Análisis del Tiempo de Vida de una Herramienta de Corte para el Maquinado del Acero AISI D6, Mediante el Uso de la Ecuación de Taylor y Criterios de Desgaste

José Miguel Calva Cumbicus[1] Carlos Gabriel Helguero Alcívar[2]
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción [1] [2]
Escuela Superior Politécnica del Litoral [1] [2]
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador [1] [2]
jmcalva@espol.edu.ec [1] chelguer@espol.edu.ec [2]

Resumen

Este trabajo consiste en determinar el tiempo de vida útil de una herramienta de corte utilizada en el proceso de torneado para maquinar acero AISI D6, que es un material de alto contenido de carbono y cromo utilizado para realizar trabajos en frío. El desgaste se determinará a través de la utilización de la ecuación de Taylor y del criterio de Desgaste de Flanco que establece que una herramienta de corte se declara como no servicial cuando el desgaste de flanco alcanza un valor de 0.3 mm bajo condiciones de desgaste uniforme. Para poder medir con precisión el desgaste de flanco se dispondrá de un Microscopio Electrónico de Barrido (MBE), en el cual el inserto desgastado se coloca en el portamuestras de la cámara de vacio del MEB , donde se escanea la muestra a través de un haz de luz de electrones, convirtiendo las señales eléctricas en una imagen tridimensional que se observa en el monitor de una computadora, la imagen que se presenta muestra detalles microscópicos que se producen a través del desgaste por la influencia de los parámetros involucrados en el proceso de torneado; estos detalles permiten medir con exactitud el desgaste y registrar dicho valor junto con el tiempo de mecanización para obtener la relación de Taylor y determinar el tiempo de vida de la herramienta.

Palabras Claves: *Herramienta de corte, Tiempo de Vida Útil, Ecuación de Taylor, Desgaste de Flanco, AISI D6*

Abstract

This work will determine the lifespan of a cutting tool used in a turning process to machine AISI D6 steel, which has a high concentration of carbon and chromium and is used for cold-works conditions. Wear is determined through the use of the Taylor Tool Life equation and the criterion of Flank wear which states that a cutting tool is declared as not useful when the flank wear reaches a value of 0.3 mm under conditions of uniform wear. To measure accurately the wear of the Flank, the use of a Scanning Electron Microscope (SEM) is required, in which the worn part is placed on the holder of the vacuum chamber where the sample is scanned through an electronic beam converting the electrical signals in a three dimensional image projected on a computer screen. The image shows microscopic details of tool wearing which appear as an influence of the parameters involved in the turning process. These details can accurately measure the wear and record the value along with the machining time in order to obtain Taylor equation and to determine the lifespan of the tool.

Keywords: *Cutting Tool, Machining Time, Taylor Tool Life equation, Flank Wear, AISI D6*

Introducción

Influenciados por los crecientes desarrollos tecnológicos en cuanto a procesos de mecanización se refiere, y a la utilización de herramientas de corte apropiadas para cada proceso es necesario analizar el Tiempo de Vida Útil que posee dicha herramienta para determinado proceso de mecanización. En este caso se presenta la selección de dos tipos de herramientas de corte que permiten maquinar acero AISI D6, determinación de parámetros involucrados en el proceso de torneado y selección del criterio para establecer el Tiempo de Vida Útil de una herramienta de corte.

Se presenta además la metodología utilizada para medir el desgaste de la herramienta y la relación que existe entre los parámetros involucrados en el proceso y el desgaste generado para cada uno de los insertos utilizado mediante la interpretación de gráficas generadas.

