ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"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"

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

José Miguel Calva Cumbicus

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2011

AGRADECIMIENTO

A Dios y a su Santísima madre la Virgen del Cisne, que son fuente de todo conocimiento por guiar mis pasos e iluminar mi vida.

A todas aquellas personas que con su ayuda me han permitido culminar con éxito esta Tesina de Seminario, a mis padres, hermanos, amigos, familiares, al personal del LEMAT y al M.Sc. Gabriel Helguero A., Director del Seminario, por su gran ayuda.

A Ti mi amor, por estar junto a mí en cada vivencia de este recorrido, y ayudarme a lograr lo propuesto, esto es por nosotros.

DEDICATORIA

A mis padres Samuel y Bélgica quienes con su sacrificio me han enseñado la responsabilidad y la abnegación al trabajo.

A mis hermanos y familiares que de una u otra manera siempre han estado a mi lado apoyándome y dándome valor para poder alcanzar las metas propuestas.

A mi prometida Ma. Nohelia que ha estado junto a mí durante todo este proceso brindándome su apoyo y compañía.

Son mi vida, esto va por todos Ustedes**.**

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____	_____
Ing. Francisco Andrade S.	MSc. Gabriel Helguero A.
DECANO DE LA FIMCP	DIRECTOR DE TESINA
PRESIDENTE	

_____

Ing. Eduardo Orcés P.

VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Seminario, me pertenece exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

_____

José Miguel Calva Cumbicus

RESUMEN

En la presente tesina de graduación se realizó el proceso para analizar el tiempo de vida útil de una herramienta de corte (inserto), para mecanizar el ACERO AISI D6 en un proceso de torneado en una máquina CNC.

En la primera parte se describe los aspectos teóricos sobre la teoría de formación de viruta, los parámetros involucrados en el proceso de corte, la geometría y calidad de las herramientas de corte y las características del material que se mecanizó.

Una vez conocidas la teoría de la formación de viruta y los parámetros involucrados en el proceso de corte se seleccionó los insertos que permiten mecanizar el material especificado en función de sus propiedades físicas y composición química.

Luego se procedió a realizar la experimentación requerida, para lo cual se tomó datos para el desgaste de flanco para cada uno de los filos de corte de cada inserto, para diferentes velocidades de corte, manteniendo constantes los valores de avance y profundidad seleccionados previamente. En base a estos resultados se pudo analizar la relación entre la velocidad de

corte y el tiempo de mecanizado mediante el uso de la ecuación de Taylor y de esa manera se obtuvo los resultados contundentes para conocer el comportamiento del tiempo de vida de cada uno de los insertos bajo diferentes condiciones de corte mediante la elaboración e interpretación de gráficas generadas en MATLAB®.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN I
ÍNDICE GENERAL III
ABREVIATURAS V
SIMBOLOGÍA VI
ÍNDICE DE FIGURAS VII
ÍNDICE DE TABLAS IX
ÍNDICE DE GRÁFICAS X
INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1 3
1. MARCO TEÓRICO 3
1.1. Modelo De Corte Ortogonal 3
1.2. Teoría de Formación Real de Viruta 7
1.3. Teoría y Parámetros Involucrados en un Proceso de Torneado. 12
1.4. Teoría sobre el Desgaste de Herramientas de Corte 14
1.5. Calidades y Geometrías de Insertos para Herramientas de Corte. 18
1.6. Propiedades y Composición Química del Acero AISI D6 24

CAPÍTULO 2 27
2. PARÁMETROS A ANALIZAR 27
2.1. Selección de Herramientas 27
2.1.1. Criterio de Selección. 28
2.1.2. Parámetros de Corte para los Insertos Seleccionados 31
2.2. Selección del Criterio de Desgaste 38
2.3. Metodología para Establecer el Desgaste 40
2.3.1. Procedimiento para Realizar la Experimentación. 40
2.3.2. Procedimiento e Instrumento a Utilizar para la Medición del Desgaste 41

CAPÍTULO 3 49
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES 49
3.1. Tablas de Resultados. 49
3.1.1. Inserto 1. 57
3.1.2. Inserto 2. 60
3.2. Curvas para Inserto 1 (Matlab®). 63
3.2.1. Gráfica Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización (Ecuación de Taylor). 63
3.2.2. Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco. 65
3.3. Curvas para Inserto 2 (Matlab®). 69
3.3.1. Gráfica Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización (Ecuación de Taylor). 70
3.3.2. Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco. 71
3.4. Relación Obtenida de la Ecuación de Taylor para cada Inserto. 76

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 90
4.1. Interpretación de Curvas Generadas. 90
4.2. Interpretación de Ecuaciones Obtenidas. 91
4.3. Comportamiento del Inserto durante el Proceso de Torneado. 93
4.4. Comportamiento del Material. 96
4.4.1. Tipo de Viruta. 98
CAPÍTULO 5 100
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 100
5.1. Conclusiones. 100
5.2. Recomendaciones. 102
ANEXOS
APÉNDICE
BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

m:	**Metros**
cm:	**Centímetros**
mm:	**Milímetros**
s:	**Segundos**
min:	**Minutos**
rev:	**Revoluciones**
rpm:	**Revoluciones por Minuto**
m/min:	**Metros por Minuto**
mm/rev:	**Milímetros por revolución**
RC:	**Rockwell C**
Kg:	**Kilogramos**
MPa:	**Mega Pascales**
CVD:	**Deposición Química en Fase de Vapor**
PVD:	**Deposición Física en Fase de Vapor**

SIMBOLOGÍA

A:	**Área**
L:	**Longitud**
π:	**pi**
T:	**Tiempo**
V:	**Velocidad de Corte**
N:	**Número de Revoluciones por Minuto**
VB:	**Desgaste de Flanco.**
KT:	**Desgaste de Cráter.**
a:	**Profundidad de Corte**
f:	**Avance de Corte.**
C:	**Constante de Taylor**
γ:	**Ángulo de Virutamiento**
α:	**Ángulo de Incidencia**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Modelo de Corte Oblicuo 4
Figura 1.2 Modelo de Corte Ortogonal. 4
Figura 1.3 Ángulos Formados Durante el Corte. 5
Figura 1.4 Dimensiones Características de la Viruta. 6
Figura 1.5 Diagrama de Cuerpo Libre de la Viruta. 10
Figura 1.6 Fuerzas de Corte en el Modelo Ortogonal. 11
Figura 1.7 Relación entre las Fuerzas de Corte. 12
Figura 8. Esquema del Proceso de Torneado. 13
Figura 1.9 Desgaste de Cráter. 15
Figura 1.10 Desgaste de Flanco. 16
Figura 1.11 Formas del Desgaste 17
Figura 1.12 Geometría de los Inserto. 19
Figura 1.13 Ángulos correspondientes a los diferentes filos de corte 20
Figura 1.14 Radio de Punta del Inserto. 21
Figura 2.1 Geometría del inserto TNMG-PM. 28
Figura 2.2 Geometría del inserto TNMG-PF 30
Figura 2.3 Relación entre Avance y Profundidad para Insertos de Diferente Radio de Punta 33
Figura 2.4 Zonas de desgaste de la herramienta. 39
Figura 2.6 Medición del Desgaste de Cráter. 44
Figura 2.7 Desgaste Producido en el Inserto 45
Figura 2.8 Medición del Desgaste de Cráter 45
Figura 2.9 Filo # 5 en la Segunda Pasada con un Aumento de 200X. 46
Figura 2.10 Detalle de la Fisura en la Segunda Pasada con un Aumento de 2000X. 47
Figura 2.11 Filo # 5 en la Tercera Pasada con un Aumento de 200X. 47
Figura 2.12 Detalle de la Fisura en la Tercera Pasada con un Aumento de 2000X. 48

Figura 4.1 Despostillamiento de material en el filo 2 del Inserto 1. 94

Figura 4.2 Agrietamiento en el filo 1 del inserto 2.....95

Figura 4.3 Agrietamiento en el Filo 2 del Inserto 2. 95

Figura 4.4 Agrietamiento en el Filo 3 del inserto 2. 96

Figura 4.5 Acabado Superficial del Acero AISI D6 Maquinado con una Herramienta Desgastada. 97

Figura 4.6 Acabado Superficial del Acero AISI D6 Maquinado con una Herramienta No Desgastada. 98

Figura 4.7 Tipo de Viruta Desprendida durante el Proceso de Torneado. 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición Química del Acero AISI D6.....24

Tabla2 Dureza del Acero AISI D6 en RC y HB.....26

Tabla 3 Avances Permisibles para Inserto 1 en mm/rev.....31

Tabla4 Profundidad de Corte Permisibles para Inserto 2 en mm. 32

Tabla5 Avance Permisibles para Inserto 2 en mm/rev.....34

Tabla6 Profundidad de Corte Permisibles para Inserto 2 en mm. 35

Tabla7 Parámetros Seleccionados.....37

Tabla8 Parámetros Establecidos para Realización de Experimentación.....38

Tabla 9 Resultados de cálculos de RPM y Tiempo Teórico para el Inserto 1 TNMG 160408 PM 4225.....52

