

EVALUACION DE MAQUINABILIDAD POR TORNEADO DE UN ACERO SAE 1020 FABRICADO EN COLOMBIA

R. Castellanos Díaz⁽¹⁾, D. Martínez Krahmer⁽²⁾

(1) Instituto Universitario Experimental de Tecnología de La Victoria. Av. Universidad (al lado del Comando de FAN-Peaje). Municipio José F. Ribas. Estado Aragua. Venezuela. Teléf. 0058- 244- 3214620 - 3211856 Apartado 109 - Código Postal 2121 - IUET-LV.

(2) Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial Avenida General Paz 5445, (1650) Miguelete, Provincia de Buenos Aires, Argentina, TE: 0054-011- 4754-4072, e-mail: mkrahmer@inti.gov.ar

RESUMEN

En todo proceso de mecanizado, existen varios factores que influyen sobre el desgaste de la herramienta: el material a mecanizar, el material de la herramienta, las condiciones de corte, la forma y fijación del material a mecanizar, el tipo de máquina-herramienta y su estado. Dada la diversidad de parámetros tecnológicos involucrados en estos procesos, la maquinabilidad ha sido y es investigada por diferentes autores. En este trabajo, se presenta una metodología para evaluar la maquinabilidad por torneado de un acero trefilado-rectificado grado SAE 1020 fabricado en Colombia. 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 0.24 mm/rev, con velocidades de corte de 200, 240 y 280 m/min. Como herramienta de corte, se usó un inserto de metal duro no recubierto cuyo código es CNMG 432 ISO P40, montado sobre un portainsero MCLNL-2525M12. El proceso efectuado fue un torneado exterior en seco. Se controló la evolución del desgaste en la superficie de incidencia, hasta alcanzar el criterio de interrupción de $V_B = 0.3$ mm. Los datos obtenidos fueron analizados siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma ISO 3685:1993. Como resultado de los ensayos realizados, se obtuvieron: una velocidad $V_{15'}$ de 247m/min, mientras que la $V_{30'}$ fue de 215/min con una constante C de 422m/min. Las rugosidades superficiales encontradas disminuyeron a medida que aumentaba la velocidad de corte del ensayo. Los tipos de viruta preponderantes fueron del tipo 4.1 y 4.2 (helicoidal larga y corta respectivamente).

Palabras claves: Acero SAE 1020, maquinabilidad, desgaste en incidencia, torneado, ISO 3685.

1. INTRODUCCIÓN

A diferencia de otras propiedades mecánicas, la maquinabilidad de un material, es muy difícil de definir, dada su dependencia con muchas variables, a saber: el material a mecanizar y su estado (microestructura, dureza, composición química, método de conformación), el material de la herramienta a utilizar, si esta es recubierta o no, la geometría de corte, el tipo de proceso de mecanizado, el estado de conservación de la máquina-herramienta empleada en el ensayo, la utilización o no de fluido de corte. López [1] se refiere a aquellos “Factores que contribuyen a la variabilidad en el análisis de la maquinabilidad”, asignándole mayor importancia al desgaste de la herramienta, a las variaciones en las propiedades metalúrgicas del material a trabajar y de la herramienta, y la facilidad que tiene el material a mecanizar para formar virutas cortas.

A pesar de la resistencia que evidencian algunos autores como Trent [2] ó Micheletti [3] para precisar su definición, existen otros como López [1], que más allá de la falta de una definición universal del término, se apoya en la ASM [4] para expresar que se trata de “la cualidad o estado de ser maquinable”. De nuestra parte, podríamos decir en forma sencilla que, es la capacidad que posee el material para dejarse mecanizar. La simple intuición nos señala que un material de “buena” maquinabilidad, gastara poco el filo de la herramienta de corte, producirá menores esfuerzos durante el mecanizado, consumirá menos potencia y por supuesto generará menor cantidad de calor, que un material de “pobre” maquinabilidad.