1. Modelo de Corte Ortogonal.

El proceso de arranque de viruta es un proceso muy agresivo y difícil de analizar, pues es un proceso tridimensional (oblicuo), pero para entender el concepto se propone un estudio bidimensional llamado Modelo de Corte Ortogonal, que reduce en gran medida las dificultades presentadas por la geometría del proceso de arranque de viruta, porque se considera que el esfuerzo es aplicado únicamente a un plano y no sobre una zona como sucede en realidad. El análisis involucra la formación de viruta por deformación cortante a lo largo de un plano llamado plano de corte, también hay que considerar el ángulo que forma la herramienta de corte con respecto a la normal al plano de la pieza de trabajo, llamado ángulo de virutamiento, el cual es determinante en la dirección con la que saldrá la viruta de la pieza de trabajo. Otro ángulo importante es el ángulo de claro o incidencia, el cual es necesario para dejar un espacio entre el flanco de la herramienta y la superficie de trabajo nueva. Estos ángulos se visualizan en la figura. 1.1

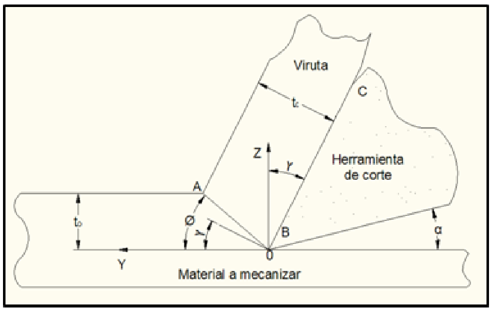


Fig. 1.1 Ángulos formados durante el Corte.

La profundidad que se debe dar para poder realizar el arranque de material corresponde al espesor de la viruta antes del corte (t_o), mientras que el espesor (t_c) corresponde al espesor de la viruta después de que ésta se ha deformado conforme la herramienta actúa sobre el material, el ancho de la viruta también forma parte de las dimensiones características de la viruta, las mismas que se muestran en la fig. 1.2

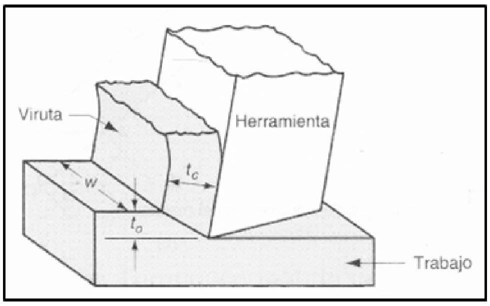


Fig. 1.2 Dimensiones características de la viruta.

2. Parámetros involucrados en un proceso de torneado

El proceso de torneado se basa en arrancar material en forma de viruta de una pieza que se encuentra rotando accionada por un torno. Para la respectiva remoción de material, generalmente la herramienta de corte realiza movimientos longitudinales, mientras que la pieza de trabajo únicamente rota. La fig. 2.1 muestra un esquema del proceso de torneado.

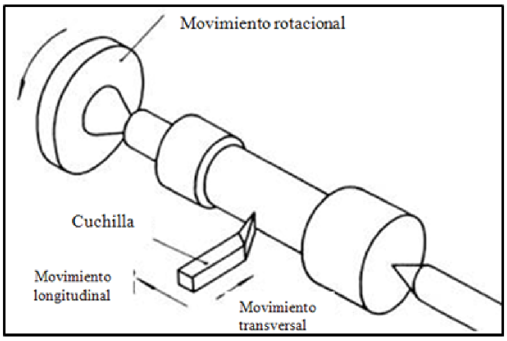


Fig. 2.1 Esquema del proceso de torneado.

3. Teoría sobre el desgaste de herramientas de corte.

El desgaste de las herramientas de corte es un proceso gradual, cuya rapidez depende de los materiales de la herramienta y del elemento a mecanizar, la forma de la herramienta, el fluido de corte, los parámetros involucrados en el proceso de corte como la velocidad, avance y profundidad, y las características de la máquina herramienta en general.

Existen dos tipos básicos de desgaste, que corresponden a dos regiones de la herramienta: desgaste de flanco y desgaste de cráter.

En el desgaste de cráter se forma una sección cóncava de la cara de virutamiento por la acción de la viruta que se desliza contra dicha superficie, véase figura 3.1. Además de la afinidad química existente entre el material de la herramienta de corte y el material a mecanizar, los altos esfuerzos y temperaturas presentes en la interfaz herramienta-viruta contribuyen a la acción del desgaste de la herramienta.

