

## EVALUACION DE ACEITES DE CORTE EMULSIONABLES EN OPERACIONES DE AGUJEREADO

J. Szombach<sup>(1)</sup>, G. Papzuck<sup>(1)</sup>, D. Torres<sup>(1)</sup>, D. Martínez Krahmer<sup>(1)</sup>, D. Urrejola<sup>(2)</sup> y A. Bruno<sup>(2)</sup>.

(1) 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

(2) Centro de Tecnología Argentina, Repsol – YPF Baradero s/nro, (1925) Ensenada, Provincia de Buenos Aires, Argentina, TE: 0054-0221-429-8300

E-mail: mkrahmer@inti.gov.ar

**Palabras clave:** aceite, emulsionable, mecanizado, esfuerzos, rugosidad.

### RESUMEN

Es un hecho conocido que, las empresas fabricantes de lubricantes, con el objeto de asegurar la calidad del producto a los usuarios, caracterizan habitualmente sus aceites destinados al corte de metales, sobre la base de efectuar la determinación de las propiedades físicas y químicas de los aceites, obtenidas a través de ensayos de laboratorio normalizados.

Resulta claro que, del análisis de esta información técnica, no podrá desprenderse cual será el desempeño del aceite en sus condiciones reales de uso.

De los tres procesos de mecanizado tradicionales, estos son, torneado, agujereado y fresado, el proceso de agujereado califica como un método muy interesante para valorar estos aceites de corte, por varios motivos, a saber: se emplea una herramienta de muy bajo costo como es la broca helicoidal de acero rápido, esta constituye una herramienta “universal”, en razón que puede ser empleada en máquinas tan sencillas y diversas como agujereadoras, así como también en tornos, fresadoras, sean estas máquinas convencionales o de control numérico, y que particularmente, tanto el acero rápido como el proceso de agujereado, requieren del empleo de lubricantes de corte para su correcto funcionamiento.

Usualmente, para la evaluación de estos aceites en condiciones de mecanizado, los investigadores orientan sus mediciones a los esfuerzos de corte, el desgaste de la herramienta y en menor medida, a la rugosidad superficial (en contrapartida, la medición de temperatura es habitualmente descartada, dada la dificultad para obtener valores ciertos que indiquen la temperatura sobre el filo de corte). A su vez, dada la existencia de trabajos previos que indican una relación directa entre un mejor rendimiento de la broca (esto es, mayor cantidad de orificios producidos), a medida que se ve disminuida la fuerza de avance (dada la interacción del aceite en el proceso de formación de viruta), y en virtud del elevado costo de los ensayos de rendimiento, con el objeto de evaluar y comparar diferentes formulaciones de aceites emulsionables, en condiciones de mecanizado, y generar así información técnica orientada al destino de estos lubricantes, se analizaron seis aceites de corte emulsionables, a partir de efectuar pruebas de agujereado en una taladradora de columna, sobre barras trefiladas de sección cuadrada, de acero SAE 1060, empleando tres grupos de condiciones de corte, a los efectos de establecer en cada caso, por un lado, la fuerza de avance y el momento torsor medidos por un sistema que combina un osciloscopio digital con un dinamómetro piezoeléctrico de dos componentes, y por otra parte, la rugosidad resultante sobre la superficie mecanizada.

En tal sentido, se ha encontrado que, de las tres condiciones de corte empleadas, aquella que utilizó el menor avance por vuelta de 0.07mm/v, y la menor velocidad de corte de 10m/min, se ha revelado como la condición más sensible.

En referencia a las variables medidas, el momento torsor ha manifestado una ligera mayor sensibilidad que la fuerza de avance, mientras que, del análisis de los valores de la rugosidad, no se advierte tendencia alguna.

La mayor diferencia porcentual entre aquel aceite que midió el valor más alto en referencia a aquel que midió el valor más bajo, resultó ser de 5.26% en el caso de la fuerza de avance, y del 6.25% para el momento torsor, en la condición de corte más sensible.

## 1. INTRODUCCION

Las empresas fabricantes de lubricantes, con el objeto de asegurar la calidad del producto a los usuarios, caracterizan sus aceites destinados al corte de metales, sobre la base de determinar las propiedades físicas y químicas de los aceites, obtenidas a través de ensayos de laboratorio.