Tabla 10 Resultados de cálculos de RPM y Tiempo Teórico para el Inserto 2 TNMG 160404 PM 4215.....55

Tabla 11 Resultados para el Inserto 1 57

Tabla 12 Resultados de desgaste y Tiempo de Mecanización para el Inserto 1.....58

Tabla 13 Resultados para el Inserto 2.....60

Tabla 14 Resultados de desgaste y Tiempo de Mecanización para el Inserto 2.....61

Tabla 15 Datos correspondientes a Velocidad de Corte y Tiempo de Mecanización en Escala Logarítmica para el Inserto 1.....77

Tabla 16 Datos correspondientes a Velocidad de Corte y a Tiempo de Mecanización en Escala Logarítmica para el Inserto 2.....79

Tabla 17 Regresión Lineal para Inserto 1 81

Tabla 18 Regresión Lineal para Inserto 2. 83

Tabla 19 Datos para Determinar la Relación de Taylor para el Inserto 1, Aplicando el Método de Mínimos Cuadrados. 86

Tabla 20 Datos para Determinar la Relación de Taylor para el Inserto 2, Aplicando el Método de Mínimos Cuadrados. 88

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.2 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 1. 65

Gráfica 3.3 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 2. 66

Gráfica 3.4TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 3. 66

Gráfica 3.5 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 4. 67

Gráfica 3.6TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 5. 67

Gráfica 3.7TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 6. 68

Gráfica 3.8DESGASTE DE FLACO VS. TIEMPO DE VIDA PARA CADA UNO DE LOS FILOS DE CORTE DEL INSERTO 1 (VER APÉNDICE D) 69

Gráfica 3.9VELOCIDAD DE CORTE VS. TIEMPO DE MECANIZACIÓN (RELACIÓN DE TAYLOR) PARA INSERTO 2. 71

Gráfica 3.10TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 1. 72

Gráfica 3.11TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 2. 73

Gráfica 3.12TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 3. 73

Gráfica 3.13TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 4. 74

Gráfica 3.14TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 5. 74

Gráfica 3.15TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 6. 75

Gráfica 3.16DESGASTE DE FLACO VS. TIEMPO DE VIDA PARA CADA UNO DE LOS FILOS DE CORTE DEL INSERTO 2 (VER APÉNDICE F) 76

INTRODUCCIÓN

Influenciados por el creciente desarrollo tecnológico 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.

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, 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. 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.

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.

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.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

Dentro del marco teórico se procede a describir los diferentes componentes que se presentan durante el proceso de corte de material, tanto en el material a mecanizar como en la herramienta de corte y en el proceso de mecanización en el que se realizará la experimentación.

1.1. Modelo De Corte Ortogonal

El proceso de arranque de viruta es un proceso muy agresivo y difícil de analizar. Para poder realizar análisis ingenieriles más simples, se utiliza un modelo matemático para aproximar los resultados de un proceso de mecanización. Debido a la presencia de altas temperaturas durante el corte, así como altas fuerzas involucradas en la mecanización, es necesario idealizar

la forma en que sale la viruta del material de trabajo. El proceso de corte es un proceso tridimensional (oblicuo) como se muestra en la figura 1.1, pero para entender el concepto se propone un estudio bidimensional llamado *modelo de corte ortogonal*, el cual reduce en gran medida las dificultades presentadas debido a la geometría del proceso de arranque de viruta. Ver figura 1.2.

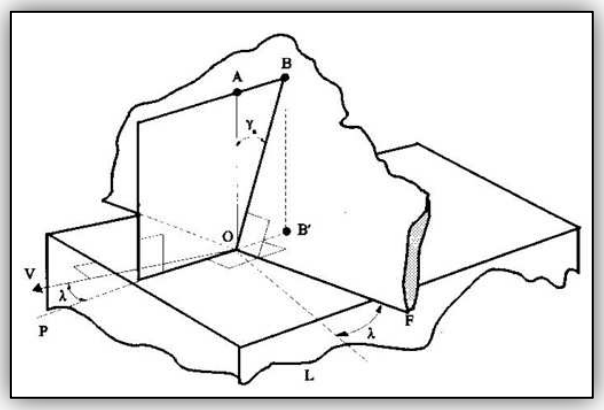


Figura 1.1 MODELO DE CORTE OBLICUO

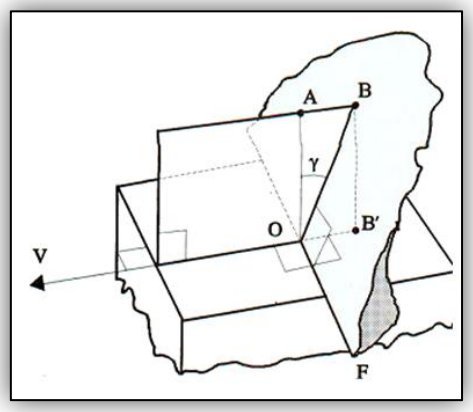


Figura 1.2 MODELO DE CORTE ORTOGONAL.

Este modelo se basa en una herramienta con forma de cuña, cuyo borde de corte es perpendicular a la dirección de la velocidad de corte. 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 el ángulo de virutamiento (ϒ), el cual es determinante en la dirección con la que saldrá la viruta de la pieza de trabajo. Otro ángulo importante es el ángulo del claro o de incidencia (α), el cual es necesario para dejar un espacio entre el flanco de la herramienta y la superficie de trabajo nueva, estos ángulos los se puede visualizar en la figura 1.3.

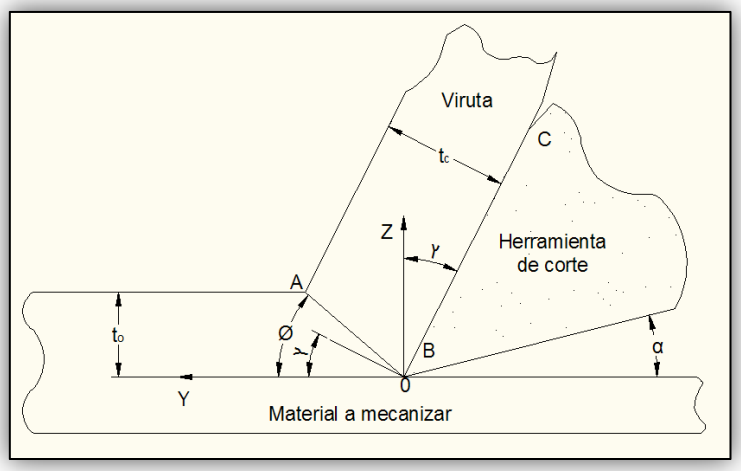


Figura 1.3 ÁNGULOS FORMADOS DURANTE EL CORTE.

Durante el maquinado, a la herramienta se le da una cierta profundidad de corte, para poder realizar el arranque de material. Esta profundidad de corte corresponde al espesor de la viruta antes del corte (t_0), mientras que el espesor (t_c) es el obtenido luego de que se ha deformado la viruta a medida que la herramienta de corte actúa sobre el material, es decir luego de haber realizado el corte. La relación de estas dos medidas es denominada radio de espesor de viruta, expresada como:

$$r = \frac{t_o}{t_c}$$

Otra dimensión importante en la viruta es su ancho (w), estas dimensiones características de la viruta se las puede apreciar en la figura 1.4.

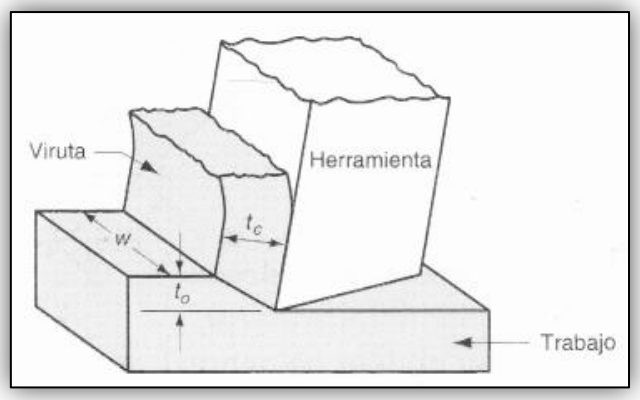


Figura 1.4 DIMENSIONES CARACTERÍSTICAS DE LA VIRUTA.

Por otro lado, se tiene el ángulo del plano de cizallamiento (∅), el cual es el ángulo formado entre el plano de la nueva superficie generada y el plano por donde sale expulsada la viruta. Para la determinación de este ángulo se cuenta con la siguiente ecuación:

$$tan\emptyset = \frac{rcos\gamma}{1 - rsen\gamma}$$

La deformación cortante es expresada en términos del ángulo del plano de cizallamiento, mediante la expresión:

$$\gamma = \tan(\emptyset - \gamma) + \cot\emptyset$$

1.2. Teoría de Formación Real de Viruta

En el modelo de corte ortogonal se considera que el esfuerzo es aplicado únicamente en un plano, y no sobre una zona como sucede en realidad, debido a que experimentalmente se ha encontrado que esta zona únicamente mide pocas milésimas de milímetro, por lo que aproximarla a un plano no produce mayor error.