En relación a las evaluaciones de maquinabilidad por torneado, el documento de referencia es la Norma ISO 3685 [5], la cual establece los requerimientos generales para este tipo de ensayo. La citada Norma contempla la posibilidad de utilizar bits de acero rápido (herramienta de difícil implementación dada la forma compleja y precisa de su afilado, requiriendo para efectuarlo, de un equipamiento especial y personal altamente calificado), así como también da la opción de utilizar insertos de metal duro (constituye una herramienta de simple implementación, dado que el inserto presenta geometría de corte terminada y precisa, proveniente de su propio proceso de fabricación), aunque expresa claramente que no deben poseer recubrimiento alguno.

En el caso de emplear insertos recubiertos en este tipo de ensayo, los trabajos de Godoy [6] muestran que, estando el inserto constituido por dos materiales, cada uno de ellos posee una velocidad de desgaste propia y muy diferentes entre si. A esta dificultad, se adiciona el hecho que el material del recubrimiento entorpece la medición del desgaste, y por otro lado, como el recubrimiento posee una tasa de desgaste reducida, alarga la duración del ensayo, generando un aumento en el consumo de material y de las horas-hombre de ensayo.

A pesar de lo comentado, y debido a razones más comerciales que técnicas, los principales fabricantes de insertos intercambiables de metal duro, han prácticamente discontinuado de su línea de fabricación los insertos sin recubrimiento, de manera que, se torna muy dificultoso conseguirlos, o hay que hacerlos fabricar en forma especial, con el consiguiente costo adicional que ello supone.

Otro aspecto a mencionar, se relaciona con el tipo de desgaste a medir. En el caso de mecanizado de acero, es decir, un material que por su tenacidad tiene tendencia a originar viruta larga, esta clase de material, produce en la zona del filo de corte, dos tipos de desgaste claramente diferenciados, el primero de ellos, sobre el plano de incidencia de la herramienta (aquella cara de la herramienta que enfrenta la superficie mecanizada sobre la pieza), y se denomina desgaste en incidencia. Este desgaste se manifiesta por la progresiva pérdida de material, formando el labio de desgaste.

Este primer desgaste puede ser evaluado sencillamente mediante el empleo de un instrumento óptico de bajo aumento, aunque algunos autores utilizan otros equipos como el microscopio electrónico, como Shao [7] que lo usó para estudiar la maquinabilidad de un acero inoxidable con 3%Co-12%Cr durante el proceso de fresado, o Pereira [8], que ha estudiado la influencia del azufre en la maquinabilidad de la fundición gris FC25, o Paro [9], que hace referencia a un trabajo similar, sobre el acero inoxidable X5 CrMnN 18 18.

El segundo tipo de desgaste, denominado desgaste por craterización, se produce sobre el plano de ataque o desprendimiento de viruta, por la acción que la viruta ejerce sobre esta zona de la herramienta. Este tipo de desgaste, se manifiesta particularmente sobre materiales tenaces, que forman viruta larga, y la geometría del cráter es más difícil de medir, debiendo emplearse técnicas de medición especializadas.

Una de las técnicas de medición aplicadas para este caso, es el análisis por perfilometría, usado por Godoy [6], o la interferometría de luz blanca, aplicada por Devillez [10], con el objeto de establecer la profundidad del cráter (K_T), y las cotas que determinan su posición con respecto al filo de corte (K_F , K_M y K_B).

En el presente trabajo, y dada la inexistencia de antecedentes en aquellos países al norte de Sudamérica sobre este tipo de evaluaciones, se quiere dar un aporte sobre el proceso de torneado cuando se trabaja con acero SAE 1020, ampliando un poco más, los conocimientos sobre como evaluar la maquinabilidad, tomando en cuenta los recursos naturales de la citada región, y los procesos productivos actuales.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiales y equipos

2.1.1 Material de trabajo

El material evaluado fueron barras de acero trefilado-rectificado grado SAE 1020, de 38.1mm de diámetro por 1500mm de longitud, cuya composición química se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero SAE 1020

Material	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Ni	%Cr	%Mo	%Cu	%Sn	%V
SAE 1020	0.20	0.55	0.02	0.02	0.23	0.08	0.15	0.02	0.19	0.02	0.001

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 E 45 – 01, mientras que el tamaño de grano lo fue según la Norma ASTM E 112 – 96 (04). 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 empleada

Para efectuar los ensayos de evaluación de maquinabilidad, se utilizó un torno CNC Promecor SMT-19, dotado de un alimentador de barra hidráulico.