Es evidente que, del análisis de esta información técnica, no se desprende cual será el desempeño del aceite en sus condiciones reales de uso.

El desgaste de las herramientas de corte, y en consecuencia, su duración o vida útil, depende fundamentalmente de la temperatura alcanzada en la zona de corte, durante el mecanizado.

En los procesos de arranque de viruta existen tres fuentes de calor. La primera, es aquella que se produce en la región de cizallamiento donde ocurre la deformación plástica del material que se transforma en viruta (en la Figura 1 zona C). La segunda fuente se origina por la fricción entre la viruta y la superficie de ataque (también denominada superficie de salida) de la herramienta por sobre la cual desliza la viruta (en la Figura 1 zona A). Finalmente, la tercera fuente, se produce también por fricción, ahora entre la superficie de incidencia de la herramienta y la superficie de la pieza que se está mecanizando (en la Figura 1, zona B).

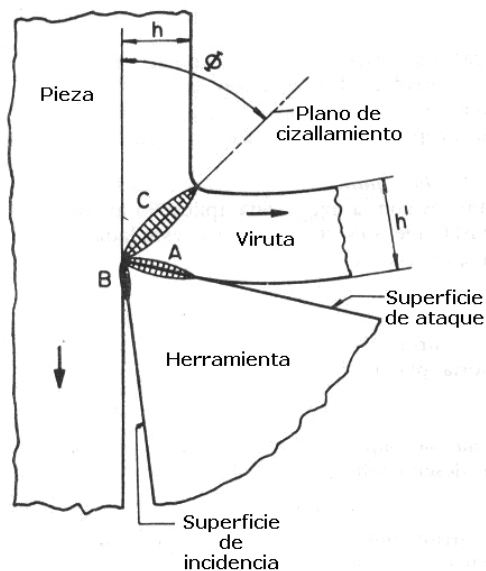


Figura 1: Fuentes de calor en la formación de viruta (según Dino Ferraresi [1]).

Es esperable que, todo aceite de corte emulsionable, provea a los filos de la herramienta, una acción combinada de lubricación-refrigeración eficiente, cuya principal función será prolongar la vida útil del filo por disminución de su temperatura mediante dos acciones simultáneas: enfriamiento y reducción de la fricción.

Eventualmente, podrá suministrar además, una mejora de la rugosidad de la superficie mecanizada.

En consecuencia, la eficiencia de un aceite emulsionable en condiciones de mecanizado, podrá ser evaluada efectuando una o más mediciones de distintos tipos, a saber: esfuerzos de mecanizado; temperatura en la zona de corte; consumo de potencia; evolución del desgaste de la herramienta; rugosidad de la superficie mecanizada; etc.

Un aceite más eficiente, promoverá una reducción de los esfuerzos de corte, como así también de la temperatura, del consumo de potencia, del desgaste de la herramienta utilizada y de la rugosidad de la superficie mecanizada.

De todos los métodos citados, los investigadores orientan sus mediciones a los esfuerzos de corte, el desgaste de la herramienta y en menor medida, a la rugosidad superficial. En contrapartida, la medición de temperatura es habitualmente descartada, dada la dificultad para obtener valores ciertos que indiquen la temperatura sobre el filo de corte, mientras que la medición de potencia no deja de ser una medición indirecta de los esfuerzos de mecanizado.

En todo proceso de arranque de viruta, intervienen varias partes. La máquina-herramienta, la herramienta y las condiciones de corte, las cuales se asocian entre sí, con la finalidad de efectuar un determinado proceso de mecanizado.

Para los investigadores, el proceso de agujereado utilizando brocas helicoidales de acero rápido, califica como el método de mecanizado tradicional más eficaz para evaluar aceites de corte dado que: se emplea una herramienta de muy bajo costo como es la broca helicoidal, muy fácil de conseguir y a la que no hay que darle forma por afilado como si sucede con las herramientas para torneado de acero rápido. Esta broca constituye además una herramienta "universal", en razón que puede ser empleada en máquinas tan sencillas, y diversas como agujereadoras, así como también en tornos, fresadoras, sean estas máquinas convencionales o de control numérico, y que particularmente, tanto el acero rápido como el proceso de agujereado, requieren normalmente del empleo de lubricantes de corte para su mejor funcionamiento.