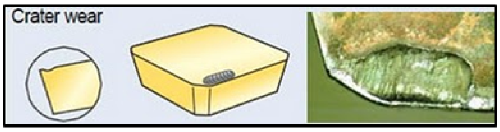


Fig. 3.1 Desgaste de Cráter.

El desgaste del flanco ocurre en el flanco o superficie de relieve de la herramienta (cara lateral), ver figura 3.2. Resulta del rozamiento entre la superficie de trabajo recién creada y la cara adyacente al borde de corte.

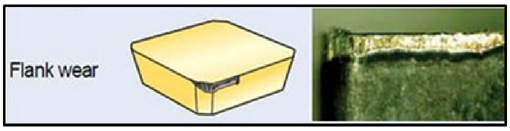


Fig. 3.2 Desgaste de Flanco.

4. Calidades y geometrías de herramientas de corte.

Las herramientas de corte utilizadas son denominadas insertos o plaquitas intercambiables que poseen diversos filos de corte dependiendo de su geometría. Ver fig. 4.1.

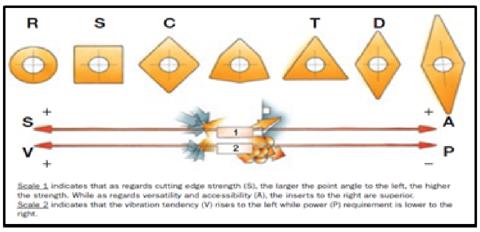


Fig. 4.1 Geometría de los Insertos

Para la selección del inserto se deben tomar en cuenta los siguiente parámetros: radio de punta, forma, tamaño, rompe virutas, ángulos. La geometría con ángulos mayores otorgan más vibraciones, pero tienen menor requerimiento de potencia.

La calidad de los insertos viene definida por el tipo de recubrimiento que tiene CVD (deposición química en fase de vapor) y PVD (deposición física en fase de vapor), los cuales le otorgan propiedades a estas herramientas de corte.

Los revestimientos CVD se caracterizan por esfuerzos residuales de tracción y fisuras por calentamiento debidos a las diferencias de los coeficientes de expansión térmica del revestimiento CVD y del sustrato de carburo cementado. Por consiguiente, las herramientas con revestimiento CVD son más susceptibles de desbastado del borde que las herramientas con revestimiento PVD.

5. Propiedades y composición química del acero AISI D6.

El acero AISI D6 es un acero de alto contenido de carbono y cromo, tiene un esfuerzo de fluencia de 1500 MPa y se caracteriza por:

- Alta resistencia al desgaste.
- Alta resistencia a la compresión.
- Alta dureza superficial después del temple.
- Buenas propiedades a través del endurecimiento
- Buena estabilidad durante el endurecimiento.
- Buena resistencia al revenido.

Tabla 1.1 Composición Química del Acero AISI D6.

Análisis típico %	**C 2.05**	**Si 0.3**	**Mn 0.4**	**Cr 11.5**	**W 0.7**
Especificación estándar	AISI D6				
Condiciones de entrega	240 HB (catálogo)				
Código de color	Rojo				

El acero AISI D6 es recomendable para aplicaciones donde se requiere una alta resistencia al desgaste como: matriz de corte, cuchillas y tijeras de alto rendimiento, para cortes de chapas de acero, estampados para cortes de precisión en la industria del papel. Placas de revestimiento de moldes para baldosas y ladrillos, herramientas para prensado de pos-metálicos y de materiales altamente abrasivos, guías para maquinas-operadoras, reglas para rectificadoras, piezas de desgaste de calibres, micrómetros y herramientas en general, que exigen la máxima resistencia a la abrasión y a la retención de corte.

6. Calidades y geometrías de herramientas de corte.

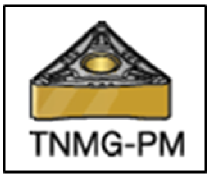
La selección de la herramienta de corte (inserto) adecuada se la realiza en función del material que se va a mecanizar, cuyos parámetros se comparan con los datos existentes en el catálogo proporcionado por el fabricante de insertos (Catálogo SANDVIK).