Se debe considerar también que durante la formación de viruta existe un corte adicional, el cual es proveído por la fricción entre la viruta y la herramienta al deslizarse a lo largo de la cara de la herramienta. Además el modelo de corte ortogonal no considera el tipo de material que se está mecanizando y las condiciones de corte durante el proceso.

Se deben tener en cuenta las fuerzas involucradas durante el proceso de corte, para lo cual se realiza un análisis de las fuerzas involucradas y se las expresa en términos de fuerzas que sí pueden ser medidas.

En la figura 1.5 se puede observar que tanto la Fuerza de Fricción (F) que es la que resiste el movimiento de la viruta cuando ésta se desliza sobre la cara de la herramienta; y la Fuerza Normal (N) que es perpendicular a la fuerza de fricción se pueden sumar vectorialmente para formar una fuerza resultante R', la cual se orienta en un ángulo β, llamado ángulo de fricción. Estas fuerzas también definen el coeficiente de fricción entre la herramienta y la viruta:

$$\mu = \frac{F}{N}$$

El ángulo de fricción se relaciona con el coeficiente de fricción de la siguiente manera:

$$\mu = tan\beta$$

Además de estas fuerzas de la herramienta que actúan sobre la viruta, se tienen las fuerzas que la pieza de trabajo ejerce sobre la viruta. Una de ellas es la fuerza cortante (F_s) y la fuerza normal a la cortante (F_n). Ver figura 1.5, las cuales se pueden sumar vectorialmente para formar la fuerza resultante R. Con las fuerzas mencionadas se define el esfuerzo de corte que actúa sobre el plano de cizallamiento:

$$\tau = \frac{F_s}{A_s}$$

Donde A_s es el área del plano de cizallamiento, el cual puede ser calculado como:

$$A_s = \frac{t_o w}{sen\varphi}$$

Debido a que el esfuerzo requerido para el proceso de mecanizado es representado por el esfuerzo de cizallamiento, éste es igual a la resistencia al cizallamiento del material.

$$\tau = S$$

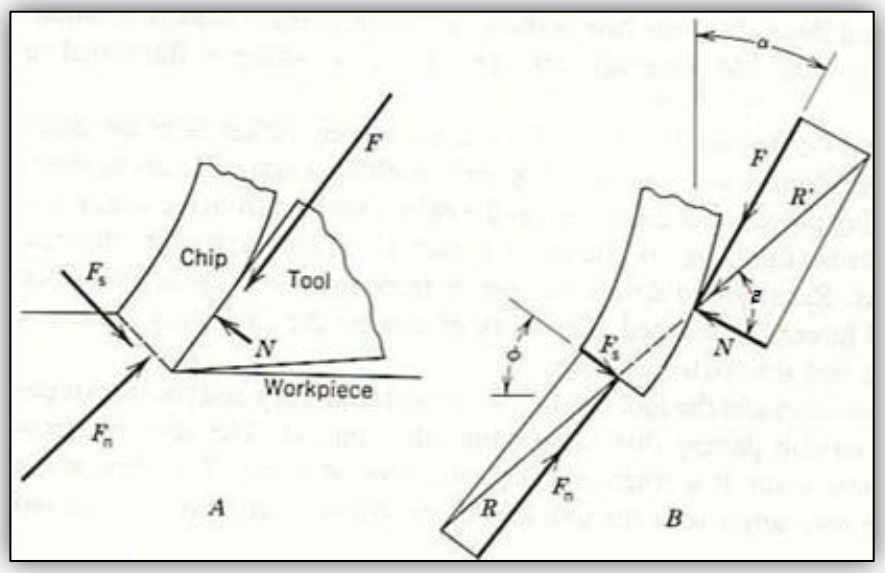


Figura 1.5 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA VIRUTA.

En la figura 1.5B se puede observar que la resultante R' debe ser igual en magnitud, pero en dirección opuesta y colineal a R para que las fuerzas que actúan sobre la viruta estén balanceadas. Así mismo nos permite saber que las componentes de la fuerza de la pieza sobre la viruta son la fuerza de corte F_s y la fuerza normal compresora F_n y las

fuerzas de la herramienta sobre la viruta son F y N como se aprecia en la figura 1.6.

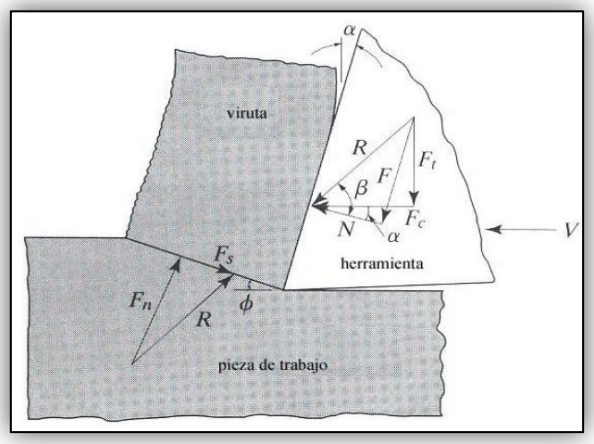


Figura 1.6 FUERZAS DE CORTE EN EL MODELO ORTOGONAL.

Estas fuerzas se pueden relacionar con las fuerzas necesarias en la herramienta F_t y F_c, donde F_t es la fuerza de empuje en dirección perpendicular a la velocidad de corte y a la superficie de trabajo, y F_c es la fuerza de corte en dirección de la velocidad de corte. Por medio del método de superposición aplicado a los triángulos de fuerzas de la figura 1.6.F_c es la fuerza horizontal de corte en la herramienta y F_t la fuerza en dirección vertical, necesaria para soportar la fuerza vertical ejercida sobre la herramienta. El detalle de la relación entre fuerzas se aprecia en la figura 1.7.

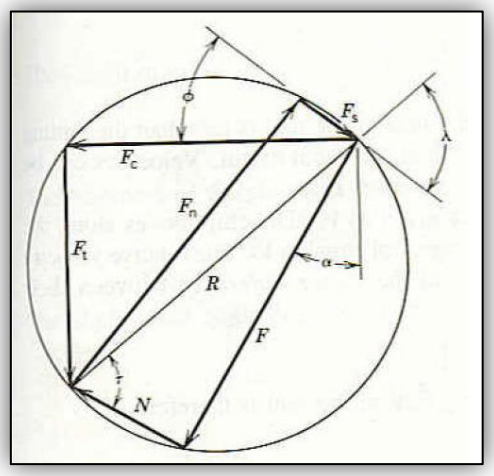


Figura 1.7 RELACIÓN ENTRE LAS FUERZAS DE CORTE.

La relación entre estas dos fuerzas con las otras cuatro que no son medibles se resume en estas cuatro ecuaciones:

$$F = F_c sen\gamma + F_t cos\gamma$$

$$N = F_c cos\gamma - F_t sen\gamma$$

$$F_s = F_c cos\varphi - F_t sen\varphi$$

$$F_n = F_c sen\varphi + F_t cos\varphi$$

1.3. Teoría y 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 el torno. Para la respectiva remoción de material, generalmente la herramienta de corte realiza movimientos longitudinales mientras la pieza de trabajo únicamente rota, un esquema de lo expuesto se puede apreciar en la figura 1.8.

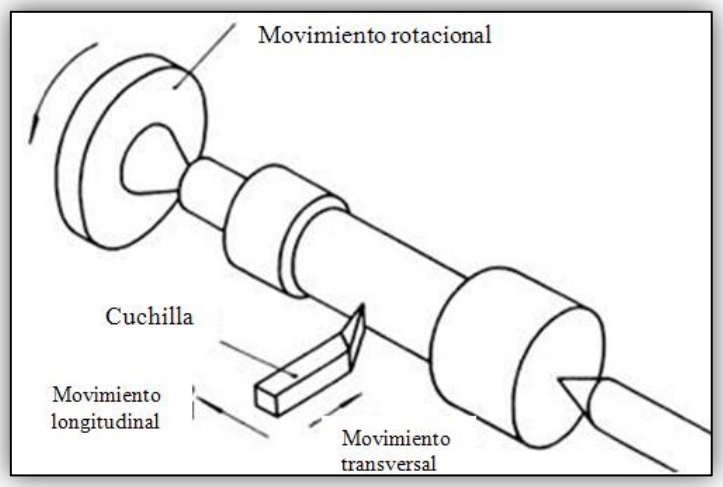


Figura 1.8 ESQUEMA DEL PROCESO DE TORNEADO.

