

# Insertos de WC recubiertos con nanomulticapas de [TiN/TiAlN]: Evaluaciones mecánicas durante el maquinado

## *WC inserts coated with TiN/TiAlN nanolayers: Mechanical evaluations during machining*

Recibido: 15-06-10 Aceptado: 28-10-10

FEDERICO MARTÍNEZ ANEIRO<sup>1</sup>  
MIGUEL VIDAL<sup>1</sup>  
TERESA SÁNCHEZ<sup>1</sup>  
LUIS HENRY MORENO<sup>2</sup>  
PEDRO PRIETO<sup>3</sup>

### Resumen

Dado que la evaluación física de los recubrimientos no brinda suficiente información sobre el comportamiento de insertos recubiertos durante el maquinado, en el presente estudio se han analizado insertos de carburo de tungsteno (WC) recubiertos con multinanocapas de [TiN/TiAlN]<sub>n</sub> (200 y 300 capas) con un espesor de 4 μm utilizando la técnica de deposición física reactiva en fase vapor (PVD) y se compararon con insertos recubiertos tipo monocapa de TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN (TINAL) producidos de forma industrial. Mediante esta técnica las capas depositadas están en el rango de los nanómetros.

Se realizaron ensayos de temperatura, mediciones de rugosidad superficial en la pieza, huella de contacto y se mostraron resultados de desgaste. Los ensayos se llevaron a cabo sobre probetas de acero AISI 4340 endurecido 50HRC aplicando altas velocidades de corte (HSC).

Los valores de temperatura fueron inferiores. Así, para los insertos de 300 capas la disminución fue de 520 °C y para los de 200 capas de 770°C.

Los resultados de los ensayos de desgaste demostraron que los insertos recubiertos con 200 y 300 capas alcanzaron valores de vida útil mayores en un 44% y 57 % respectivamente, comparados con el valor obtenido (7600m) por el inserto de TINAL.

**Palabras clave:** Multinanocapas, desgaste, temperatura, rugosidad superficial, pulverización catódica, [TiN/TiAlN].

### Abstract

The physics evaluation of the coating inserts don't give enough information about the results during the machining, the present paper presents a study of tungsten carbide inserts (WC), coated with multinanolayers of [TiN/TiAlN]<sub>n</sub>. The coating has a 4μm thickness and contains 200 or 300 layers. This has been obtained by using a Plasma Assited Physical Vapor technique (PVD). The results obtained during the experiments were compared with the monolayer coated inserts (TiCN- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> -TiN) produced in an industrial way. This technology enables layers thickness to be in the order of nanometers.

Tool life, temperature, roughness of the surface on the workpiece and in the inserts, and the print of contact were the variables measured during experimentation. The tests were carried out using AISI 4340 steel workpiece with 50 HRC and using High Speeds Cutting (HSC).

1 PhD, Grupo de Materiales Dpto. de Tecnología Facultad de Ingeniería Mecánica ISPJAE, Profesor titular La Habana, Cuba.  
2 Laboratorio de Recubrimientos Duros del CDT-ASTIN SENA, Cali, Colombia. lhmoreno@sena.edu.co  
3 Centro de Excelencia de Nuevos Materiales de Universida del Valle, Cali, Colombia.

The values of temperature that measured the tools studied were lower than usual; the temperature decrease was of 520°C for the inserts coated with 300 layers and of 770°C for the inserts coated with 200 layers.

The wear test results, demonstrated that the coated inserts with 200 and 300 layers, reached tool life bigger in 44% and 57% respectively, compared with the values obtained (7600m.) by inserts of TINAL.

**Key words:** Multinanolayers, wear, temperature, surface roughness, magnetron sputtering, [TiN/TiAlN].

## Introducción

En la actualidad las capas duras y finas depositadas mediante deposición física a vapor (PVD) –por ejemplo nitruro de titanio (TiN)– o por deposición química a vapor (*chemical vapour deposition CVD*) –por ejemplo alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)–, son frecuentemente utilizadas para mejorar el comportamiento tribológico en muchas aplicaciones de la ingeniería (Grzesik and Nieslony, 2004).

Para entender las relaciones entre las propiedades intrínsecas de la capa del sustrato y el comportamiento tribológico del compuesto en diferentes sistemas, es necesario profundizar en su estudio.