6.1. Criterio de Selección.

Considerando que el acero AISI D6 corresponde a un material de alta aleación (elementos aleantes >5%) recocido (Nº CMC03.11) con una dureza de 200 HB, se selecciona dos tipos de insertos que permiten el desbaste de material.

La selección de la herramienta de corte se la realiza entre las diferentes calidades de insertos que permiten mecanizar materiales tipo P que corresponden a los aceros, de los cuales se selecciona los siguientes:

TNMG 160408 PM 4225 TRIANGULAR 60º



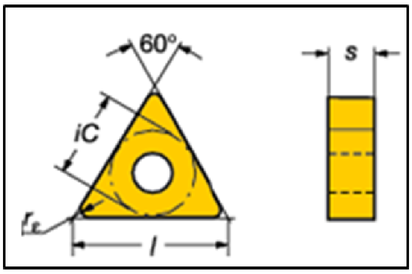


Fig. 4.1 Geometría del inserto TNMG-PM.

En la fig. 4.1 se observa la geometría triangular de un inserto de radio de punta 08, con una calidad de inserto GC4225 el cual corresponde a una calidad de material recubierto CVD el cual se utiliza para operaciones que van desde el acabado hasta el desbaste, incluyendo fundiciones de acero. Presenta un sustrato de dureza y tenacidad optimizadas para el torneado de aceros, en combinación con un grueso recubrimiento resistente al desgaste. Esta calidad puede hacer frente a cortes continuos e intermitentes a elevadas velocidades de arranque de metal.

TNMG 160404 PF 4215 TRIANGULAR 60º

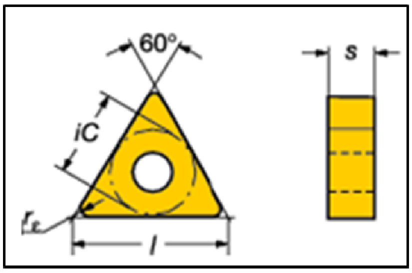


Fig. 4.2 Geometría del inserto TNMG-PF.

La fig. 4.2 muestra la geometría triangular para un inserto de radio de punta 04, con una calidad de inserto GC4215 que corresponde a una calidad de metal duro con recubrimiento CVD para acabado y desbaste en aplicaciones con corte continuo o ligeramente interrumpido en acero y acero fundido. Sustrato optimizado en cuanto a dureza y tenacidad con un recubrimiento resistente al desgaste. Es capaz de hacer frente a las altas temperaturas sin sacrificar la seguridad del filo tanto en aplicaciones con refrigerante como en seco.

Para la calidad correspondiente de cada inserto, se obtiene la siguiente tabla de parámetros en función del material a mecanizar y del tipo de inserto.

Tabla 4.1 Parámetros Seleccionados.

	TNMG120408 PM 4225	TNMG160404 PF 4215
Profundidad de corte (mm)	1.6	0.8
Avance (mm/rev)	0.4	0.3
Velocidad de corte (m/min)	205	270

En la tabla anterior se presenta los valores seleccionados de avance y profundidad para la determinación de la vida de la herramienta de corte. Manteniendo constante los valores de avance y profundidad se varía la velocidad de corte teniendo como base el valor de velocidad dada por el valor del avance seleccionado. Estos valores de velocidad se presentan en la siguiente tabla, la misma que corresponde a los valores para la realización de la presente tesina.

Tabla 4.2 Parámetros Establecidos para Realización de Experimentación.

	TNMG120408 PM 4225	TNMG160404 PF 4215
Profundidad de corte (mm)	1.6	0.8
Avance (mm/rev)	0.4	0.3

Velocidad de corte (m/min)	205-229.6-256.3-183-164-146	270-290-310- 250-230.14-200

6.2. Selección del Criterio de Desgaste.

En base a la norma ANSI/ASME B94.55M 1985 para ensayos de vida de herramientas de una sola punta para torneado, se tienen varios criterios para determinar el desgaste de la herramienta. Según el inciso 7.1.2 de esta norma, podemos decir que una herramienta de corte se declara como no servicial cuando el desgaste de flanco alcanza un valor de 0.3 mm bajo condiciones de desgaste uniforme en la zona B, ver figura 5.1. Cuando se tiene un desgaste no uniforme en esta zona, se debe utilizar como criterio un máximo de 0.6 mm de desgaste en el flanco. La profundidad del cráter KT dado en milímetros por la formula:

$$KT = 0.06 + 0.3f$$

Donde f es el avance en milímetros por revolución (mm/rev).