Para una aproximación del proceso de torneado mediante el modelo de corte ortogonal, se tiene que tanto la fuerza de corte (F_c) y la velocidad de corte (v) son los mismos para ambos. Sin embargo, el espesor de la viruta antes del corte (t_o) para el torneado es determinado por el avance, el cual viene dado generalmente en mm/rev. El ancho de la viruta (w) viene dado

por la profundidad de corte (d). Además la fuerza de empuje (F_t) es la fuerza de avance (F_f) para un proceso de torneado.

Existen distintas operaciones realizables en un torno, tal como el cilindrado, el cual consiste en desbastar y reducir el diámetro de una pieza cilíndrica mediante el paso de la herramienta de corte a lo largo de la longitud de la pieza de trabajo.

Se debe tomar en cuenta que para obtener mejores calidades superficiales se debe otorgar un avance menor así como pequeñas profundidades de corte. Por otro lado, si se requiere una operación de desbaste (arranque de material en grandes cantidades), se necesita una mayor profundidad de corte y se elige un mayor avance.

1.4. Teoría sobre el Desgaste de Herramientas de Corte

El desgaste de las herramientas de corte es un proceso gradual, cuya rapidez de desgaste 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 1.9. 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.

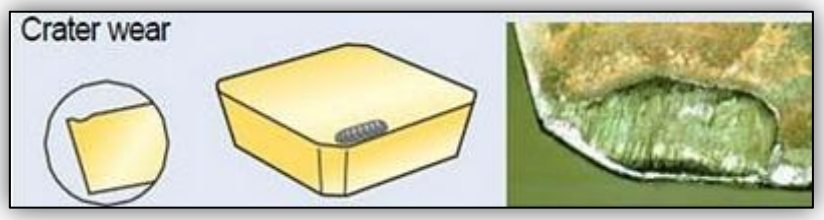


Figura 1.9 DESGASTE DE CRÁTER.

El desgaste del flanco ocurre en el flanco o superficie de relieve de la herramienta (cara lateral), ver figura 1.10. Resulta del rozamiento entre la superficie de trabajo recién creada y la cara adyacente al borde de corte.

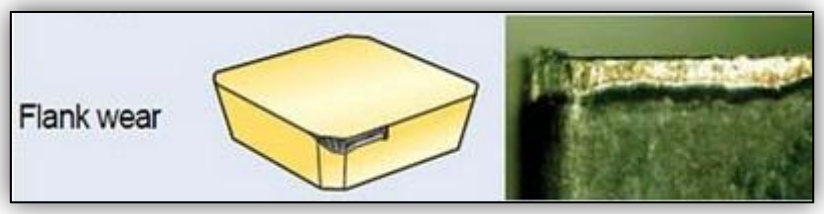


Figura 1.10 DESGASTE DE FLANCO.

Dentro de lo que es el desgaste de flanco se puede identificar varias características de desgaste como: El desgaste de muesca que es un desgaste extremo en el flanco sobre el filo de corte que corresponde a la superficie original de la pieza de trabajo, ocurre porque la superficie original de trabajo es más dura y abrasiva que el material interno, ver figura 1.11. Otra característica es el desgaste del radio de la raíz que puede identificarse y conduce a la terminación del borde de corte.

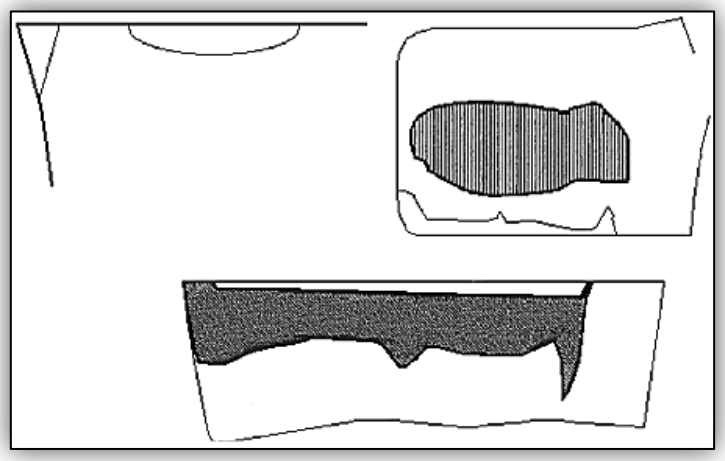


Figura 1.11 FORMAS DEL DESGASTE

Dentro de la teoría del desgaste de la herramienta de corte se puede considerar que una herramienta puede fallar por diferentes maneras, entre ellas se tiene:

a. **Falla por fractura.-** Este modo ocurre cuando la fuerza de corte se hace excesiva en la punta de la herramienta, causando una falla repentina por fractura.
b. **Falla por temperatura.-**Esta falla ocurre cuando la temperatura de corte es demasiado alta para el material de la herramienta, causando ablandamiento en la punta, deformación plástica y pérdida del filo en el borde.
c. **Desgaste gradual.-**El desgaste gradual del borde cortante ocasiona pérdida de la forma de la herramienta, reducción

de la eficiencia del corte, desgaste acelerado y falla final de la herramienta, de forma similar a la falla por temperatura.

La calidad del producto también debe considerarse cuando se intenta controlar las formas de falla de la herramienta. Tanto la falla por fractura como la falla por temperatura dan como resultado una pérdida permanente de la herramienta de corte, mientras que con el desgaste gradual se puede tener una mayor utilización de la herramienta, es decir se puede tener un uso más prolongado.

1.5. Calidades y Geometrías de Insertos para Herramientas de Corte.

Los insertos o plaquitas intercambiables son herramientas de corte utilizadas en los procesos de desbaste de material y poseen diversos filos de corte dependiendo de su geometría. Estos insertos deben reunir varios requisitos, entre los cuales destacan la tenacidad, la dureza en caliente y la resistencia al desgaste.

Existe una variedad de materiales para las herramientas de corte, entre los materiales para herramientas se tiene: herramientas de acero rápido, carburo cementado, carburo recubierto, cerámico, cermet, diamante policristalino y nitruro de boro cúbico.

Existen herramientas de un solo filo y herramientas con múltiples puntas o filos de corte. La geometría de las herramientas de corte depende del proceso que se vaya a realizar, ver figura 1.12.

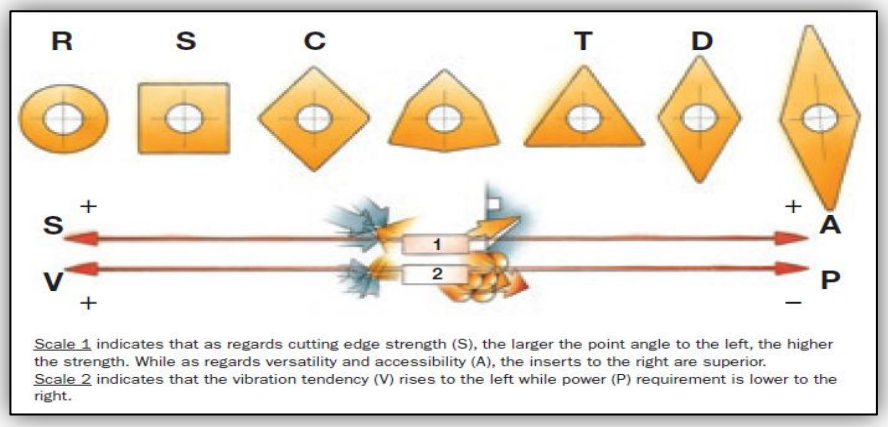


Figura 1.12 GEOMETRÍA DE LOS INSERTO.[1]

[1]Geometría de los insertos, Catálogo Sandvik Torneado General

Las caras de la herramienta de corte se denominan filo de corte lateral y filo de corte frontal, en la figura 1.13 se muestran los ángulos correspondientes a estos filos de corte.

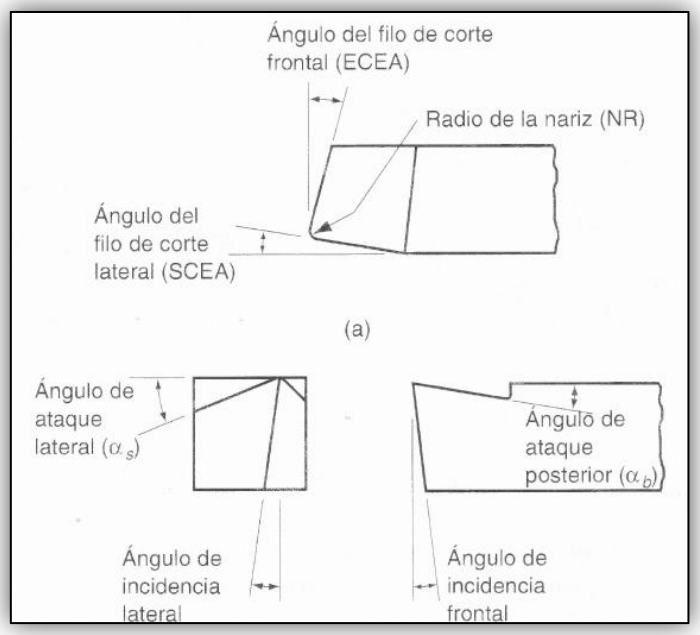


Figura 1.13 ÁNGULOS CORRESPONDIENTES A LOS DIFERENTES FILOS DE CORTE

Entre estos dos filos se define el radio de punta de la herramienta, el cual determina la calidad superficial de la pieza de trabajo. Si el radio de punta es mayor, la calidad superficial es superior. Por otro lado el ángulo de filo de corte terminal determina si existe un aumento o disminución de la fricción sobre la pieza de trabajo. El ángulo de filo de corte lateral es

importante al iniciarse el proceso de corte ya que la fuerza con que se impacta a la pieza de trabajo depende de este ángulo.

