

# Study of the useful life of a submerged cutting tool to a cryogenic treatment in the machining of parts of steel AISI 1045.

Luis Sidorovas<sup>\*,a</sup>, Ron Francisco<sup>b</sup>, Ivan Ramones<sup>b</sup>.

<sup>a</sup>Centro de Investigación de Materiales CIM, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo.

<sup>b</sup>Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.

**Abstract.-** The effect of the cryogenic thermal treatment with Liquid Nitrogen at  $-194^{\circ}\text{C}$  was studied in the useful life of a cutting tool (VUHC) T-2000. Starting from the theoretical foundation, that the cryogenic thermal treatment improves the mechanical properties of hardness, maximum resistance and impact resistance of the material; with a slight decrease in the tenacity of impact, negligible before the improvements produced to the HC. The methodology is to perform the machining tests on the AISI 1045 steel specimens with a diameter of 2 inches. With a HC of T-2000 fast steel until reaching the criterion of wear in all possible arrangements to determine the VUHC according to ISO 3685- 1993. The results showed how the mechanical properties of the HC are improved with a cryogenic treatment. There was a prolongation of the VUHC in HC that previously had a cryogenic thermal treatment in relation to HC without treatment. In conclusion, the results are consistent with the wear theory of the HC and also showed an improvement in the mechanical properties of the HC where increases were achieved up to four times of the VUHC with a cryogenic thermal treatment.

**Keywords:** thermal treatment; cryogenics; useful life; machining.

## Estudio de la vida útil de una herramienta de corte sometida a un tratamiento criogénico en el mecanizado de piezas de acero AISI 1045

**Resumen.-** Se estudió el efecto del tratamiento térmico criogénico con Nitrógeno Líquido a  $-194^{\circ}\text{C}$ , en la vida útil de una herramienta de corte (VUHC) T-2000. Partiendo del fundamento teórico, de que el tratamiento térmico criogénico mejora las propiedades mecánicas de dureza, resistencia máxima y resistencia al impacto del material; con una leve disminución en la tenacidad de impacto, despreciable ante las mejoras producidas a la HC. La metodología para realizar los ensayos de mecanizado a las probetas del acero AISI 1045 con un diámetro de 2 pulgadas. Con una HC de acero rápido T-2000 hasta alcanzar el criterio de desgaste en todos los arreglos posibles para determinar la VUHC según la Norma ISO 3685- 1993. Los resultados demostraron como se mejoran las propiedades mecánicas de la HC con un tratamiento criogénico. Se evidenció una prolongación de la VUHC en la HC que tenían previamente un tratamiento térmico criogénico en relación con las HC sin tratamiento. Como conclusión los resultados son consistentes con la teoría de desgaste de las HC y además se evidenció una mejora en las propiedades mecánicas de la HC donde se lograron aumentos hasta de cuatro veces la VUHC con un tratamiento térmico criogénico.

**Palabras claves:** tratamiento térmico; criogenia; vida útil; mecanizado.

Recibido: julio 2018

Aceptado: noviembre 2018

### 1. Introducción

Actualmente es importante no sólo el uso racional de los recursos en los procesos de producción, donde se relacionan los costos

de operación con la competitividad, eficiencia, productividad y estos factores inciden en la eficacia y en uso de una manufactura de calidad y oportunidad. En los procesos de fabricación de piezas y partes por un proceso de mecanizado en tornos, donde la vida útil de la herramienta de corte (VUHC) incide directamente en los costos de estos procesos de mecanizado. La presente investigación se basa en el estudio de la influencia en la VUHC de un acero extra rápido (HSS, T-2000), al ser sometida a un tratamiento térmico criogénico en

\*Autor para correspondencia:

Correo-e:lsidorovas@gmail.com (Luis Sidorovas)

el mecanizado de piezas de acero AISI 1045, el cual ofrece ventajas de prolongar su vida útil y por consiguiente se puede garantizar menores costos en procesos de fabricación de elementos y piezas mecánicas, con un menor esfuerzo del operario al mejorar las condiciones del corte, influyentes entre otros en el proceso industrial.