La herramienta de corte usada, fue un inserto Kennametal sin recubrimiento código CNMG 432 calidad K420 (equivalente a una calidad ISO P40), con montaje en portainserto MCLNL-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 de 0.24mm/rev. Para fijar las velocidades de corte, se tomaron como referencia las condiciones sugeridas por Kennametal, resultando entonces en 200, 240 y 280m/min.

2.3 Medición de desgaste

El desgaste V_B sobre la superficie de incidencia del inserto, fue determinado usando un banco de medición óptico marca Dormer.

2.4 Medición de Rugosidad

Para cada velocidad de corte, se midió la rugosidad media aritmética R_a de la superficie mecanizada, en dos ocasiones, al principio del ensayo ($R_a / 1^\circ$), y una vez alcanzado el criterio de desgaste sobre el filo del inserto (R_a / u). En tal sentido, se empleó un rugosímetro portátil marca Taylor Hobson modelo Surtonic 3+.

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 384-08, empleando un aumento de 500X y una carga de 1000 gf, sobre una sección transversal de la muestra, obteniéndose los valores indicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de microdureza Vickers

Lugar de la determinación	Núcleo			Borde		
HV 1000 gf	166	167	163	201	209	205

El análisis metalográfico reveló que, el material presenta una microestructura laminada en caliente, constituida por granos recristalizados de ferrita y perlita levemente orientada; correspondiéndole un tamaño de grano equivalente al N° 8.5 (ver Figura 1). Las inclusiones corresponden al tipo A (sulfuro), serie fina; N° 1 ½, y tipo D (óxido), serie fina; N° 1. La microestructura del borde correspondiente a la superficie exterior de la muestra es similar a la del núcleo, observándose granos deformados plásticamente (ver Figura 2), proveniente del trabajo de deformación plástica en frío (trefilado).

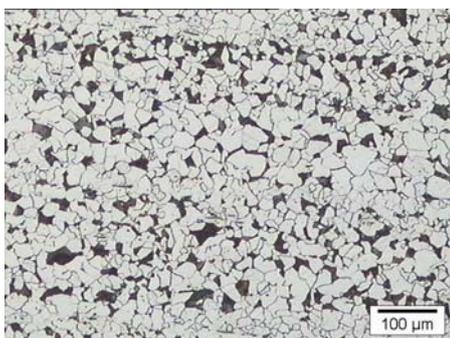


Figura 1. Microestructura (100x)

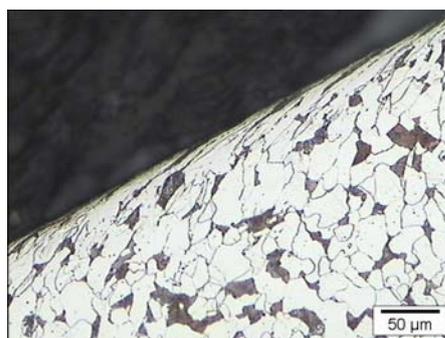


Figura 2. Microestructura del borde (200x)

3.2 Resultados del mecanizado

En las tablas 3, 4 y 5, se observan los valores de desgaste V_B , para las velocidades de 200, 240 y 280 m/min. Las mismas se acompañan con las Figuras 3, 4 y 5, correspondientes a imágenes del área de desgaste, para cada velocidad, obtenidas una vez que fue alcanzado el criterio de interrupción de ensayo ($V_B=0.3\text{mm}$). En las Figuras 6 (a), 6 (b) y 6 (c), se presentan los valores medidos para las curvas de desgaste de duración de filo T versus desgaste V_B , así como las curvas de ajuste polinómico y su ecuación correspondiente.