Otro aspecto importante de los insertos para torneado es la presencia de geometrías rompevirutas, las cuales favorecen el proceso de torneado ya que evitan que la viruta se enrede en el material o porta-cuchilla durante el maquinado. Para materiales duros como carburos o cerámicos deben tener ángulos de ataque negativos o positivos pequeños para que la herramienta sea sometida a esfuerzos de compresión.

Para la selección del inserto, se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros: radio de punta, forma, tamaño, rompe virutas, ángulos, y el porta herramientas, véase figura1.14.

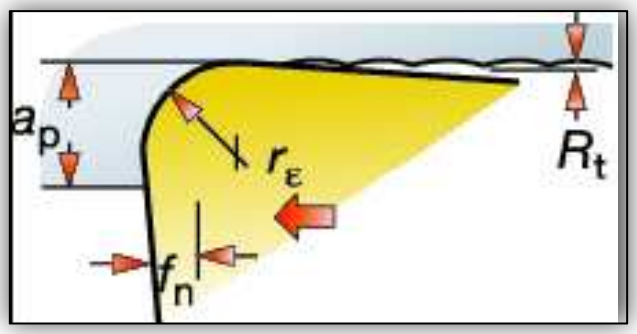


Figura 1.14 RADIO DE PUNTA DEL INSERTO.[2]

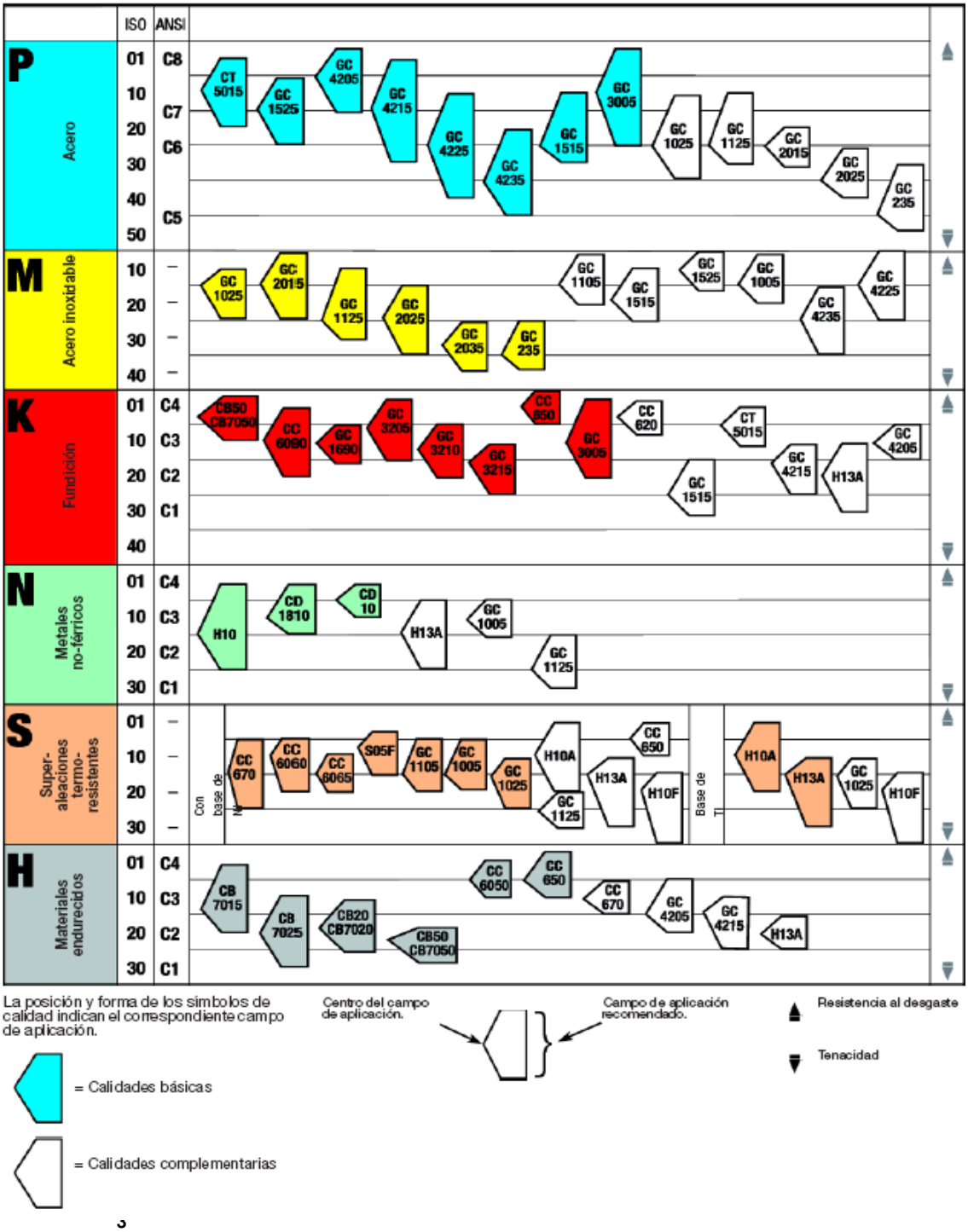
[2]Radio del vértice estándar, Catálogo Sandvik Torneado General A-15

Las geometrías de los insertos con ángulos mayores otorgan más vibración, pero por otro lado tienen un 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.

Existen además grados P, M, K, N, S, H los cuales son denominados así dependiendo del tipo de material que vaya a ser mecanizado.



[3]

[3]Calidades de los insertos, Catálogo Sandvik Torneado General

1.6. 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:

a. Alta resistencia al desgaste.

b. Alta resistencia a la compresión.

c. Alta dureza superficial después del temple.

d. Buenas propiedades a través del endurecimiento

e. Buena estabilidad durante el endurecimiento.

f. Buena resistencia al revenido

TABLA 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				

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.

Dureza.

Teniendo como referencia la dureza del material especificada por el fabricante se procede a realizar el ensayo de dureza a la penetración en el Durómetro Rockwell en unidades RC utilizando un Brale (esfera punta de diamante) con una carga de 150 Kg, de donde se puede obtener datos reales de dureza del material a mecanizar.

TABLA 2

DUREZA DEL ACERO AISI D6 EN RC Y HB

Nº	Rockwell C (150kg) Brale	Brinell 3000 Kg (10 mm Esfera)
1	22	236,64
2	18	217
3	17,9	216,5
4	20,2	225,4
5	17,1	212,5
6	18,5	218,5
7	23	242
8	19,1	220,3
9	19,1	220,3
10	17,5	214,5
11	19	220
12	17	212
13	16,2	208
Promedio	**18,82**	**220,28**

CAPÍTULO 2

2. PARÁMETROS A ANALIZAR

Los parámetros que se analizarán en la presente tesina son de gran importancia debido a que en función de éstos se procederán a realizar la respectiva experimentación y con los resultados obtenidos poder establecer conclusiones. Estos parámetros se presentan a continuación.

2.1. Selección de Herramientas

La selección de la herramienta de corte (inserto) adecuada para realizar la experimentación de la presente tesina 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).

2.1.1. 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 se utilizará para realizar la experimentación.

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

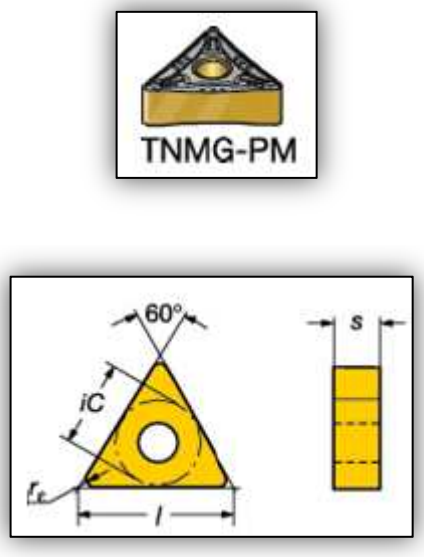


Figura 2.1 GEOMETRÍA DEL INSERTO TNMG-PM.