Al revisar las investigaciones sobre el efecto de un tratamiento térmico criogénico, con el cual se mejoran las propiedades de resistencia al desgaste, abrasión y dureza de la HC utilizada en el proceso de mecanizado, se pudo obtener evidencia sustentable al comparar los resultados de los ensayos experimentales utilizando una HC con recubrimiento de cobalto sin tratamiento térmico criogénico (STTC) y otra igual pero con un tratamiento térmico criogénico (CTTC), por lo que al comparar los resultados, permitirá interpretarlos para realizar la discusión de donde se construirán las conclusiones de la investigación al observar y analizar el comportamiento de la HC en el proceso de mecanizado según la Norma ISO 3685. 93 [1]. Los ensayos de VUHC se realizaron en un taller metalmecánico, con un torno paralelo donde se obtuvieron los datos sobre la VUHC sin y con tratamiento térmico criogénico.

De tal modo que el presente trabajo estuvo orientado a contribuir con la optimización de procesos de mecanizado, debido a que el tiempo de mecanizado guarda una relación directa con el costo de producción, la VUHC es un parámetro importante al momento de determinar el costo del proceso, hoy en día difícil de mantener y obtener en óptimas condiciones. Así como también un aporte significativo a las teorías de las propiedades de los materiales, como mejorarlos al comportamiento y desgaste de las HC de aceros extra rápidos (HSS).

## 2. Metodología o Desarrollo de la Investigación

Para el estudio se utilizó un acero al carbono AISI 1045, la composición química del material se muestra en la Tabla 1, en barras de 2 pulgadas de diámetro y 3 metros de longitud.

El objetivo principal fue evaluar el efecto de un tratamiento térmico criogénico en la vida útil

Tabla 1: Propiedades químicas del acero al carbono AISI 1045.

|        | Porcentaje de cada elemento |      |       |      |      |
|--------|-----------------------------|------|-------|------|------|
|        | C                           | S    | P     | Si   | Mn   |
| Mínimo | 0,43                        | ---  | ---   | 0,15 | 0,60 |
| Máximo | 0,50                        | 0,35 | 0,040 | 0,35 | 0,90 |

de una herramienta de corte (VUHC) para ser utilizada en el mecanizado de piezas de acero AISI 1045. Según Groover define la VUHC es el periodo de tiempo de corte en el cual se puede utilizar la herramienta de corte en operación hasta que falla [2]. Previamente se le realizó un tratamiento térmico criogénico a la HC para mejorar las propiedades de resistencia al desgaste, a la abrasión y dureza del material de la herramienta de corte [3].

Para evaluar la VUHC fue preciso realizar una serie de procedimientos los cuales se describen a continuación.

a.1 Se realizó una investigación bibliográfica y documental sobre la VUHC, para establecer los parámetros del proceso experimental.

a.2 Adquisición del material a ensayar. Se considero un acero AISI 1045 por su disponibilidad, costo y propiedades.

a.3 Los ensayos de vida útil se realizaron en un torno paralelo marca “VOEST”. Con una longitud de bancada de 3,5 metros, un ancho de 1,5 metros, una altura de 1,7 metros y un peso de 7000 kg, mediante un proceso de manufactura en el cual se usa una HC para remover material de una pieza de trabajo: La acción de corte involucra la deformación cortante del material de trabajo para formar la viruta, que produce la geometría final, las dimensiones y el acabado de la pieza [2].

a.4 Se hizo una revisión general del estado del Torno. Después se realizó una prueba piloto para establecer los parámetros adecuados para el ensayo de VUHC. Esta prueba piloto consistió en torneear mediante un proceso de cilindrado la pieza de acero AISI 1045 durante un intervalo de 10 minutos y luego para medir el desbaste de Flanco ( $V_B$ ), se requiere desmontar la HC para observarla en un Perfilómetro marca MITUTOYO, modelo PJ2500, con aumento de 20X a 50 X. Este procedimiento

se realizó tantas veces como fue necesario hasta alcanzar el criterio de desgaste de flanco de la HC T-2000 en condiciones originales. Posteriormente se realizan los ensayos de mecanizados con una HC del mismo material pero con un tratamiento térmico criogénico adicional para determinar la VUHC con tratamiento criogénico y comparar los dos resultados hallados.

a.5 Con los resultados anteriores se determinan los parámetros de corte definitivos: velocidad de corte ( $V_c$ ), avance ( $f$ ) y profundidad de corte ( $d$ ) que se usaron en los diferentes ensayos de VUHC. Se realizó un ensayo preliminar de VUHC para establecer una referencia general del tiempo de duración de la HC.