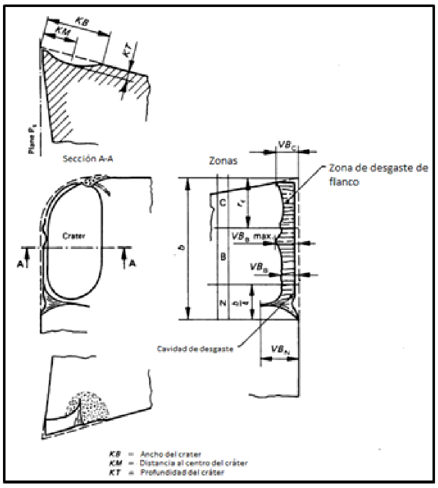


Fig. 6.1 Zonas de desgaste de la herramienta.

7. Metodología para Establecer el Desgaste.

La herramienta con la que se mecanizará deberá analizarse para las condiciones de fallo detalladas anteriormente, si no presenta el desgaste requerido para establecer el fallo de la herramienta se debe continuar mecanizando hasta alcanzar los valores de desgaste detallados para establecer la vida de la herramienta de corte.

7.1. Procedimiento e Instrumento a Utilizar para la Medición del Desgaste.

Para medir el desgaste de la herramienta de corte, se dispondrá de un MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (MEB) con el cual se procederá a medir el desgaste que se producirá en el flanco y en el cráter del inserto en cada una de las pasadas que se realice durante el maquinado del acero.

El MEB está compuesto por tres detectores que se clasifican en imágenes de electrones secundarios, imágenes de electrones de retro dispersión y analizador EDS de rayos x, los cuales están instalados dentro de la cámara de vacío. La muestra se coloca en el portamuestras de la cámara de vacío del microscopio, en donde es escaneada por medio de un haz de luz de electrones, convirtiendo las señales eléctricas en una imagen tridimensional que se observa en el monitor de la computadora. Si se desea obtener un haz uniforme de electrones, es necesario mantener la columna del microscopio a un alto vacío que corresponde a una baja presión, así mismo para permitir el desplazamiento de electrones, evitar descargas de alta tensión en el cañón electrónico.

Las imágenes que se muestran a través de la microscopía presentan detalles microscópicos del desgaste producido en el inserto durante el maquinado. En estas imágenes se puede medir claramente el desgaste y los cambios que se producirán en el inserto dependiendo de las condiciones con las que se trabaje.

En las fig. 7.1 y 7.2 se puede observar el desgaste en el flanco y la medición del desgaste respectivamente para el inserto TNMG 160404 PF 4215., de igual manera en la figura 6.1 se puede apreciar los valores correspondientes a longitud de desgaste de flanco, las zonas en las cuales se presenta un desgaste uniforme y el valor de desgaste de flanco máximo.

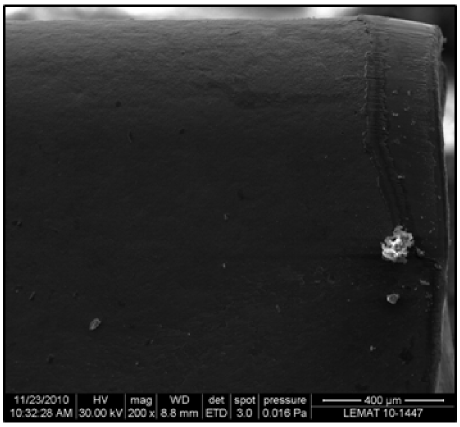


Figura 7.1 Desgaste Producido en el Inserto

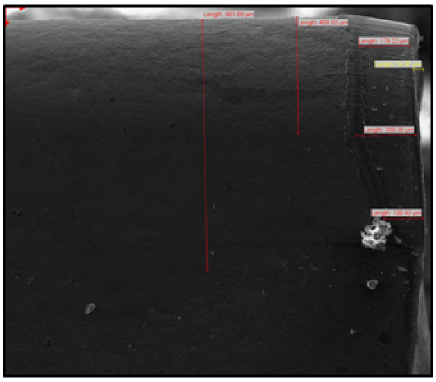


Fig. 7.2 Medición del Desgaste de Flanco.