En la figura 2.1 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 con recubrimiento 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.[4]

- **TNMG 160404 PF 4215** TRIANGULAR 60º

[4] Calidades de los insertos, Catálogo SANDVIK Torneado General A430

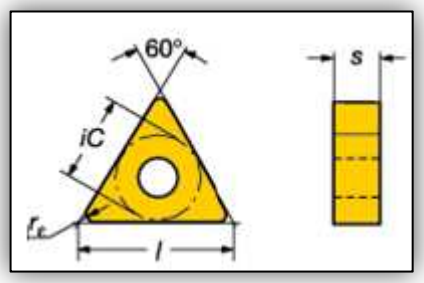


Figura 2.2 GEOMETRÍA DEL INSERTO TNMG-PF.

La figura 2.2 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.[5]

[5] Calidades de los insertos, Catálogo SANDVIK Torneado General A430

2.1.2. Parámetros de Corte para los Insertos Seleccionados

- **Para la plaquita TNMG 160408 PM 4225**

TABLA 3

AVANCES PERMISIBLES PARA INSERTO 1 EN MM/REV.

Criterio	Mínimo avance	Máximo avance
Según el material (catálogo SANDVIK)	0,1	0,8
Según la plaquita (catálogo SANDVIK)	0,15	0,5
Según la norma ANSI/ASME B94.55 1985	0,15	0,64

En base a las comparaciones entre los avances máximos y mínimos permisibles proporcionados por el catálogo SANDVIK (ver APÉNDICE A) y por la norma ANSI/ASME B94.55 1985 (ver figura 2.3) se puede

establecer que para el inserto **TNMG 160408 PM 4225** el valor de avance mínimo sería 0,15 mm/rev y el avance máximo 0,5 mm/rev.

Para los avances especificados en función del material según el catálogo SANDVIK (ver APÉNDICE B) los valores de velocidad de corte corresponden a: una velocidad de corte mínima de 150 m/min y una velocidad de corte máxima de 300 m/min.

TABLA 4

PROFUNDIDAD DE CORTE PERMISIBLES PARA INSERTO 2 EN MM.

Criterio	Mínima profundidad	Máxima profundidad
Según la plaquita (catálogo SANDVIK)	0,5	5
Según la norma ANSI/ASME B94.55 1985	1,6	6,4

De igual manera que en el caso del avance permisible, para los valores de profundidad de corte se hace una comparación entre los valores máximos y mínimos establecidos por el catálogo SANDVIK (ver APÉNDICE A) y la norma ANSI/ASME B94.55 1985 (ver figura 2.3) para el inserto **TNMG 160408 PM 4225** estableciendo que la mínima profundidad de corte sería 1,6 mm y la máxima profundidad 5 mm.

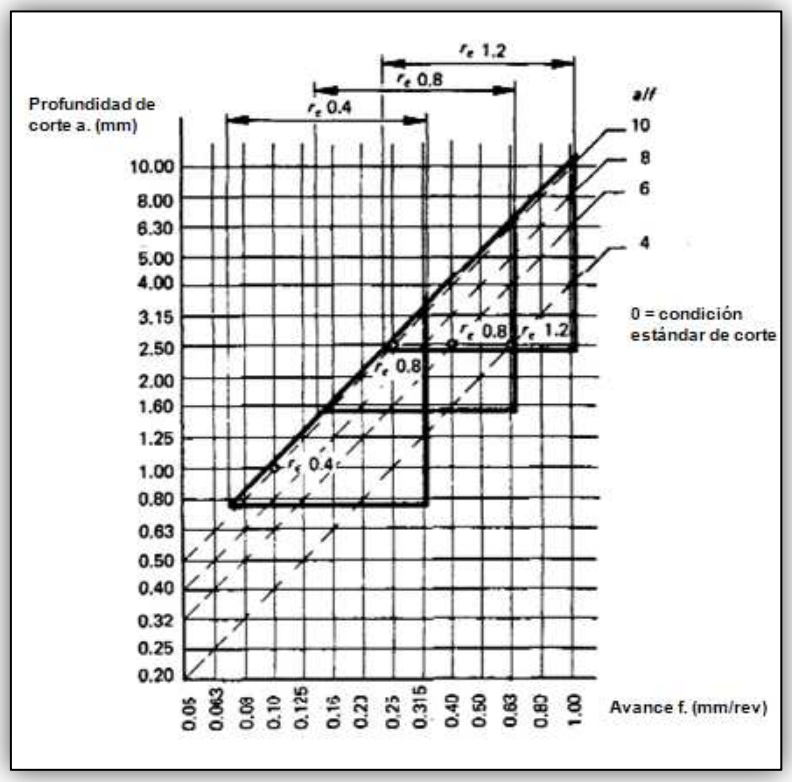


Figura 2.3 RELACIÓN ENTRE AVANCE Y PROFUNDIDAD PARA INSERTOS DE DIFERENTE RADIO DE PUNTA

- **Para la plaquita TNMG 160404 PF4215**

TABLA 5

AVANCE PERMISIBLES PARA INSERTO 2 EN MM/REV.

Criterio	Mínimo avance	Máximo avance
Según el material (catálogo SANDVIK)	0,1	0,8
Según la plaquita (catálogo SANDVIK)	0,07	0,3
Según la norma ANSI/ASME B94.55 1985	0,07	0,32

Realizando una comparación entre los valores de avances permisibles para el inserto **TNMG 160404 PF 4215**establecidos tanto en el catálogo SANDVIK (ver APÉNDICE C) y la norma ANSI/ASME B94.551985 (ver figura 2.3)se concluye que el avance mínimo es 0,07 mm/rev y el avance máximo 0,3 mm/rev.

Para determinar los valores de velocidad de corte es necesario considerar los valores de avances permisibles en función del material según el catálogo SANDVIK (ver APÉNDICE B); para esta calidad de inserto los valores de velocidad de corte son: mínima de 200 m/min y velocidad de corte máxima de 403 m/min.

TABLA 6
PROFUNDIDAD DE CORTE PERMISIBLES PARA INSERTO 2 EN MM.

Criterio	Mínima profundidad	Máxima profundidad
Según la plaquita (catálogo SANDVIK)	0,25	1,5
Según la norma ANSI/ASME B94.55 1985	0,8	3,2

Para los valores de profundidad se procede de forma similar que en el caso del avance, realizando comparaciones entre los valores planteados en el

catálogo de SANDVIK (ver APÉNDICE C) y la norma ANSI/ASME B94.551985 (ver figura 2.3) para el inserto **TNMG 160404 PF 4215** con los cuales se puede seleccionar los valores de profundidad correspondientes por lo que se tiene que la mínima profundidad sería 0,8 mm y la máxima 1,5 mm.

Con los valores de avance y profundidad especificados para cada inserto se selecciona un valor de avance intermedio a los establecidos, y se selecciona el menor valor de profundidad permisible. Luego de establecer el valor de avance se procede a determinar la velocidad de corte en m/min según el catálogo SANDVIK (ver APÉNDICE B) para la calidad correspondiente del inserto, con estos parámetros seleccionados se plantea la siguiente tabla de parámetros.

TABLA 7

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 con los que se realizará la práctica correspondiente 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 8
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

2.2. 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, 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 en la zona B, ver figura 2.4. 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 fórmula:

$$\boldsymbol{KT = 0.06 + 0.3f}$$

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

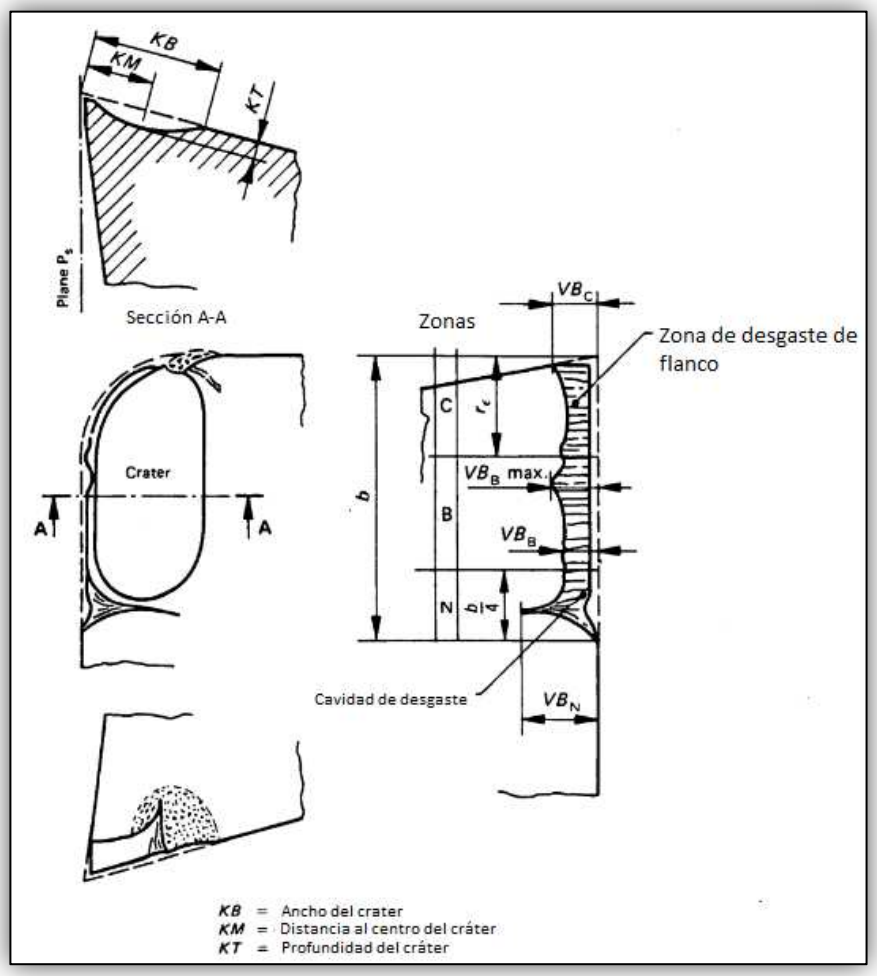


Figura 2.4 ZONAS DE DESGASTE DE LA HERRAMIENTA.