a.6 Se inspeccionó el estado de la HC de acero extra rápido T-2000, con ángulos de: incidencia ( $\alpha$ ): 5 grados, filo o talla ( $\beta$ ): 73 grados y ataque ( $\gamma$ ): 12 grados, cuyos valores estándares son asignados para el mecanizado de acero al carbono, este procedimiento se efectuó antes del inicio de cada prueba, lo cual sirvió de referencia en posteriores mediciones del desgaste de flanco ( $V_B$ ), debido a que se hizo a partir del filo original de corte.

a.7 Se realizaron los mecanizados con los valores previamente asignados de los parámetros de corte establecidos, se asignaron valores iniciales al experimento tomando en cuenta el criterio de desgaste de la HC previamente establecido. Se desarrolló el procedimiento experimental del mecanizado de las piezas de acero AISI 1045 para el caso con una HC con recubrimiento de cobalto en su estado original y en el otro caso con tratamiento térmico criogénico en el mecanizado de acero 1045.

a.8 Durante el procedimiento experimental del mecanizado de las piezas se llevó a cabo la respectiva tabulación de resultados del ensayo, a través de los datos arrojados por el experimento.

a.9 Al disponer de los resultados de los ensayos de VUHC para el caso de la herramienta de corte en estado original y de la herramienta de corte con tratamiento térmico criogénico se realizó la comparación de los mismos para interpretar y analizar estos resultados obtenidos en el ensayo VUHC.

a.10 Las conclusiones se forman del proceso de comparar, interpretar, discutir y analizar los resultados obtenidos del estudio.

### 3. Análisis y Discusión de los Resultados

Inicialmente se consideró un criterio de desgaste de 0,3 mm [4], con tres niveles de velocidades:  $V_{c1} = 26,394$  m/min;  $V_{c2} = 36,380$  m/min y  $V_{c3} = 38,380$  m/min. Además de un avance de la HC ( $f = 0,08$  mm/rev) y una profundidad de corte ( $d = 1,5$  mm). Con estos parámetros se realizó el ensayo de mecanizado con  $f$  y  $d$  constantes para cada nivel de velocidad de corte  $V_c$  y se obtuvieron los siguiente datos que se registran en la Tabla 2. Desde la cual se parte para graficar los datos y obtener las gráficas de la Figura 1.

Tabla 2: Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para  $f = 0,08$  mm/rev y  $d = 1,5$  mm.

| Tiempo (min) | Velocidad (m/min) |        |        |
|--------------|-------------------|--------|--------|
|              | 26,394            | 36,380 | 38,902 |
| 0            | 0,0               | 0,0    | 0,0    |
| 10           | 0,09              | 0,145  | 0,208  |
| 20           | 0,11              | 0,239  | 0,369  |
| 30           | 0,19              | 0,364  | ---    |
| 40           | 0,27              | ---    | ---    |
| 50           | 0,338             | ---    | ---    |

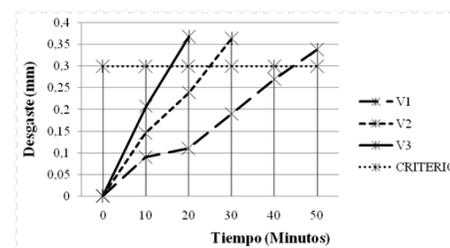


Figura 1: Desgaste en función de la Velocidad de Corte ( $f = 0,08$  mm/rev y  $d = 1,5$  mm).

Se observa en la Figura 1 que para una  $V_c = 26,394$  m/min, el criterio de desgaste se alcanza a los 45 minutos por lo que la VUHC tiene un tiempo de 45 minutos de duración. En el caso de una  $V_c = 36,380$  m/min, el criterio de desgaste se alcanza a los 25 minutos por lo que la VUHC es de 25

minutos de duración. Y en el último caso una  $V_c = 38,902$  m/min, el criterio de desgaste se alcanza a los 16 minutos por lo que la VUHC tiene un tiempo de 16 minutos de duración.

Esto es consistente con los fundamentos teóricos [5, 6, 4] que establecen que al disminuirla velocidad de corte se incrementa la VUHC y al aumentar la velocidad de corte se disminuye la VUHC [2]. Donde se observó que al aumentar la velocidad de corte en el proceso de mecanizado se evidenció una disminución proporcional de la VUHC relacionada con la velocidad de corte, en este caso disminuye de 45 a 25 y luego hasta 16 minutos.