Durante el proceso de torneado, se presentan cambios en el inserto, ya sea por el calor que se produce debido a las condiciones de trabajo o por la viruta que se desprende. Ver fig. 7.3

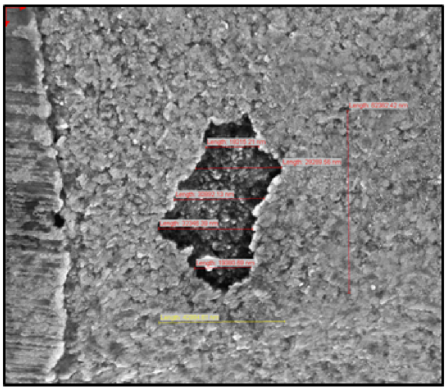


Fig. 7.3 Detalle de la Fisura con un Aumento de 2000X.

8. Tablas de Resultados.

Para la presentación de las tablas se procede a realizar los cálculos representativos de los RPM y del tiempo de mecanización teórico para luego compararlo con el tiempo de mecanización experimental que se obtiene en cada una de las pasadas para los diferentes filos de corte de cada uno de los insertos.

Para calcular los RPM de cada uno de los filos de corte se mantiene constante la velocidad de corte, avance y profundidad correspondiente a cada filo y tipo de inserto y lo que varía es el diámetro de la barra de acero AISI D6 que se mecaniza.

Para el cálculo de los RPM se utiliza la ecuación siguiente:

$$v = \frac{\pi . D . N}{1000}$$

$$N = \frac{1000 . v}{\pi . D}$$

Donde la velocidad de corte *v* está dada en m/min y el diámetro *D* está dado en mm.

Para el cálculo del tiempo de mecanización se utiliza la siguiente ecuación:

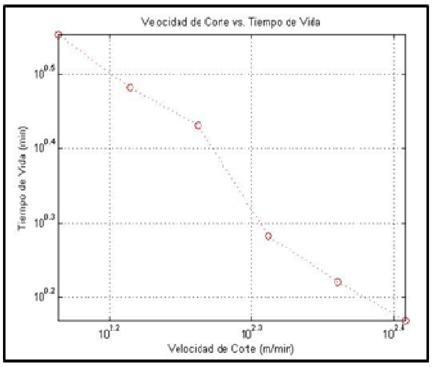
$$T = \frac{L(mm)}{N(rpm) . f(mm/rev)}$$

Donde *L* es la longitud mecanizada y está dada en mm, *N* son los RPM determinados con la ecuación anterior y *f* es el avance con el que se mecaniza cada uno de los insertos y está dado en mm/rev.

Gráfica Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización (Ecuación de Taylor).

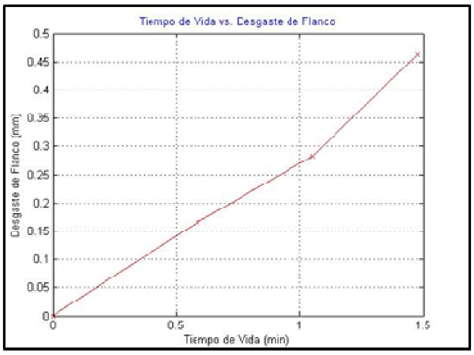
En la gráfica 1 y 3 mostrada a continuación se representa la relación que existe entre la velocidad de corte para los diferentes filos de corte y el tiempo de mecanización hasta alcanzar el desgaste según el criterio de Desgaste de Flanco que es de 0.3 mm. Para cada uno de los insertos seleccionados, pero al no ser una relación lineal se procede a representar la relación en una gráfica doble logarítmica, en la cual la variable dependiente es la velocidad de corte y se la grafica en el horizontal y el tiempo de vida es la variable dependiente y se la grafica en el eje vertical.