2.3. 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.

2.3.1. Procedimiento para Realizar la Experimentación.

Para realizar la experimentación de medir el desgaste producido en cada una de las pasadas durante el torneado se procede de la siguiente manera:

- Una vez preparado el material a mecanizar se lo coloca en el torno entre el cabezal giratorio y un contrapunto giratorio.
- Seleccionar los diferentes parámetros de corte con los cuales se procederá a realizar la experimentación.

- Codificar los filos del inserto con el cual se va a tornear para las diferentes velocidades de corte.
- Colocar el inserto en el porta herramientas con el filo correspondiente a los parámetros seleccionados.
- Medir el tiempo de mecanizado.
- Registrar los datos en la tabla correspondiente (ver APÉNDICE D).
- Medir el desgaste producido en el inserto.
- Realizar este procedimiento hasta que el desgaste sea el especificado en la sección 2.2.

2.3.2. 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 retrodispersión 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 figura 2.5 y 2.6 se puede apreciar el desgaste y la medición del desgaste de cráter respectivamente para el inserto TNMG 160408 PM 4225. Las medidas que se aprecia en la figura 2.6 corresponden a los valores de longitud de desgaste, las diferentes zonas que presentan un desgaste uniforme de flanco, el desgaste de flanco máximo, los mismos que hacen relación a los valores de la figura 2.4.

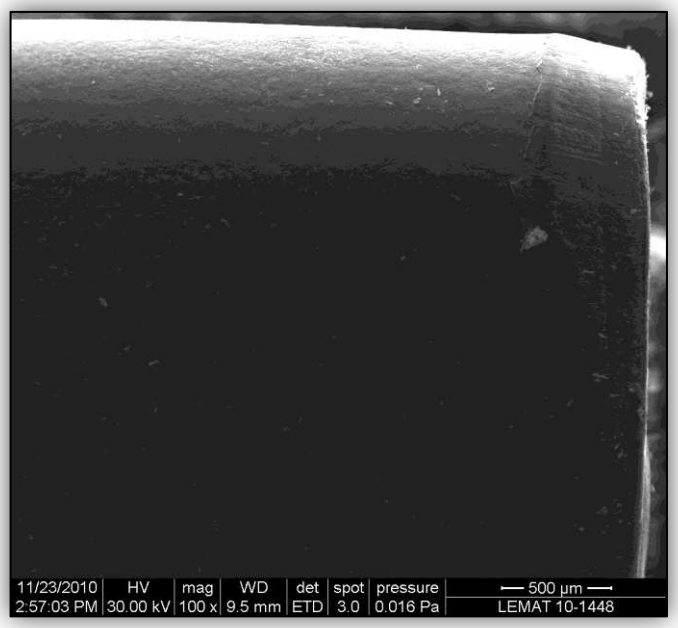


Figura 2.5 DESGASTE PRODUCIDO EN EL INSERTO

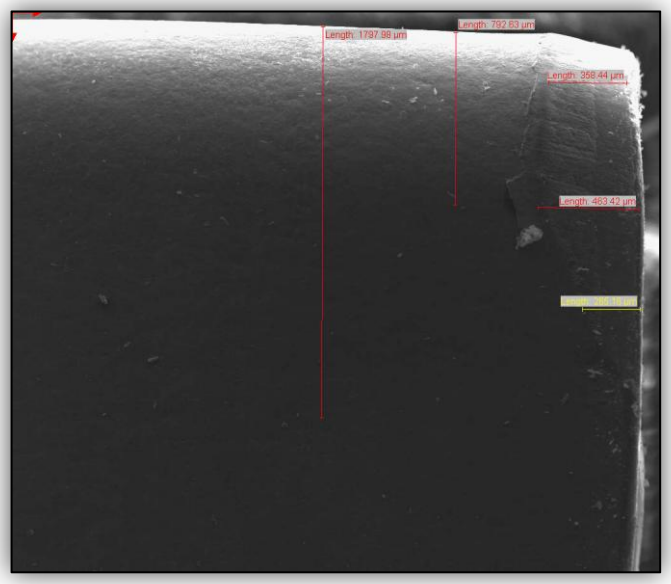


Figura 2.6 MEDICIÓN DEL DESGASTE DE FLANCO.

En las figuras 2.7 y 2.8 se puede observar el desgaste y la medición del desgaste respectivamente para el inserto TNMG 160404 PF 4215., de igual manera en la figura 2.7 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, estos valores hacen relación a los que se presentan en la figura 2.4.

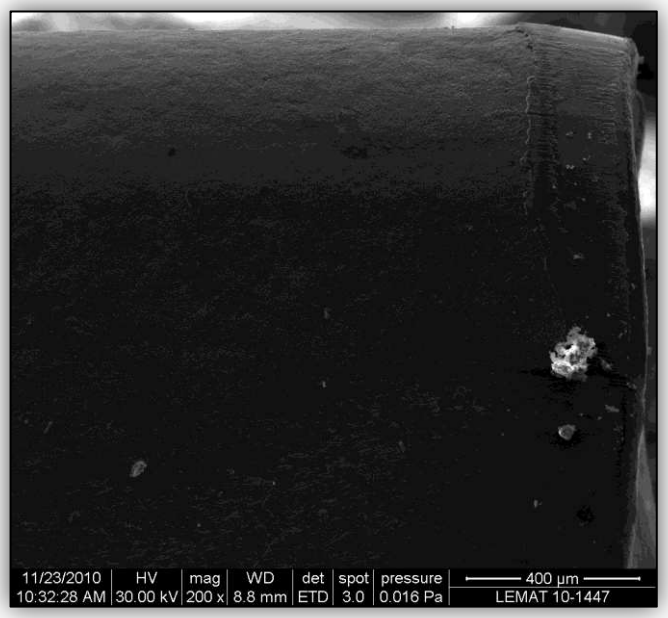


Figura 2.7 DESGASTE PRODUCIDO EN EL INSERTO

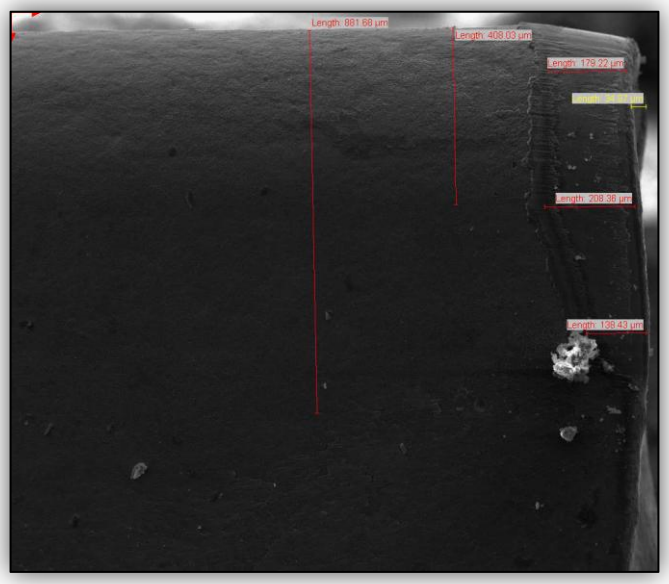


Figura 2.8 MEDICIÓN DEL DESGASTE DE FLANCO

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. Para el inserto TNMG 160404 PF 4215 estos cambios se muestran en las figuras 2.9, 2.10, 2.11 y 2.12 que se presentan a continuación.