Otro motivo importante, para la adopción de una técnica de ensayo de evaluación de aceites de corte basada en el proceso de agujereado, radica en los trabajos de W. Belluco [2]. Este autor encontró que es posible valorar un lubricante de corte midiendo en una simple prueba de agujereado, la fuerza de avance, dado que existe una relación directa entre la posibilidad de efectuar una mayor cantidad de

orificios (incremento de la vida útil), a medida que se reduce la fuerza de avance.

Por todos los motivos expuestos, con el objeto de evaluar y comparar diferentes formulaciones de aceites emulsionables en condiciones de mecanizado, se analizaron seis aceites de corte emulsionables, a partir de efectuar ensayos de agujereado, sobre barras trefiladas de sección cuadrada, de acero SAE 1060, empleando tres grupos de condiciones de corte, a los efectos de establecer en cada caso, por un lado, la fuerza de avance  $F_a$  y el momento torsor  $M_t$ , y por otra parte, la rugosidad media aritmética  $R_a$  resultante sobre la superficie mecanizada.

## 2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

#### 2.1.1 Aceites emulsionables

En la Tabla I se muestran los 6 aceites emulsionables usados en los ensayos de evaluación por agujereado, con su denominación y tipo. En todos los casos la concentración utilizada fue de 4.10% en peso de materia emulsionable.

Tabla I: Denominación de los aceites emulsionables, tipo y concentración en peso.

Denominación	Tipo
Aceite U	Semisintético
Aceite V	Semisintético
Aceite W	Sintético
Aceite X	Semisintético
Aceite Y	Semisintético
Aceite Z	Sintético

#### 2.1.2 Material a mecanizar

Para las pruebas de agujereado, se utilizaron barras trefiladas de sección cuadrada de 19mm de lado de acero SAE 1060.

La composición nominal de este acero fue la siguiente (% peso): 0.6% C; 0.6 a 0.9% Mn; 0.03% P (máx.); 0.035% S (máx.); 0.35% Si (máx.); Fe balance.

Se prepararon probetas para su análisis metalográfico. La microestructura fue revelada usando nital 2% por examen visual con un microscopio óptico Zeiss Axiotech. La microdureza fue determinada con un microdurómetro Vickers (Shimadzu HMV 2000) usando una carga de 10N.

#### 2.1.3 Brocas helicoidales

Para realizar las pruebas de agujereado, se emplearon brocas helicoidales comerciales DIN 338 de 7mm de diámetro, construidas en acero AISI M2, cuya composición química nominal fue la siguiente (% peso): 0,9% C; 6% W; 5% Mo; 4% Cr; 2% V; Fe balance.

Las brocas para realizar los ensayos, se seleccionaron a partir de un lote constituido por 20 brocas de 7mm de diámetro.

A los efectos de elegir las por su semejanza geométrica, se midieron sobre cada una de ellas, tres variables que ejercen influencia sobre los esfuerzos de agujereado. Estas son: espesor de núcleo  $s$ ; ángulo de punta  $\epsilon$ ; y ángulo de incidencia  $\alpha$  (las brocas fueron identificadas con numeración romana sobre el extremo del vástago en forma correlativa de I a XX).

Las variables geométricas mencionadas se midieron siguiendo las pautas establecidas por DIN 1414-1[3] y DIN 1414-2[4] (ver Figura 2).

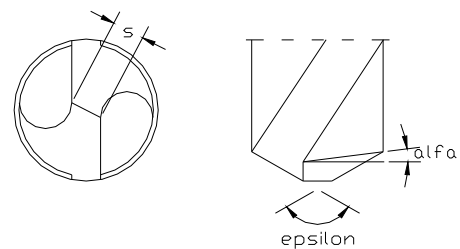


Figura 2: Variables geométricas de las brocas.

### 2.2 Condiciones de corte

Previamente a definir las condiciones de corte a emplear en los ensayos, es decir, la velocidad de corte ( $V_c$ ), el número de revoluciones del husillo ( $n$ ), y el avance por vuelta ( $a$ ), a partir de la dureza y el tipo de acero de las barras, se procedió a efectuar la búsqueda de condiciones de corte de referencia, utilizando documentación de fabricantes de brocas y de un instituto de investigación dedicado al mecanizado (ver Tabla II), para operaciones de agujereado con brocas helicoidales de acero rápido aplicadas sobre aceros similares al acero SAE 1060.