Luego se realizó el mismo procedimiento para todas las combinaciones posibles, fijando la velocidad de corte y variando la profundidad de corte  $d = 1,5$  mm;  $d = 2,5$  mm y  $d = 2,5$  mm. De donde se obtuvieron las siguientes curvas que se representaron en la siguiente Figura 2.

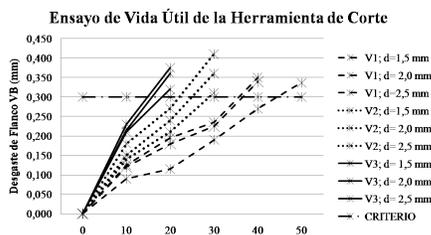


Figura 2: Ensayo de la vida útil de la herramienta de corte.

En la Figura 2 las diferentes curvas para las diferentes combinaciones de las variables se comprobó el efecto de la velocidad de corte ( $V_c$ ) en el proceso de mecanizado donde al aumentar la  $V_c$  disminuye proporcionalmente la VUHC. Así como también en la medida que aumenta la profundidad de corte también disminuye la VUHC. Al mismo tiempo se observó que al aumentar el avance en los mecanizados también se evidencia una disminución de la VUHC en los ensayos. En general este comportamiento es consistente con los fundamentos teóricos relacionados con la vida útil de una herramienta de corte de aceros rápidos T-2000 durante el proceso de mecanizado.

Considerando que la VUHC se determina tomando los puntos de intersección entre el criterio de desgaste y las diferentes curvas de las

velocidades presentes en cada gráfico, según las condiciones de las mismas.

De los puntos de intersección de la Figura 1 gráfico desgaste vs. tiempo, para  $f = 0,08$  mm/rev y  $d = 1,5$  mm se obtuvo que para  $V_1 = 26,394$  m/min el valor de  $T_1 = 45$  min y para  $V_3 = 38,902$  m/min el valor de  $T_3 = 16$  min.

Cálculos tipo para  $n$  y  $C$ , valores clave en la determinación de la ecuación de Taylor.

$$n = \frac{(\ln(V_3) - \ln(V_1))}{(\ln(T_1) - \ln(T_3))} = 0,375$$

Como la ecuación de Taylor [4] dice que

$$VT^n = C$$

Sustituyendo, se obtiene la constante  $C$ .

$$C = 110,070$$

Ahora bien, construyendo la ecuación de Taylor:

$$VT^{0,375n} = 110,07$$

Este proceso se realizó para cada una de las operaciones de mecanizado, de donde se obtuvo la siguiente Tabla 3 de valores de  $C$  y  $n$ .

Tabla 3: Valores de “ $n$ ” y “ $C$ ” para cada Variable.

| $n$   | $C$      | $f$<br>(mm/rev) | $d$<br>(mm) |
|-------|----------|-----------------|-------------|
| 0,383 | 166,024  | 0,08            | 1,50        |
| 0,463 | 224,091  | 0,08            | 2,00        |
| 0,583 | 353,527  | 0,08            | 2,50        |
| 0,280 | 112,160  | 0,12            | 1,50        |
| 0,458 | 219,976  | 0,12            | 2,00        |
| 0,512 | 270,000  | 0,12            | 2,50        |
| 1,044 | 2021,048 | 0,16            | 1,50        |
| 0,458 | 237,749  | 0,16            | 2,00        |
| 0,560 | 323,374  | 0,16            | 2,50        |

### 3.1. VUHC con tratamiento térmico criogénico

En el ensayo de la VUHC se hicieron dos pruebas pilotos para estimar el tiempo de VUHC con parámetros de corte promedios ( $V_c$ ,  $f$  y  $d$ ). Para realizar el mecanizado hasta el criterio de la norma 0,3 mm. Se observó que al determinar la VUHC, esta se manifestó con un alto valor

con relación a la HC sin tratamiento térmico criogénico, siendo este uno de los hallazgos más importantes de la investigación. Este tiempo de mecanizado de la pieza para alcanzar el criterio de VUHC en el proceso (ver Figuras 3 y 4) implica un proceso largo, por lo que en función de los costos implícitos y de la disponibilidad del Torno. Se analizó la situación y se determinó que como el comportamiento de la HC es aceptable y consistente con los fundamentos teóricos. Se decidió disminuir el criterio de desgaste de flanco de 0,30 mm a 0,15 mm, con lo cual se asumirá esto como un criterio más exigente para un tipo de ejes especiales que permitirá desarrollar los ensayos de VUHC en un tiempo considerable y dentro de las expectativas de la investigación, así como de la disponibilidad de recursos económicos de los investigadores.

