMETAL using uncoated WC-Co tools, Journal of Materials Processing Technology, 2010 (paper).

[16] A. Sahoo y otros, Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts, Measurement, 2012 (paper).

[17] D. Martinez Krahmer y otros, Rendimiento de insertos de metal duro no recubiertos en operaciones de torneado. La influencia de la calidad del inserto, Congreso SAM / CONAMET, Misiones, 2013 (paper).