Tabla II: Condiciones de corte de referencia.

Referencia	Material	$V_c$ (m/min)	$a$ (mm/v)
Metcut [5]	Acero SAE 1055 HB 275 a 325	15	0,102
Ezeta	Acero SAE 1045 HB 275 a 325	14	0,08
Castillo	Acero no aleado para herramientas	10-12	0,08

A partir de estos datos, y con el objeto de adaptarlos a las posibilidades de la agujereadora de columna, realizar ensayos abarcando todo el rango de las condiciones de referencia, así como también, determinar la condición de corte más sensible (capacidad para distinguir los aceites según las mayores diferencias que resultan entre las variables medidas), se adoptaron tres condiciones de prueba, a saber:

Condición A):

$V_c = 10$  m/min;  $n = 455$  rpm y  $a = 0,07$  mm/v.

Condición B):

$V_c = 10$  m/min;  $n = 455$  rpm y  $a = 0,15$  mm/v.

Condición C):

$V_c = 15$  m/min;  $n = 682$  rpm y  $a = 0,07$  mm/v.

### 2.3 Equipamiento

Los orificios se efectuaron en una agujereadora de columna marca WEBO Patent, provista de velocidad de rotación de husillo variable electrónicamente y con caja de avance mecánica, dotada de cuatro avances automáticos: 0.07; 0.15; 0.25 y 0.33 mm/v.

Las concentraciones de los aceites emulsionables se prepararon mediante el uso combinado de una balanza digital Metler con una apreciación de  $\pm 0,1g$  para el aceite, y una balanza digital Moretti modelo PH con apreciación de  $\pm 50g$ , para el agua. Las brocas se midieron en un Banco de medición óptico marca Dormer, mientras su número de revoluciones se fijó usando un Tacómetro digital ONNO SOKKI.

Los esfuerzos de mecanizado se midieron empleando un dinamómetro piezoeléctrico Kistler modelo 9271A de dos canales, con sus respectivos amplificadores de carga, y en combinación con un osciloscopio digital Fluke 196C.

La rugosidad de los orificios se evaluó usando un rugosímetro portátil Taylor Hobson Surtronic 3+.

En la Figura 3 puede observarse la agujereadora de columna Webo, con el montaje correspondiente del dinamómetro Kistler, amplificadores de carga y el osciloscopio digital Fluke.



Figura 3: Configuración del equipamiento para ensayo.

### 2.4 Procedimiento de ensayo

En primer lugar, se cortaron trozos de barra de 300mm de longitud aproximada, los cuales fueron identificados numéricamente por acuñado, en una de sus caras y en proximidades a uno de los extremos.

En la Tabla III se presenta la identificación de cada barra, asociada al lubricante empleado en la prueba de agujereado correspondiente.

Tabla III: Identificación de barra vs fluido de corte

Barra N°	Fluido de corte usado
2	Aceite U
3	Aceite V
4	Aceite W
6	Aceite X
10	Aceite Y
14	Aceite Z

Los 15 orificios a realizar por barra, resultantes de emplear 5 brocas (por razones estadísticas) y 3 condiciones de corte, se iniciaron próximos al extremo de barra acuñado con su número correspondiente, siguiendo la secuencia: Condición A; condición B; condición C, y comenzando en cada condición por la broca I; V; IX; X hasta XX respectivamente, y previamente seleccionadas.

Los orificios fueron efectuados pasantes en una sola profundización de herramienta, utilizando un caudal de aceite emulsionable aproximado de  $Q = 8,5$  l/min.

Mediante el osciloscopio digital se registraron las curvas de Momento torsor (en azul en la Figura 4) y de Fuerza de avance (en rojo en la Figura 4), para cada broca en cada condición de ensayo. A partir de ellas, se determinaron los valores  $F_{aRMS}$  y  $M_{tRMS}$  por curva, y con el conjunto de estos valores, se calcularon aquellos valores promedios de  $F_{aRMS}$  y  $M_{tRMS}$  que se emplearon como valores de comparación, además de los valores promedios de la rugosidad media aritmética  $R_a$ .