Para el incremento de la productividad y la vida útil, el desarrollo de la tecnología de los depósitos mediante PVD favorece la introducción de nuevas multinanocapas en los laboratorios de investigación y amplía el mercado con productos mucho más resistentes al desgaste, incluso para trabajo en seco, por ejemplo nitruro de cromo (CrN), nitruro de titanio aluminio (TiAlN y carbonitruro de titanio (Ti, CN), como también multicapas llamadas superredes, como son (Ti, Zr)N, (Ti, Nb)N, etc. Igualmente se investiga el comportamiento de compuestos duros nanoestructurados ternarios y cuaternarios basados en los sistemas TiAl/TiAlN, TiCr/TiCrN, y TiCCN/TiNbCN, entre otros, obtenidos por pulverización y co-pulverización (sobre los cuales todavía no hay estudios amplios) y que prometen una amplia gama de aplicaciones industriales (Coelho *et al.*, 2007).

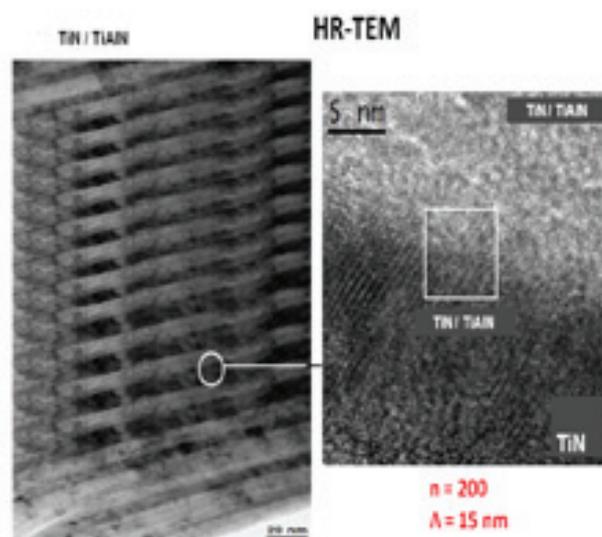
Los estudios sobre métodos reproducibles y regularizados para la determinación de las propiedades tribológicas de capas y multicapas sobre todo desde el punto de vista de maquinado son generalmente escasos. Aquellos realizados desde el punto de vista físico, aunque necesarios, no permiten una evaluación integral de los insertos recubiertos para aplicaciones en el maquinado, pues las condiciones en las cuales este se desenvuelve son sumamente complejas y difíciles (Rech, 2006; Martínez *et al.*, 2008).

Para entender, explicar o predecir el comportamiento de un componente dado, se debe poseer toda la información

pertinente sobre los parámetros o variables del sistema por lo cual el número de pruebas para obtener una caracterización general del comportamiento del recubrimiento podría ser infinito. La idea de este trabajo es seleccionar un número limitado de pruebas vinculadas al proceso de maquinado, pues las evaluaciones de carácter físico ya han sido realizadas en trabajos anteriores (Bejarano *et al.*, 2007; Bejarano *et al.*, 2006; Bejarano *et al.*, 2004; Caicedo *et al.*, 2008).

En el estudio se utilizaron insertos de WC como sustrato a los cuales se les depositaron y caracterizaron películas duras y finas de nitruro de titanio (TiN) y nitruro de titanio aluminio (TiAlN) por la técnica de pulverización catódica con campo magnético reactivo y se optimizaron los parámetros del proceso para lograr multicapas de TiN/TiAlN con el fin de estudiar el efecto sobre las propiedades físicas como alta dureza, alta resistencia al desgaste y buena adhesión al sustrato.

El principal propósito de este trabajo es la evaluación de la influencia sobre la temperatura durante el corte, la rugosidad superficial sobre la pieza y la huella de contacto. También se mencionan los resultados de desgaste de estos insertos. Los insertos recubiertos se caracterizan por el número de bicapas de [TiN/TiAlN]<sub>200</sub> y [TiN/TiAlN]<sub>300</sub> con un espesor total de todas las capas del orden de 8-10µm y espesores de las capas del orden manométrico. Los resultados obtenidos se comparan con los recubrimientos tradicionales como TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. TiN (TINAL) mediante el método de deposición con mono-capas. En la Figura 1 se muestra una microfotografía de una de las multinanocapas.