Tabla 3. Valores de desgaste V_B para $V_c = 200$ m/min

$V_B(\text{mm})$	0	0.12	0.12	0.14	0.17	0.19	0.19	0.20	0.21	0.22	0.22	0.24	0.25	0.28	0.30
T(min)	0	2.70	5.39	8.09	10.79	13.48	16.18	18.87	21.57	24.27	26.96	29.66	32.36	35.05	37.75

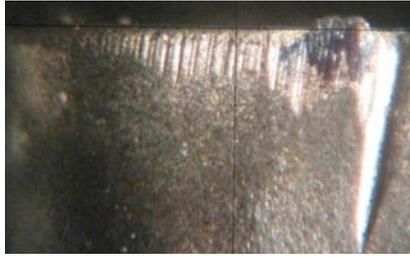


Figura 3. Desgaste de la herramienta para $V_c=200\text{m/min}$

Tabla 4. Valores de desgaste V_B para $V_c = 240 \text{ m/min}$

$V_B(\text{mm})$	0	0.11	0.16	0.17	0.19	0.22	0.26	0.28
$T(\text{min})$	0	2.25	4.50	6.75	9.00	11.25	13.50	15.75

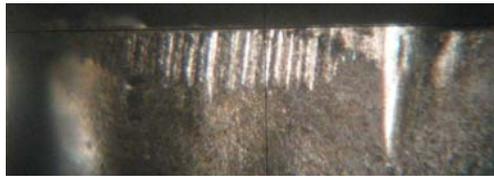


Figura 4. Desgaste de la herramienta para $V_c=240\text{m/min}$

Tabla 5. Valores de desgaste V_B para $V_c = 280 \text{ m/min}$

$V_B(\text{mm})$	0	0.15	0.19	0.26	0.30
$T(\text{min})$	0	1.93	3.85	5.78	7.70

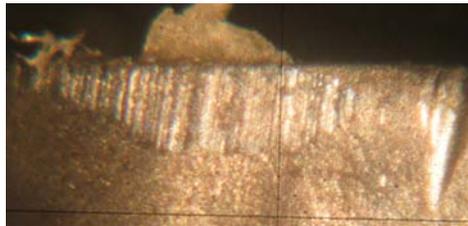
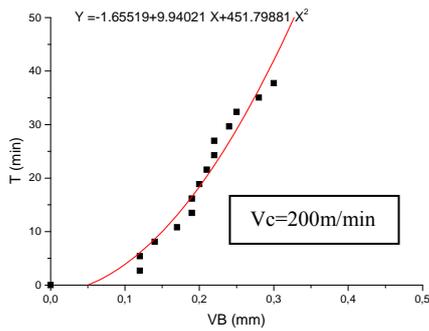
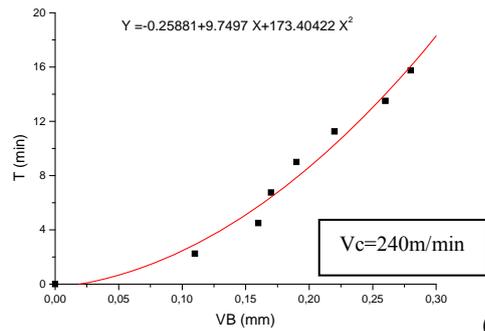


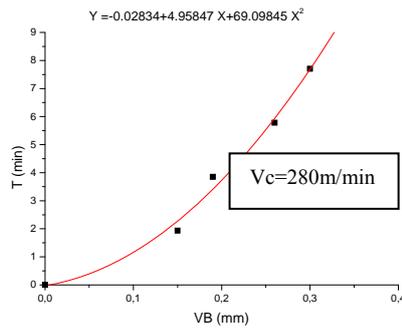
Figura 5. Desgaste de la herramienta para $V_c=280\text{m/min}$.



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Curvas de desgaste T (min) vs V_B (mm), (a) $V_c=200\text{m/min}$, (b) $V_c=240\text{m/min}$ y (c) $V_c=280\text{m/min}$.