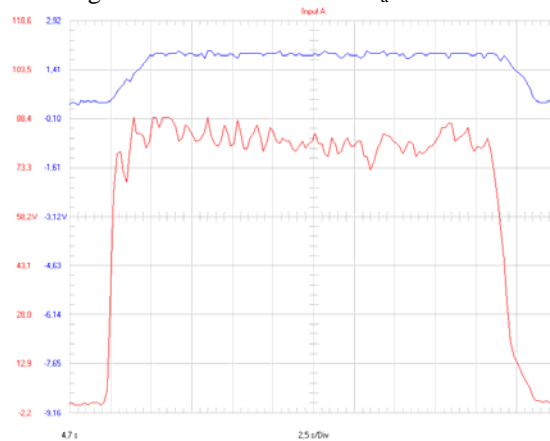


Figura 4: Gráficos tipo de  $M_t$  (arriba) y  $F_a$  registrados por el osciloscopio.

### 3. RESULTADOS y DISCUSION

#### 3.1 Material a mecanizar

El acero SAE 1060 presentó una microestructura laminada en caliente, constituida por granos de perlita levemente orientados y ferrita proeutectoide en red. El tamaño de grano perlítico, determinado en la sección transversal fue de tipo dual, variando entre el número 8 al 9.

Las inclusiones correspondieron al tipo "A" (sulfuros), serie fina N° 1½ y tipo "D" (óxidos), también de serie fina N° 1.

La dureza promedio de las barras resultó ser HV10 282 ± 5.

Una imagen metalográfica de la sección transversal de las barras se observa en el Figura 5.

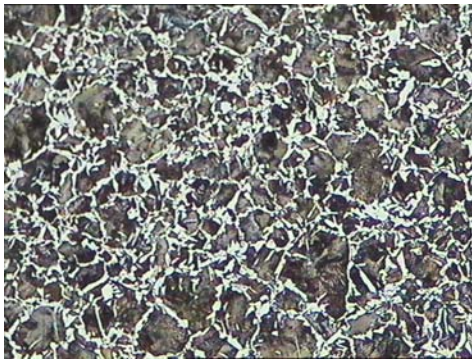


Figura 5: Microestructura del material a agujerear.

#### 3.2 Brocas helicoidales

En la Tabla IV se presentan los valores correspondientes a las variables geométricas de las brocas.

Tabla IV: Variables geométricas medidas del lote de brocas.

Identificación	s (mm)	$\varepsilon$ (°)	$\alpha$ (°)
<b>I</b>	<b>1,45</b>	<b>119</b>	<b>16,0</b>
II	1,25	119	16,0
III	1,42	117	15,5
IV	1,33	120	16,0
<b>V</b>	<b>1,41</b>	<b>120</b>	<b>16,75</b>
VI	1,41	120	14,5
VII	1,27	120	17,0
VIII	1,43	118	12,0
<b>IX</b>	<b>1,40</b>	<b>119</b>	<b>16,25</b>
<b>X</b>	<b>1,43</b>	<b>120</b>	<b>16,0</b>
XI	1,47	120	16,0
XII	1,33	120	13,5
XIII	1,49	120	17,0
XIV	1,38	121	16,0
XV	1,46	121	16,5
XVI	1,36	120	16,0
XVII	1,37	120	16,0
XVIII	1,34	119	15,0
XIX	1,60	119	15,75
<b>XX</b>	<b>1,46</b>	<b>120</b>	<b>16,0</b>

Del lote de brocas medido, se seleccionaron un total de cinco brocas, siguiendo el criterio ya anunciado de su mayor similitud geométrica. En consecuencia, fueron elegidas las identificadas como I; V; IX; X y XX (las brocas seleccionadas están resaltadas en negrita).

#### 3.3 Pruebas de agujereado

Con la finalidad de facilitar la comprensión de los resultados obtenidos, se reunirán por tipo de condición de corte, emitiéndose conclusiones específicas, y al finalizar, se presentarán las conclusiones generales.

##### 3.3.1 Ensayos para la Condición A:

Tabla V: Valores promedios de  $F_a$ ,  $M_t$  y  $R_a$  para los distintos aceites.