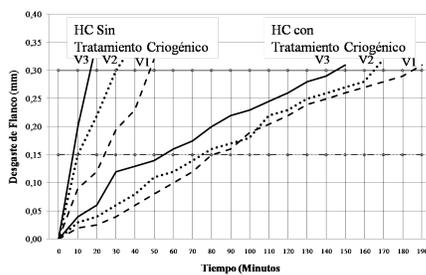


Figura 3: Ensayo de VUHC (S/TTC) y (C/TTC).

En la gráfica de la Figura 3 se puede ver cómo influye el tratamiento térmico de criogenia en las propiedades mecánicas de tenacidad, dureza y desgaste, esto debido a que para una HC sin tratamiento térmico de criogenia la VUHC fue de aproximadamente:

|               |                         |
|---------------|-------------------------|
| VUHC = 48 min | $V_{c1} = 26,394$ m/min |
| VUHC = 25 min | $V_{c2} = 36,380$ m/min |
| VUHC = 15 min | $V_{c3} = 38,380$ m/min |

Y para la HC con tratamiento térmico de criogenia la VUHC fue de aproximadamente:

|                |                         |
|----------------|-------------------------|
| VUHC = 180 min | $V_{c1} = 26,394$ m/min |
| VUHC = 165 min | $V_{c2} = 36,380$ m/min |
| VUHC = 150 min | $V_{c3} = 38,380$ m/min |

Donde se revela que para la  $V_{c1}$  el tratamiento térmico criogénico originó un rendimiento de 3,75

veces el tiempo de mecanizado VUHC. En el caso de la  $V_{c2}$  se el rendimiento fue 6,6 veces el tiempo de mecanizado VUHC. Y para el caso de la  $V_{c3}$  el incremento fue de 10 veces el tiempo de mecanizado VUHC.

Esto demostró que el tratamiento térmico mejora notablemente las propiedades de dureza, tenacidad y resistencia al desgaste del material (HC), con lo que al aumentar el tiempo de mecanizado con el aumento de la VUHC se pueden fabricar más piezas con la misma HC de corte lo que incide directamente en los costos de producción.

En la Figura 4 se evidencia la diferencia entre una HC en su estado natural sin tratamiento térmico criogénico, donde en la gráfica le corresponde un valor de la VUHC = 45 minutos aproximadamente contra de la que tiene tratamiento térmico criogénico donde se observó una VUHC de alrededor de 180 minutos, que representa un aumento en la VUHC de cuatro veces más para la herramienta con tratamiento térmico.



Figura 4: Ensayo de VUHC (S/T) y (C/T).

Para la evaluación de la VUHC se mecanizó la probeta (eje de acero AISI 1045) y se obtuvieron los siguiente resultados al alcanzar el criterio asumido de desgaste de flanco de 0,150 mm, estos resultados se presentan en las gráficas de las velocidades  $V_{c1}=26,394$  m/min;  $V_{c2} = 36,380$  m/min y  $V_{c3} =38,902$  m/min respectivamente para avances de  $f = 0,08$  mm/rev;  $f = 0,12$  mm/rev y  $f = 0,16$  mm/rev y para profundidades de pasadas  $d = 1,5$  mm;  $d = 2,0$  mm y  $d = 2,5$  mm . En las Figuras 5, 6 y 7 se presentan las curvas del desgaste de flanco para el avance fijo de  $f = 0,08$  mm/rev, con profundidades de corte de  $d = 1,5$  mm;  $d = 2,0$  mm y  $d = 2,5$  mm respectivamente.

En las curvas de las Figuras 5, 6 y 7 se apreció como disminuye la VUHC al aumentar la velocidad

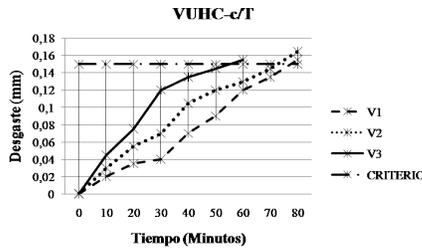


Figura 5: Desgaste de flanco vs tiempo [ $f = 0,08$  mm/rev,  $d = 1,5$  mm].