3.3 Rugosidad superficial

La rugosidad fue medida con una longitud de referencia $L_c = 0.8 \text{ mm}$ y una longitud de evaluación $L_n = 4 \text{ mm}$. Los valores promedios obtenidos, según cada velocidad de corte, se presentan en la tabla 6, y en la Figura 7.

Tabla 6. Rugosidad superficial según la velocidad de corte

Vc (m/min)	Ra / 1° (μm)	Ra / u (μm)
200	2.69	6.23
240	2.49	4.96
280	2.15	4.20

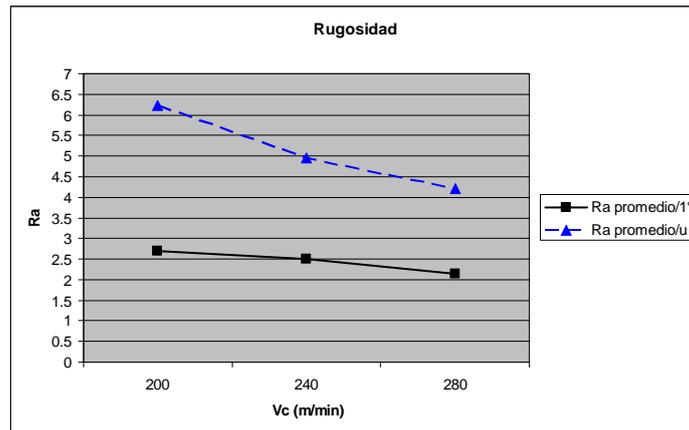


Figura 7. Rugosidad promedio R_a , para las distintas velocidades de corte, al principio y fin de cada ensayo.

En la Figura 7 se observa que, la rugosidad cambia sustancialmente cuando es medida en la primera barra mecanizada respecto de la última, como consecuencia del desgaste gradual del inserto. También se aprecia que la variación (inclinación de la curva), es más pronunciada una vez alcanzado el criterio de interrupción del ensayo, esto es, con el filo del inserto desgastado.

Además, en ambos casos, a medida que aumenta la velocidad de corte, disminuye la rugosidad.

3.4 Tipo de viruta

En lo que respecta a las virutas generadas durante las pruebas (ver tabla 7), se puede apreciar que las formas predominantes correspondieron a los tipos 4.1 (helicoidal larga), y la 4.2 (helicoidal corto), según el anexo G: Chip Characteristics, Table G.1- Chip forms, de la Norma ISO 3685:1993(E).

También es interesante comentar que la forma 6.2 (viruta en arco corto), se presentó en las primeras barras mecanizadas para las tres velocidades de corte, mientras que la viruta tipo 1.3 (viruta en forma de listón enredado), comenzaba a tomar preponderancia, cuando el rompeviruta del inserto, veía modificada significativamente su forma original.

En las Figuras 8 y 9, se presentan algunas de las formas obtenidas, para las distintas velocidades de corte.

Tabla 7. Tipos de virutas obtenidas para las distintas velocidades de corte

Vc (m/min)	Tipo de viruta
200	4.2 - 4.1 - 6.2 - 1.3
240	4.2 - 4.1 - 2.3
280	4.2 - 6.2 - 1.3

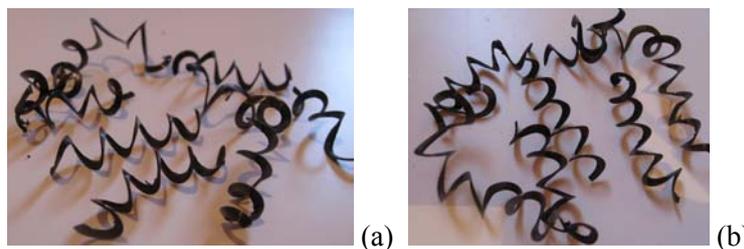


Figura 8. Tipos de virutas obtenidas: (a) para 200 m/min. y (b) para 240 m/min.