Aceite	$F_{a,RMS}$ (Kg)	$M_{t,RMS}$ (Nm)	$R_a$ ( $\mu$ m)
U	75,16	1,83	2,33
V	78,33	1,87	2,50
W	74,41	1,78	2,65
X	76,80	1,89	2,56
Y	76,99	1,85	2,90
Z	76,34	1,83	4,30

La mayor diferencia porcentual entre aquel aceite que midió el valor más alto en referencia a aquel que midió el valor más bajo, resultó ser del 5,26% para la fuerza de avance, del 6,25% en el momento torsor y del 84,5% en la rugosidad.

Además, en todos los aceites evaluados, la condición de corte A generó virutas helicoidales largas que no se enredan en la broca.

En las Figuras 6, 7 y 8 se muestran los gráficos correspondientes a la Fuerza de avance, Momento Torsor y Rugosidad media aritmética, para la Condición de corte A, de todos los aceites evaluados.

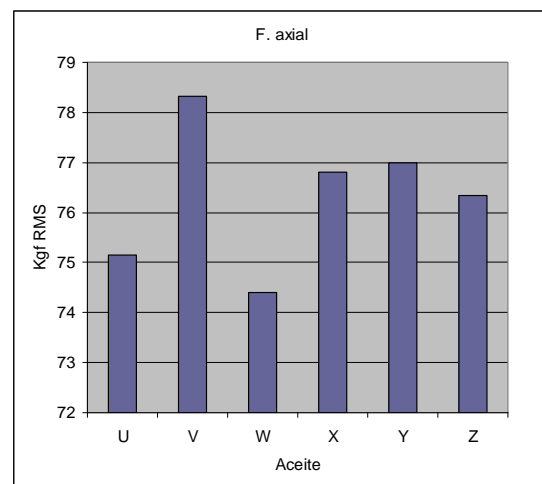


Figura 6: Fuerza de avance  $F_a$  (kg) para los distintos aceites en Condición A.

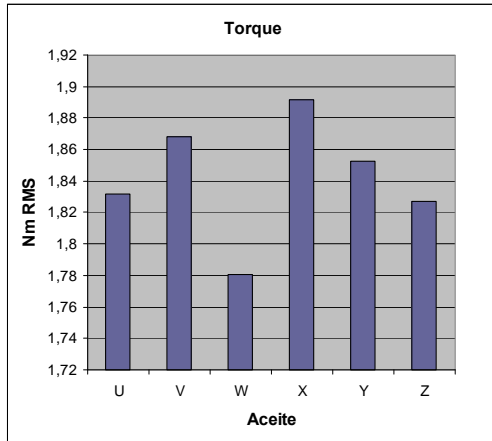


Figura 7: Momento Torsor  $M_t$  (Nm) para los distintos aceites en Condición A.

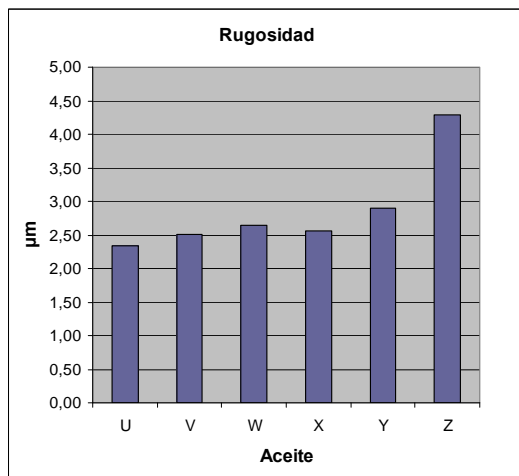


Figura 8: Rugosidad  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) para los distintos aceites en Condición A.

### 3.3.2 Ensayos para la Condición B:

Tabla VI: Valores promedios de  $F_a$ ,  $M_t$  y  $R_a$  para los distintos aceites.

Aceite	$F_a$ RMS (Kg)	$M_t$ RMS (Nm)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
U	128,60	3,22	3,73
V	129,12	3,24	3,44
W	125,26	3,13	3,51
X	128,15	3,28	3,19
Y	129,04	3,20	3,04
Z	127,77	3,24	3,05

La mayor diferencia porcentual entre aquel aceite que midió el valor más alto en referencia a aquel que midió el valor más bajo, resultó ser del 3,08% para la fuerza de avance, del 4,77% en el momento torsor y del 22,7% en la rugosidad.