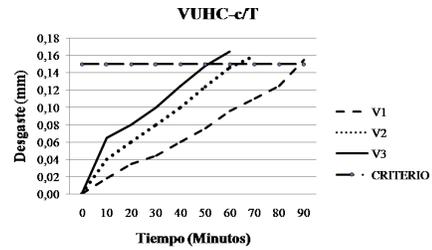


Figura 8: Desgaste de flanco vs tiempo [ $f = 0,12$  mm/rev,  $d = 1,5$  mm].

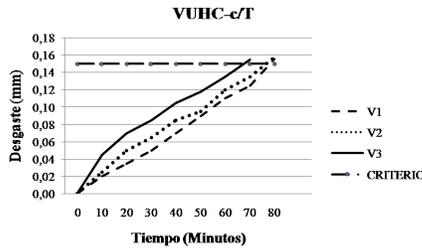


Figura 6: Desgaste de flanco vs tiempo [ $f = 0,08$  mm/rev,  $d = 2,0$  mm].

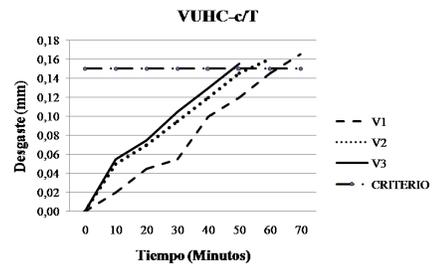


Figura 9: Desgaste de flanco vs tiempo [ $f = 0,12$  mm/rev,  $d = 2,0$  mm].

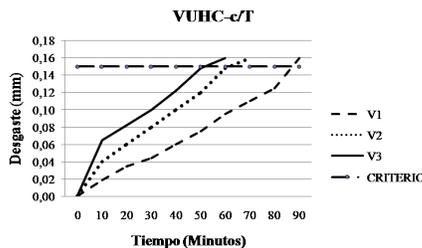


Figura 7: Desgaste de flanco vs tiempo [ $f = 0,08$  mm/rev,  $d = 2,5$  mm].

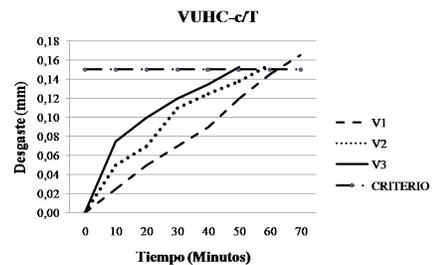


Figura 10: Desgaste de flanco vs tiempo [ $f = 0,12$  mm/rev,  $d = 2,5$  mm].

de corte de  $V_{c1}=26,394$  m/min;  $V_{c2} = 36,380$  m/min y  $V_{c3} =38,902$  m/min con relación a las profundidades de corte de  $d = 1,5$  mm;  $d = 2,0$  mm y  $d = 2,5$  mm, esto es consistente con el comportamiento de la HC y se observó que la VUHC es más extensa con relación a la HC en su estado original, esto con seguridad es porque el tratamiento criogénico mejoro las condiciones del material.

En las Figuras 8, 9 y 10 se presentan las curvas del desgaste de flanco para el avance fijo de  $f = 0,12$  mm/rev, con profundidades de corte de  $d = 1,5$  mm;  $d = 2,0$  mm y  $d = 2,5$  mm respectivamente.

En las curvas de las Figuras 8, 9 y 10 se consideró como la VUHC se reduce al aumentar la velocidad

de corte de  $V_{c1} = 26,394$  m/min;  $V_{c2} = 36,380$  m/min y  $V_{c3} = 38,902$  m/min en cada uno de las diferentes profundidades de corte  $d = 1,5$  mm;  $d = 2,0$  mm y  $d = 2,5$  mm, esto es consistente con el comportamiento de la HC y se observó que la VUHC de la HC se incrementa cuando se aplica previamente un tratamiento térmico de criogenia con referencia a una HC sin ningún tratamiento. Por lo que se establece la condición mejorada del material de la HC con el tratamiento criogénico.

En las Figuras 11, 12 y 13 se presentan las curvas del desgaste de flanco para el avance fijo de  $f = 0,16$  mm/rev, con profundidades de corte de  $d = 1,5$ ;  $d = 2,0$  y  $d = 2,5$  mm respectivamente.