Gráfica 1. Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización (Relación de Taylor) para Inserto 1.

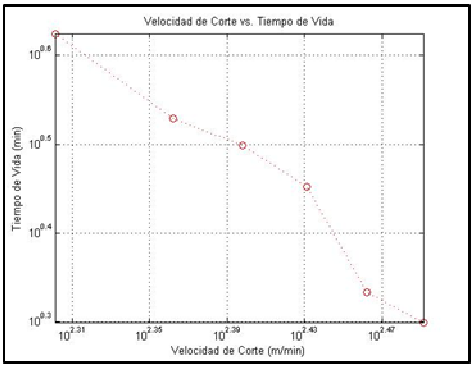


En la gráfica 2 y 4, se observa la relación que existe entre el Tiempo de Vida de la herramienta de corte y el Desgaste de Flanco producido en un respectivo filo de corte bajo condiciones especificadas.

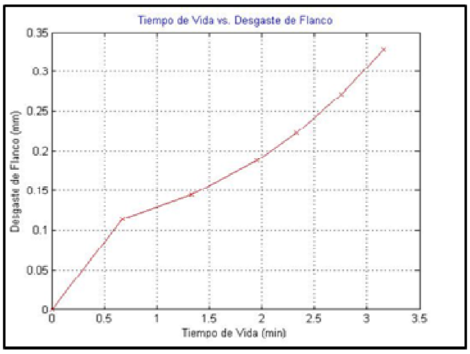
Gráfica 2 Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco.



Gráfica 3. Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización (Relación de Taylor) para Inserto 2.



Gráfica 4. Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco.



Relación de Taylor a partir de la Gráfica Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización para el Inserto 1.

De la gráfica 1 se obtiene los valores necesarios para determinar el valor de la pendiente de la recta *k*, los cuales se representa en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Datos correspondientes a Velocidad de Corte y Tiempo de Mecanización en Escala Logarítmica para el Inserto 1.

Velocidad de Corte	Tiempo de Mecanización
2,409	0,169
2,361	0,220
2,312	0,283
2,262	0,431
2,215	0,481
2,164	0,553

$$k = \frac{T_2 - T_1}{V_2 - V_1}$$

$$k = \frac{1,2742 - 0,3900}{4.9836 - 5,5463}$$

$$k = \frac{0,8842}{-0,5627}$$

$$k = -1,57$$

Con este valor de *k* se procede a reemplazar los datos en la ecuación de Taylor.

$$v.T^{-\frac{1}{k}} = C$$

$$(256,3).(1,477)^{-\frac{1}{-1,57}} = C$$

$$C = 329\ m/min$$

9. Conclusiones.

- Las curvas que se obtiene para los diferentes filos de corte e Insertos muestran que el tiempo de mecanización varía dependiendo de los parámetros con los que se mecaniza un material, es decir par un mismo avance y una misma profundidad de corte se obtiene diferentes tiempos de mecanización dependiendo de la velocidad de corte con la que se mecaniza el material.
- Las curvas Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización generada no es una curva lineal debido a que se encuentra afectada por la longitud mecanizada y por el avance de corte que se utiliza para mecanizar el material, por lo que es necesario hacer una gráfica doble logarítmica. Además entre la Velocidad de Corte y el Tiempo de Mecanización existe una relación inversamente proporcional. En este caso se ha mantenido constante la longitud mecanizada y el avance, es decir que a medida que aumenta la velocidad de corte el tiempo de mecanización es menor.
- Las curvas Desgaste vs. Tiempo de Mecanización muestran que entre el

Desgaste y el Tiempo de Mecanización existe una relación directamente proporcional, es decir que el Desgaste de la herramienta de corte aumenta a medida que aumenta el Tiempo de Mecanización.