Además, en todos los aceites evaluados, la condición de corte B produjo una rotura excesiva de la viruta (se observó viruta segmentada).

En las Figuras 9, 10 y 11 se muestran los gráficos correspondientes a la Fuerza de avance, Momento Torsor y Rugosidad media aritmética, para la Condición de corte B, de todos los aceites evaluados.

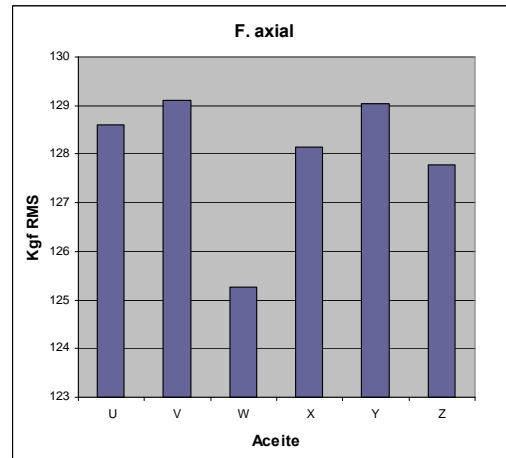


Figura 9: Fuerza de avance  $F_a$  (kg) para los distintos aceites en Condición B.

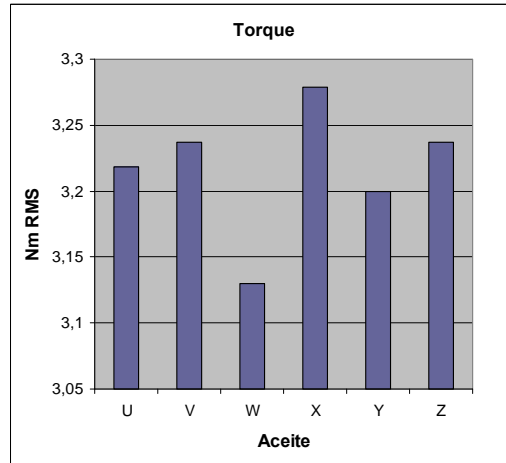


Figura 10: Momento Torsor  $M_t$  (Nm) para los distintos aceites en Condición B.

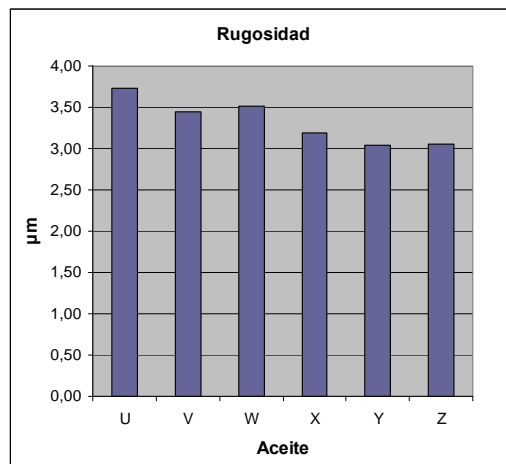


Figura 11: Rugosidad  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) para los distintos aceites en Condición B.

### 3.3.3 Ensayos para la Condición C:

Tabla VII: Valores promedios de  $F_a$ ,  $M_t$  y  $R_a$  para los distintos aceites.

Aceite	$F_{a,RMS}$ (Kg)	$M_{t,RMS}$ (Nm)	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )
U	73,66	1,77	3,29
V	73,87	1,80	3,11
W	72,39	1,80	2,68
X	74,01	1,81	2,89
Y	72,65	1,82	3,53
Z	73,69	1,79	4,13

La mayor diferencia porcentual entre aquel aceite que midió el valor más alto en referencia a aquel que midió el valor más bajo, resultó ser del 2,24% para la fuerza de avance, del 2,78% en el momento torsor y del 54,1% en la rugosidad.

Además, en todos los aceites evaluados, la condición de corte C, produjo viruta larga pero siempre enredada alrededor de la herramienta, obstaculizando entonces el acceso del lubricante a la zona de corte.