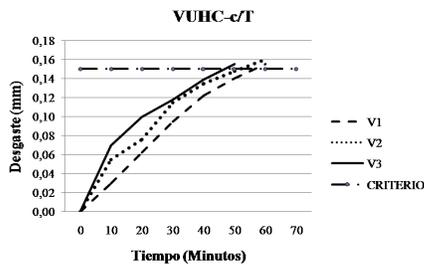


Figura 11: Desgaste de flanco vs tiempo [ $f = 0,16$  mm/rev,  $d = 1,5$  mm].

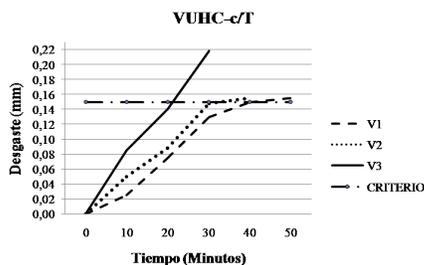


Figura 12: Desgaste de flanco vs tiempo [ $f = 0,16$  mm/rev,  $d = 2,0$  mm].

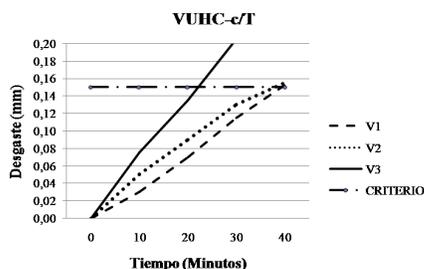


Figura 13: Desgaste de flanco vs tiempo [ $f = 0,16$  mm/rev,  $d = 2,5$  mm].

En las curvas de las Figuras 11, 12 y 13 se evidenció la reducción de la VUHC con el aumento de la velocidad de corte de  $V_{c1} = 26,394$  m/min;  $V_{c2} = 36,380$  m/min y  $V_{c3} = 38,902$  m/min con relación a las profundidades de corte de  $d = 1,5$  mm;  $d = 2,0$  mm y  $d = 2,5$  mm, esto además de estar en consonancia con el comportamiento de la HC y se destaca la condición mejorada del material de la HC con el tratamiento criogénico por lo que se incrementa la VUHC.

El tiempo de la VUHC en función de los parámetros que influyen de manera directa en su durabilidad, sumados a la interpretación de estos

resultados obtenidos de los respectivos ensayos de mecanizado hasta alcanzar el criterio de desgaste de flanco establecido por la norma ISO 3685-1993 de 0,3 mm y del criterio asumido de 0,150 mm.

Las curvas de las gráficas arrojan diferencias pero en la medida que el desgaste de flanco fue haciéndose más grande paulatinamente hasta alcanzar el criterio establecido.

Cuando se estableció el criterio de 0,150 mm se evidenció un comportamiento similar de la VUHC similar al del criterio de la norma 0,300 mm, donde se observó una pendiente inclinada lo que indicó un desgaste acelerado, se estableció que a medida que los parámetros de corte aumentan, el tiempo de VUHC decrece paulatinamente.

El criterio de desgaste para  $f = 0,16$  mm/rev y  $d = 2,5$  mm y  $N = 250$  RPM que se consideró una condición extrema para la HC que no tenía tratamiento térmico criogénico se logró a los 20 minutos aproximadamente, mientras que en la HC con tratamiento criogénico se consiguió alrededor de los 50 minutos. De la misma forma en las condiciones más leves del ensayo para  $f = 0,08$  mm/rev y de  $d = 1,5$  mm se logró el criterio de desgaste a los 50 minutos y en caso de la HC con tratamiento criogénico este tiempo de VUHC se extendió hasta alrededor de los 190 mm, con lo que se demostró las mejoras inducidas en el tratamiento criogénico, donde la austenita retenida del temple convencional se transforma en martensita, usando una escala Rockwell C (HRC), siendo ese aumento el 1,42 de dureza con respecto a la HC sin tratamiento. Mejora su dureza y reduce la posibilidad de fractura y deformación, así como absorbe menos energía en impacto, como consecuencia disminuye su ductilidad y la posibilidad de grietas también disminuye [1].

Según concluye Rojas et al, 2016 en su investigación el aumento de la resistencia al desgaste abrasivo puede ser explicado por la presencia de una estructura formada por ferrita que se deforma antes de ser removida y martensita que es muy dura mostrando las ventajas de trabajar con este tipo de aceros. El tratamiento criogénico refina el grano y se forman micro carburos brindándole al material mayor resistencia al desgaste [7], esta conclusión coincide la presente

investigación y se refleja en el comportamiento favorable de la HC con el tratamiento térmico criogénico donde el efecto del tratamiento mejoró varias veces el tiempo de mecanizado aumentando la VUHC más de cuatro veces con relación a la HC en su condición original sin tratamiento térmico criogénico.