- Por tratarse de un material que tiene alto contenido de carbono y cromo aleado con tungsteno presenta una gran resistencia a la abrasión, estabilidad dimensional, no se expande con el calor provocado por el corte a altas revoluciones, es decir que el diámetro que se espera después de maquinado es el mismo que se puede medir.
- El acabado superficial que presenta el material después de maquinado depende de los RPM con que se trabaje y del estado de la herramienta de corte. Cuando se trabaja con herramientas desgastadas se presentan irregularidades en el acabado superficial. (Ver figura 9.1). Lo que no sucede cuando se trabaja con una herramienta que no ha alcanzado su tiempo de vida útil. (Ver figura 9.2).

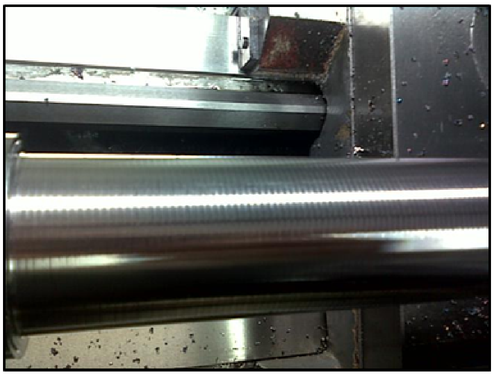


Figura 9.1 Acabado Superficial del Acero AISI D6 Maquinado con una Herramienta Desgastada.

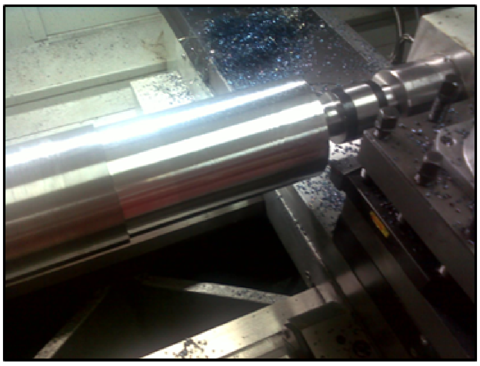


Figura 9.2 Acabado Superficial del Acero AISI D6 Maquinado con una Herramienta No Desgastada.

- El tiempo de vida útil de una herramienta de corte no se refiere al tiempo que se puede utilizar una herramienta de corte, sino al tiempo bajo las condiciones especificadas que una herramienta de corte puede ser utilizada obteniendo los resultados deseados, tanto en acabado superficial como en precisión de corte.
- La constante C de la ecuación de Taylor representa la Velocidad de Corte a la cual la vida de la herramienta de corte sería un minuto.
- De acuerdo a experimentaciones realizadas se establece que para mecanizar Acero AISI D6 el inserto TNMG 160404 PF 4215 tiene un mejor comportamiento que el Inserto TNMG 160408 PM 4215, debido a que sus filos de corte tienen un mayor tiempo de vida útil, también permite trabajar a mayores velocidades de corte y se observa un mejor acabado superficial. Todo esto debido al recubrimiento que posee.
- Aunque el Inserto 1 TNMG 160408 PM 4225 permita trabajar a velocidades menores que el inserto 2 TNMG 160404 PF 4215, tiene una gran ventaja que es la posibilidad de trabajar a mayores avances, lo cual permite reducir el tiempo de producción.

10. Referencias Bibliográficas.

[1]. ANSI/ASME B94.55M 1985
[2]. HANDBOOK DE MATERIALES
[3].SANDVICK, CATÁLOGO SOBRE HERRAMIENTAS DE CORTE PARA PROCESOS DE TORNEADO GENERAL.
[4]. GROOVER, M.(1997).FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA. MEXICO. PEARSON EDUCACION.
[5].IVAN BOHMAN, CATÄÑOGO DE MATERIALES ESPECIALES, 2009
[6].METALPOL, ACEROS ESPECIALES.. Capital Federal Argentina, 2003
[7]. Información obtenida de la Unidad de Microscopía Electrónica del LEMAT-FIMCP-ESPOL.
[8]. Serie Científica Avanzada: El microscopio Electrónico. Centro de Extensión Biomédica Facultad de Medicina Universidad de Chile.