**Figura 1.** Microfotografía de una de las multinanocapas de TiN/TiAlN.

## Trabajo experimental de los diferentes ensayos

### Temperatura en la zona de corte

Para el análisis del comportamiento de la temperatura en la zona de corte para los diferentes insertos recubiertos, se montó una instalación experimental (Figura 2) utilizando el método de medición de la temperatura mediante el termopar, herramienta-pieza que se fundamenta en el principio de la unión de dos materiales diferentes en cuyo punto de contacto se produce una pequeña fem (milivoltios). Si estos dos disímiles materiales son la herramienta de corte y el material de la pieza, entonces el termopar es denominado herramienta-pieza (Stephenson, 1993). Este tipo de termopar registra la temperatura en la zona de la interface viruta-herramienta y se obtiene su valor promedio.



**Figura 2.** Esquema de la instalación experimental para la medición de la temperatura en la zona de corte (escala 1:50).

En la Figura 2 se muestra la instalación para la medición de la temperatura. El conector rotatorio de mercurio permite convertir la señal rotatoria de la pieza en el torno en una señal no rotatoria que es registrada y amplificada en el amplificador registrador, el cual dispone de un circuito integrado (C.I.) de señales AD594 que está diseñado con este fin. Tanto la herramienta como la pieza fueron adecuadamente aisladas para evitar las posibles corrientes parásitas del sistema (ruidos) y obtener así una señal lo más limpia posible. Este tipo de termopar debe ser calibrado para conocer la característica o ecuación de calibración voltaje-temperatura, la cual fue realizada con éxito y empleada en el cálculo de las temperaturas. Para estos ensayos se usaron los siguientes parámetros de trabajo:

Velocidad de corte: 117-142 y 180 m/min.

Avance: 0,07 y 0,17 mm/rev.

Profundidad de corte: 0,2 y 0,4 mm.

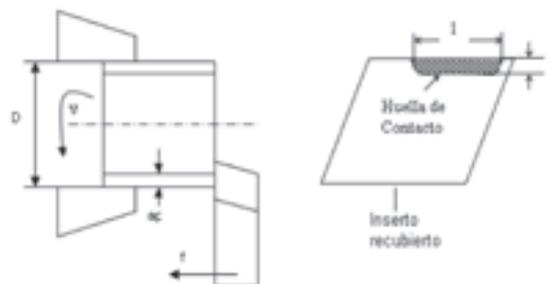
Material de la pieza: AISI 4340 con 50HRc.

### Huella de contacto

La huella de contacto es la huella que deja la viruta durante su desplazamiento sobre la superficie de ataque o salida de la viruta y en la que quedan residuos de hierro. Esta huella se mide sobre la superficie de ataque de los diferentes insertos. Su magnitud tiene una incidencia importante sobre el comportamiento del par tribológico viruta-herramienta, a saber: cuanto menor sea este contacto mejores serán las condiciones de corte, pues entre otras influencias, contribuye a que la temperatura de corte se concentre más en el borde delantero de la herramienta lo cual posibilita una mayor evacuación por la viruta. Los ensayos se realizaron con diferentes insertos: uno de WC sin recubrimiento y los demás con diferentes recubrimientos declarados como objeto de estudio.

Los experimentos se efectuaron utilizando el corte ortogonal (Rech, 2006), (Figura 3), el cual consiste en un tubo de paredes finas con el objeto de observar la huella sobre la superficie de ataque de la herramienta sin la influencia del radio del vértice ni de la fuerza radial.

Asimismo se realizaron análisis de microscopía electrónica (SEM) para conocer el comportamiento del depósito de hierro en la superficie de salida de la herramienta en la zona de la huella de contacto.

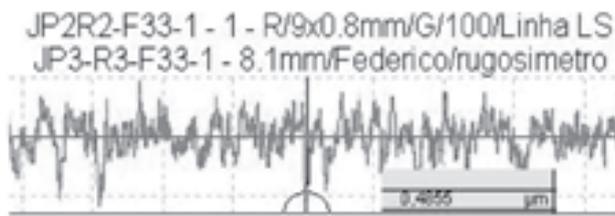


**Figura 3.** Esquema para los ensayos de la huella de contacto sobre los insertos.

### Rugosidad superficial medida sobre la pieza con los diferentes insertos recubiertos

La rugosidad superficial fue medida mediante un perfilómetro Taylor Hobson con resolución de  $0.001 \mu\text{m}$ . En la Figura 4 se muestra un ejemplo del resultado parcial de una medición. Se realizaron ocho mediciones a lo largo de la circunferencia de la probeta con dos réplicas de cada ensayo y se obtuvo un promedio. Este rugosímetro de elevada resolución permite desplazar su sensor sobre la

superficie de la pieza, la cual es puesta sobre un prisma y se fija el valor de su desplazamiento, que en este caso fue de ocho milímetros.