En la presente investigación se demostró el incremento en la VUHC debido a la mejora en las propiedades del material de la herramienta de corte T-2000 por el tratamiento térmico criogénico al que fue sometido, por lo que se coincide con la conclusión de Trillo et al en su investigación cuando expresa “Que en general, el tratamiento criogénico mejora los valores de dureza y resistencia frente al desgaste de los aceros DIN 1.3243 y 1.3294”. Esta variación probablemente está asociada a la transformación de la austenita retenida en martensita y en menor medida a la precipitación de carburos de muy pequeño tamaño que ocurre a temperaturas criogénicas (-196 °C) [8].

#### 4. Conclusiones

La aseveración de Morales y Sidorovas, 2014, según la cual el tratamiento térmico criogénico al sumergir las probetas en Nitrógeno líquido a una temperatura criogénica de -196 °C mejora notablemente las propiedades de dureza, tenacidad y resistencia a la tensión, así como la resistencia al desgaste y la deformación en las herramientas de corte, se evidenció al obtener mecanizados de más de cuatro veces el tiempo de duración en la VUHC.

Se estableció un método para el estudio de la maquinabilidad del acero AISI 1045 en función de la VUHC, llevando el criterio de desgaste de flanco hasta un criterio asumido de 0,150 mm partir de la Norma ISO 3685.

Se obtuvieron los valores de C y K para establecer la ecuación de Taylor en el mecanizado del Acero AISI 1045 con herramientas de corte sin tratamiento.

Se constató el incremento en el tiempo de mecanizado con una herramienta con tratamiento criogénico donde se estableció un tiempo de mecanizado cercano a los 190 minutos en

comparación con una herramienta de corte sin tratamiento con un tiempo de mecanizado de 45 minutos, lo que representó un incremento en la vida útil de la herramienta de corte con tratamiento térmico criogénico de más de cuatro veces.

Se determinó que mientras más tiempo de mecanizado (debido al aumento de la VUHC) se revela como un menor tiempo de cambio de herramientas y esto representa un mayor aprovechamiento del recurso tiempo del mecanizado.

La variable más influyente fue la velocidad de corte, la cual incide directamente en la VUHC, seguido de la profundidad de corte y el avance.

Se estipuló un incremento en los costos de 151 % mayor para la herramienta de corte sin tratamiento térmico criogénico en comparación con la herramienta de corte tratada criogénicamente, por lo que se justifica implementar esta técnica para mejorar el acero AISI 1045.

Como una recomendación concluyente se sugiere realizar el ensayo con una mayor cantidad de probetas para establecer un nivel de confiabilidad mayor.

#### 5. Referencias

- [1] ISO. ISO 3685:1993, Tool-life testing with single-point turning tools, 1993.
- [2] Mikell P. Groover. *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Pearson Educación, 1997.
- [3] Joan Morales and Luís F. Sidorovas. Influencia de un tratamiento criogénico en las propiedades mecánicas de un acero para herramientas AISI T-2000. *Revista Ingeniería UC*, 21(3):24-32, 2014.
- [4] Juan C. Pereira. Procesos de fabricación por arranque de viruta. Trabajo de Ascenso, Universidad de Carabobo, Venezuela, 2004.
- [5] Steve F. Krar and Albert F. Check. *Tecnología de las máquinas herramienta*. S.A. Marcombo, 2003.
- [6] Serope Kalpakjian. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación, México, 5 edition, 2008.
- [7] María Angélica Vacca García and Miguel Leonardo Zabala Ortiz. Influencia de los tratamientos a temperaturas intercríticas IHT y tratamientos criogénicos DC y un posterior revenido de 15, 30 y 45 minutos a la resistencia al desgaste abrasivo de un acero AISI/SAE 1045. Trabajo Especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre, Colombia, 2016.
- [8] S. Trillo, G. Castro, A. Fernández-Vicente, and P. Vázquez. Efecto del tratamiento criogénico en las

propiedades de dos aceros de herramientas para trabajo en frío (DIN 1.3243 y DIN 1.3294). *Trater Press*, (17):25–32, 2010.