En las Figuras 12, 13 y 14 se muestran los gráficos correspondientes a la Fuerza de avance, Momento Torsor y Rugosidad media aritmética, para la Condición de corte C, de todos los aceites evaluados.

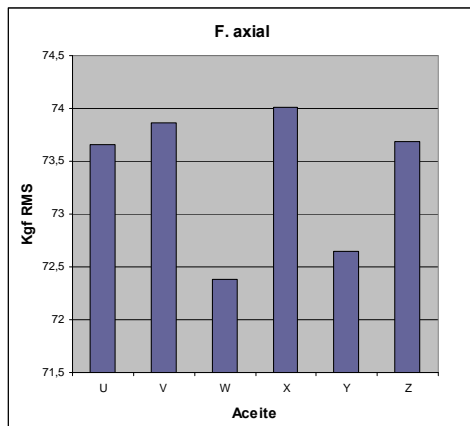


Figura 12: Fuerza de avance  $F_a$  (kg) para los distintos aceites en Condición C.

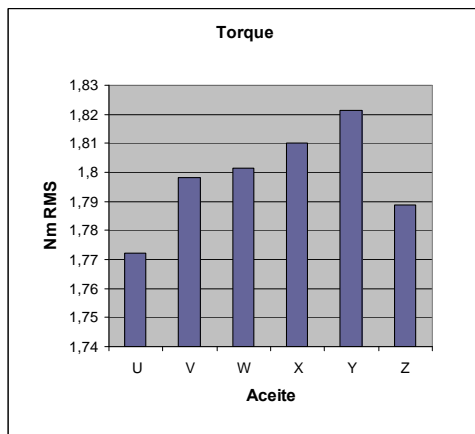


Figura 13: Momento Torsor  $M_t$  (Nm) para los distintos aceites en Condición C.

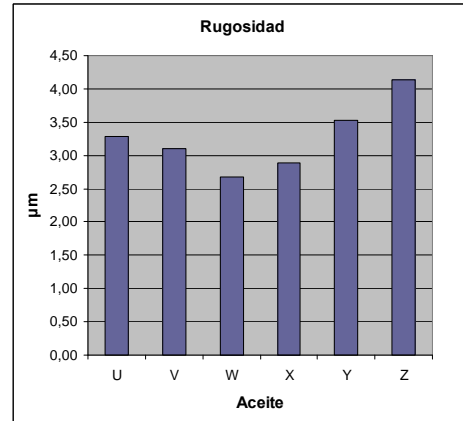


Figura 14: Rugosidad  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) para los distintos aceites en Condición C.

### 4. CONCLUSIONES

- De las tres condiciones de corte utilizadas, la Condición A se ha revelado como la más sensible para evaluar los aceites, mientras la Condición C se ha mostrado como la de menor sensibilidad.

- En todos los casos estudiados, el momento torsor  $M_t$ , se ha manifestado ligeramente más sensible que la fuerza de avance  $F_a$ .

- Del análisis de los gráficos de rugosidad, no se advierte ninguna tendencia definida.

- Se ha observado que un aumento de la velocidad de corte, a igual avance por vuelta (comparación de los resultados correspondientes a Condición C respecto de Condición A), ha producido una ligera disminución tanto de la fuerza de avance, como del momento torsor.

- De los aceites evaluados, en las tres condiciones, aquel identificado como W produjo los menores valores de fuerza de avance y momento torsor, mientras el aceite V, generó mayoritariamente los valores más elevados, para ambas variables.

### REFERENCIAS

1. Ferraresi, D., Fundamentos do usinagem dos metais, 9ª reimpressão Editora Edgard Blücher Ltda., 1995, pág. 514.
2. Belluco W. y otros, Performance evaluation of vegetable based-oils in drilling austenitic stainless steels, Journal of Materials Processing Technology, 148 (2004), 171-176.
3. DIN 1414-1, Technische Lieferbedingungen für Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl, Teil 1: Anforderungen, Juni 1998.
4. DIN 1414-2, Technische Lieferbedingungen für Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl, Teil 2: Prüfung, Juni 1998.
5. Machinability Data Center, Machining Data Handbook, Third edition, Metcut Research Associates Inc., Cincinnati, 1980