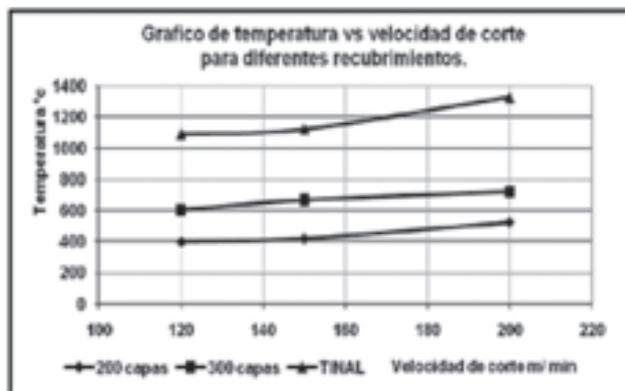


**Figura 4.** Muestra de una parte de la información que brinda el perfilómetro de las mediciones de rugosidad en la pieza.

## Resultados y discusión

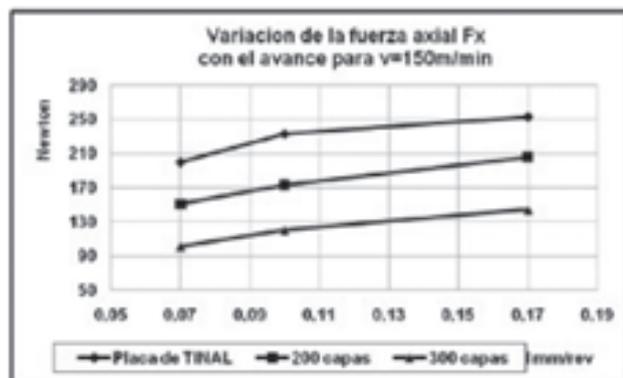
### Temperatura

En la Figura 5 se muestran los resultados de las temperaturas obtenidas para las diferentes placas recubiertas y en ella se puede observar que el inserto de TINAL es el que mayor temperatura alcanza. En los ensayos de rugosidad superficial, en su superficie de ataque, este inserto alcanzó el mayor valor al provocar una gran fricción en la zona de contacto viruta-herramienta. Esto propicia que las fuerzas de corte sean mayores y por ende la cantidad de calor que se genera es mayor, amén de que el efecto de las multinanocapas como un factor de aislamiento térmico por el efecto tribológico del par, es mayor que en el caso de las monocapas del TINAL, lo que da lugar a una menor temperatura en la zona de corte. Del gráfico de la Figura 6 se deduce que la temperatura de los recubrimientos con 200 y 300 capas es muy inferior a la temperatura de la estructura monocapa de TINAL. También el comportamiento de multinanocapas con heteroestructuras de  $[\text{TiN}/\text{TiAlN}]_{200}$  fue diferente ya que alcanzó menor temperatura que la de  $[\text{TiN}/\text{TiAlN}]_{300}$ . Es necesario profundizar en la influencia que puede tener la microdureza sobre este resultado al aumentar el número de capas o su densidad.



**Figura 5.** Temperatura alcanzada por los diferentes insertos con las mismas condiciones de corte.

Es posible presumir que la presencia de recubrimientos multinanocapas posibilita una resistencia térmica adicional en el sustrato de WC manteniéndolo a menor temperatura, lo cual ha sido comprobado por diferentes autores (Coelho *et al.*, 2007; Martínez y Battaille, 2006) y corroborado en los resultados del presente trabajo. Algunos autores consideran que las multicapas actúan como una barrera aislante (Coelho *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2010), pero otros estiman que la disminución de la temperatura se debe a las condiciones tribológicas logradas por el par. Un aspecto importante en este sentido y que reafirma esta teoría es que el uso de recubrimientos mejora las condiciones de corte. Otra ventaja consiste en la disminución de las fuerzas de corte, lo que implica una disminución del calor generado en la interface viruta-herramienta. La disminución de las fuerzas de corte se observa en la Figura 6, lo cual es coincidente con los resultados obtenidos por diferentes autores (Coelho *et al.*, 2007; Stephenson, 1993; Moreno *et al.*, 2010).