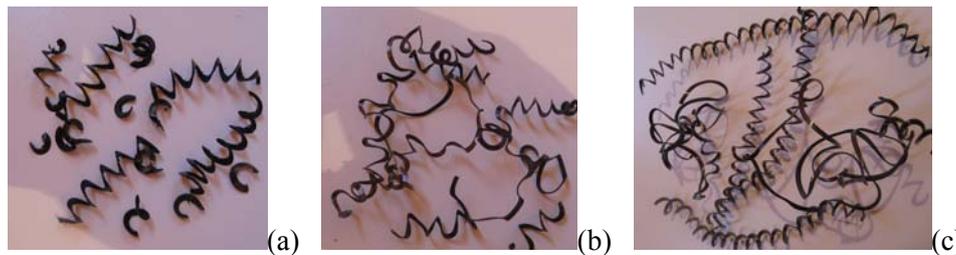


Figura 9. Tipos de virutas obtenidas para $V_c = 280$ m/min: (a) para $T = 1.3$ min, (b) para $T = 3.5$ min y (c) para $T = 7.7$ min.

3.5 Recta de Taylor

Como se ve en la Tabla 8, para la velocidad de 280 m/min., el tiempo de vida del inserto resultó de 7.7 min, valor no indicado para su uso dado que, la vida mínima esperable es de 15min.

En cambio, las otras velocidades de corte utilizadas produjeron un desempeño más cercano a lo deseable (duraciones de filo mayores a 18min).

Tabla 8. Duración de filo para las distintas velocidades de corte

V_c (m/min)	T (min)
200	42.0
240	18.3
280	7.7

A partir del trazado de la recta de Taylor, y de su análisis correspondiente según la Norma ISO 3685, se obtuvieron los parámetros calculados según los anexos D y F, de la citada Norma (ver tabla 9).

Tabla 9. Parámetros de la recta de Taylor:

Material	Exponente	Constante (m/min)	$V_{15'}$ (m/min)	$V_{30'}$ (m/min)	Coefficiente de Correlación R^2
Acero SAE 1020, origen Colombia	0.2	422	247	215	0.998

4. CONCLUSIONES

- Los parámetros de la recta de Taylor, es decir, una velocidad $V_{15'}$ de 247m/min, una $V_{30'}$ de 215/min con una constante C de 422m/min., representan valores aceptables para un acero SAE 1020.
- De las tres velocidades de corte utilizadas durante los ensayos, la velocidad de 200 m/min produjo el mejor comportamiento en términos de la duración de filo, aunque fue la de 240 m/min la que más se acercó a los valores recomendados para insertos de metal duro sin recubrimiento (15 minutos).
- Las rugosidades superficiales encontradas disminuyeron a medida que se aumentó la velocidad de corte.
- Los tipos de viruta preponderantes fueron del tipo 4.1 y 4.2 (helicoidal larga y corta respectivamente).

REFERENCIAS

1. López E., **Estudio de Maquinabilidad para Aleaciones de Aluminio Al-MgSi 6063**. Universidad Autonoma de Nuevo Leon. Mexico. Diciembre (2002).
2. Trent E. and Wright P., **Metal Cutting**, Fourth Edition, Butterworth Heinemann, USA (2000).
3. Micheletti G., **Mecanizado por Arranque de Viruta**, Editorial Blume, Barcelona, España (1980).
4. ASM, **Metals Handbook 9th edition, Vol. 16 "Machining"**. ASM International, 1989.
5. ISO 3685:1993(E), **International Standard, Tool testing with single point turning tools**.
6. Godoy C. and Avila R., **Topographic Analysis of the Crater Wear on TiN, Ti (C, N) and (Ti, Al)N coated carbide tools**. Wear 265 (2008) 49-56
7. Shao H., **Machinability study on 3% Co-12%Cr stainless steel in milling**. Wear 263 (2007) 736-744.
8. Pereira A., **The influence of Sulfur on the Machinability of Gray Cast Iron FC25**. Journal of Materials Processing Technology. 179 (2006) 165-171
9. Paro J., **Tool Wear and Machinability of X5 CrMnN 18 18 Stainless Steels**. Journal of Materials Processing Technology 119 (2001) 14-20
10. Devillez A., **Cutting Tool Crater Wear Measurement with White Light Interferometry**. Wear 256 (2004) 56-65