**Figura 6.** Variación de la fuerza axial para las diferentes placas investigadas.

### Rugosidad superficial de las probetas

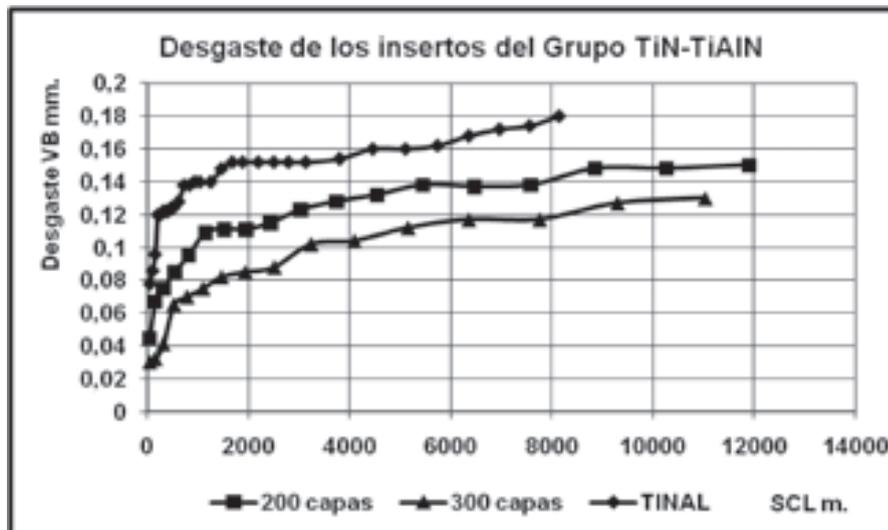
Los resultados de rugosidad superficial obtenidos sobre la probeta ensayada al emplear los diferentes insertos recubiertos no se diferencian mucho entre ellos y siempre con valores menores de  $1,4\mu\text{m}$  (Tabla 1). Para los parámetros estudiados son valores bajos y aceptables para el maquinado de piezas con elevada exigencia tecnológica; los resultados obtenidos por otros autores (Coelho *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2008) son muy similares a los logrados en el presente trabajo. Por lo general los insertos recubiertos con multinanocapas presentan gran estabilidad en los filos de las herramientas lo cual contribuye a conseguir buenos acabados superficiales en las piezas con elevadas exigencias de acabado.

**Tabla 1.** Muestra de los valores de rugosidad obtenidos en la probeta ensayada con placas de 300 capas donde  $f_n$  es el avance y  $a_p$  la profundidad de corte.

No	Velocidad	$f_n$	$a_p$	Ra $\mu_m$ media
1	142	0,07	0,4	0,8
2	142	0,17	0,4	1,48
3	180	0,07	0,4	0,875
4	180	0,17	0,4	1,46
5	142	0,07	0,2	1,22
6	142	0,17	0,2	1,42
7	180	0,07	0,2	0,9
8	180	0,17	0,2	1,44
Valor medio				1,199

### Desgaste

También con anterioridad se realizaron ensayos de desgaste. En la Figura 7 se muestran las curvas de desgaste obtenidas para los diferentes insertos recubiertos empleados. El valor de la longitud recorrida SCL se calcula según la longitud de la espiral desarrollada por el vértice de la herramienta en contacto con la pieza. Los experimentos se realizaron en régimen de acabado con alta velocidad de corte. En este caso el mecanismo de desgaste predominante es el abrasivo (Martínez y Battaille, 2006; O’Sullivan and Cotterell, 2001; Abukhshim *et al.*, 2005; Poulachon, 2003) debido a la presencia de partículas duras de carburos en la matriz del AISI4340 endurecido, las cuales en contacto con la herramienta actúan como una rueda abrasiva.



**Figura 7.** Desgaste de los diferentes insertos recubiertos.

Se observa que los insertos recubiertos con multinanocapas [TiN/TiAlN]<sub>200</sub> y [TiN/TiAlN]<sub>300</sub> poseen un resultado de mayor vida útil o longitud maquinada, que el inserto de TINAL (Bejarano Gaitan *et al.*, 2007; Bejarano *et al.*, 2006; Bejarano *et al.*, 2004; Caicedo *et al.*, 2008).

### Conclusiones

A partir de los resultados de los ensayos de los insertos [TiN/TiAlN]<sub>200</sub> y [TiN/TiAlN]<sub>300</sub> y de su análisis teórico se presentan las siguientes conclusiones:

- Estos insertos lograron disminuir las temperaturas de la zona de interface viruta-herramienta lo cual contribuye a incrementar la vida útil del inserto durante el proceso de maquinado, además de que se aleja de las temperaturas donde estos recubrimientos comienzan a disminuir su dureza y propiedades mecánicas (Machado y Coelho, 2009; Shaw, 1984).
- La rugosidad superficial (Ra) en la pieza alcanzó valores muy bajos para los diferentes recubrimientos multinanocapas pudiéndose maquinar las mismas con las mayores exigencias tecnológicas de acabados superficiales. Estos nunca superaron los valores de Ra=1,4 $\mu$ m, lo cual es adecuado para piezas con elevada exigencia de acabado.
- De los dos tipos de placas estudiadas [TiN/TiAlN]<sub>200</sub> y [TiN/TiAlN]<sub>300</sub> la última mostró en general mejores resultados, no obstante ambas poseen un comportamiento superior a insertos recubiertos con monocapas, resultados que fueron corroborados por estudios físicos realizados con estos recubrimientos.

Los recubrimientos multinanocapas mostraron un magnífico comportamiento al desgaste pues lograron longitudes de maquinado de más de 4400m al compararlos con insertos de TiCN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiN recubiertos por el método de deposición con mono-capas.

### Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el CDT-ASTIN-SENA, Centro de Excelencia de Nuevos Materiales-CENM y el Grupo de Ingeniería de Materiales del Departamento de Tecnología de la Facultad de Ingeniería Mecánica, del Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba.

## Referencias

- ABUKHSHIM, N. A.; MATIVENGA, P. T. and SHEIK, M. A.. International Journal of Machine Tools & Manufacture. 45 (2005); p. 782-800.
- ABUKHSHIM, N. A.; MATIVENGA, P. T. and SHEIK, M. A. International Journal of Machine Tools & Manufacture. 45 (2005); p. 1687-1695.
- BEJARANO GAITAN, G.; CAICEDO, J. C.; BALOGH, A. G. and GOTTSCHALK, S. Physical. Status. Solid. 4 (11) (2007); p. 4260-4266.
- BEJARANO, G.; CAICEDO, J. M.; BACA, E.; PRIETO, P.; BALOGH, A. G. and ENDERSET, S. Thin Solid Films. 494 (2006); p. 53-57.
- BEJARANO, G.; CAICEDO, J. M.; BAUDÍN, S.; DEVIA, A.; ARANGO, P. y MONTEALEGRE, G. Revista Colombiana de Física. 36 (2) (2004); p. 325-332.
- CAICEDO, J. C. *et al.*, Proceedings of "The International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films 2008". "WEAR EVALUATION OF WC INSERTS COATED WITH TiN/TiAlN MULTINANOLAYERS".
- COELHO, R. T.; NGB, E. and ELBESTAWIB, M. A. International Journal of Machine Tools & Manufacture. 47 (2007); p. 263-272.
- GRZESIK, W. and NIESLONY, P. Wear. 256 (2004); p. 108-117.
- MACHADO, A. R. y COELHO, T. C. Teoria da usinagem dos Materiais. 1ra Edición. Brazil: Editora Edgard Blucher, 2009. p. 223.
- MARTÍNEZ, A. F. y BATAILLE, T. S. Comportamiento de la temperatura al maquinarse acero endurecido con altas velocidades de corte. *En*: Proceedings IV Congreso de Ingeniería Mecánica. (2006: La Habana).
- MARTÍNEZ, A. F.; COELHO, R. T.; and BRANDÃO, L. C. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering ABCM. 30 (2) (2008); p. 104-109.
- MORENO, L. H. *et al.*. Wear Evaluation of WC Inserts Coated With TiN/TiAlN Multinanolayers. *En*: Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering ABCM. Vol. 32, 3 (2010)
- O'SULLIVAN, D. and COTTERELL, M. Journal of Material Processing Technology. 118 (2001); p. 301-308.
- POULACHON, G. International Journal of Machine Tools & Manufacture. 43 (2003); p. 139-144.
- RECH, J. Surface & Coatings Technology. 200 (2006); p. 5132 - 5139.
- SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. 1ra Edition. EE.UU.: Oxford Science, 1984. p. 355.
- STEPHENSON, D. A. Transaction of the ASME. *En*: Trans. Journal of Engineering for Industry. 115 (1993); p. 432-437.