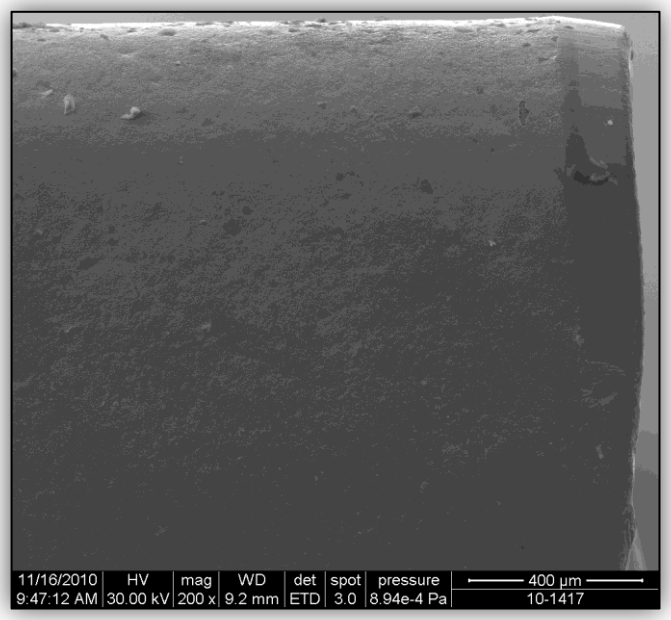


Figura 2.9 FILO # 5 EN LA SEGUNDA PASADA CON UN AUMENTO DE 200X.

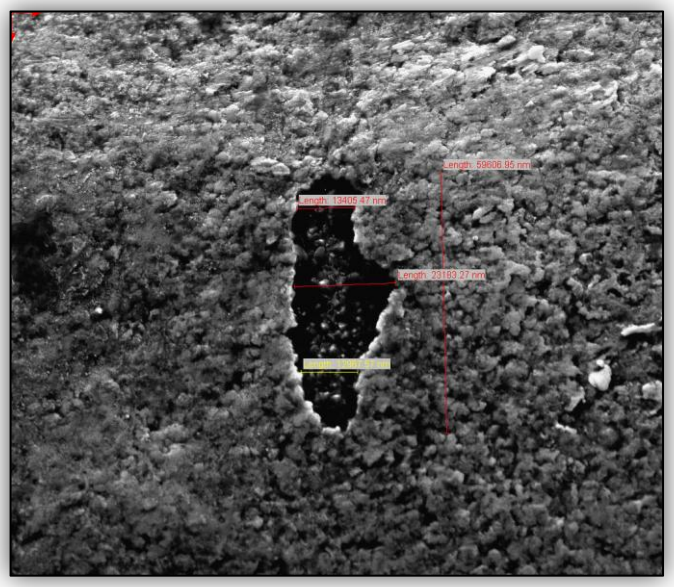


Figura 2.10 DETALLE DE LA FISURA EN LA SEGUNDA PASADA CON UN AUMENTO DE 2000X.

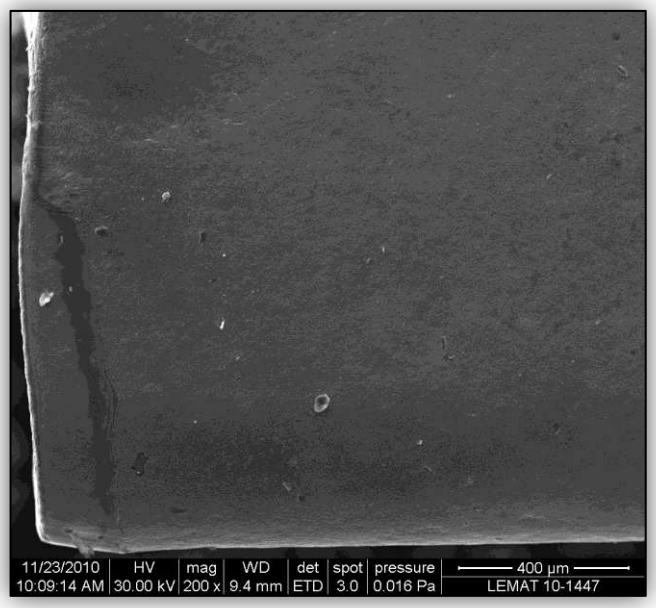


Figura 2.11 FILO # 5 EN LA TERCERA PASADA CON UN AUMENTO DE 200X.

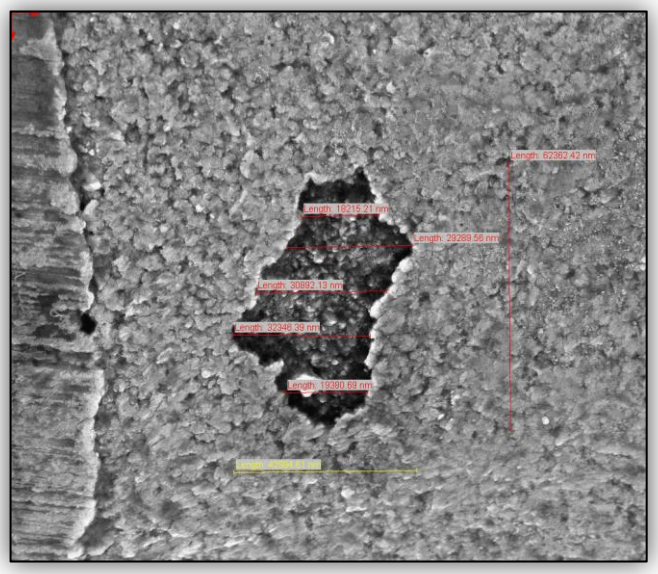


Figura 2.12 DETALLE DE LA FISURA EN LA TERCERA PASADA CON UN AUMENTO DE 2000X.

CAPÍTULO 3

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los datos que a continuación se presentan son los datos obtenidos en la realización de la experimentación con los parámetros descritos en el capítulo 2, así mismo, se presenta los datos de la medición del desgaste de flaco y de cráter obtenidos a través de las imágenes proporcionadas por el microscopio electrónico de barrido.

3.1. 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.

Inserto 1 TNMG 160408 PM 4225

Para ver las tablas de registros de los datos para los cálculos de los RPM y del tiempo de mecanización de cada uno de los filos de corte para el Inserto 1 TNMG 160408 PM 4225 ver anexo A.

Cálculos Representativos de los RPM para el Inserto 1 TNMG 160408 PM 4225 a una Velocidad de 205 m/min.

Para el cálculo de los rpm únicamente se muestra un ejemplo para mostrar la forma de realizarlos, los demás valores de rpm para el inserto 1 se los muestra en la tabla 3.1.

$$N_1 = \frac{1000(205)}{\pi(100.6)}$$

$$N_1 = 649rpm$$

Cálculo Representativo del Tiempo de Mecanización para el Inserto 1 TNMG 160408 PM 4225.

Se procede a realizar el cálculo representativo para un valor de tiempo teórico, conociendo que el valor de la longitud maquinada es 176 mm y que el avance es 0,4 mm/rev. Los tiempos para las diferentes experimentaciones se muestran en la tabla 3.1.

$$T_1 = \frac{176}{(649)(0.4)}$$

$$T_1 = 0.678min = 40.7seg.$$

Tabla 9

RESULTADOS DE CÁLCULOS DE RPM Y TIEMPO TEÓRICO PARA EL INSERTO 1 TNMG 160408 PM 4225.

Filo	Velocidad de Corte (m/min)	Diámetro (mm)	rpm	Tiempo Teórico (min)
1	205	100,6	649	0,678
		81,3	803	0,548
		72,8	896	0,491
		56,2	1161	0,379
2	229,6	97,3	751	0,586
		78,4	932	0,472
		69,6	1050	0,419

		53,4	1369	0,321
3	256,3	94,1	867	0,508
		74,2	1099	0,400
		66,4	1229	0,358
		50,2	1625	0,271
4	183	91	640	0,687
		72,1	808	0,545
		62,6	931	0,473
		60,4	964	0,456
		36,9	1579	0,279
5	164	87,8	595	0,740
		68,9	758	0,581
		59,4	879	0,501
		58,2	897	0,491
		36,4	1434	0,307
6	146	85,6	543	0,810
		65,7	707	0,622
		63,2	735	0,598
		55	845	0,521
		33,2	1400	0,314
		30	1549	0,284

Inserto 2 TNMG 160404 PF 4215

Para ver las tablas de registro de los datos con los cuales se calcula los RPM y el tiempo de mecanización para el Inserto 2 TNMG 160404 PF 4215 ver el Anexo B.

Cálculos Representativos de los RPM para el Inserto 1 TNMG 160404PF 4215 a una Velocidad de 269.9 m/min.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo se realiza el cálculo de los rpm, y en la tabla 3.2 se presenta los resultados para todos los filos y con los diferentes diámetros y velocidades con los que se realizó la experimentación.

$$N_1 = \frac{1000(269.9)}{\pi(100.6)}$$

$$N_1 = 854rpm$$

Cálculo del Tiempo de Mecanización para el Filo 1 del Inserto TNMG 160404 PF 4215.

A continuación se presenta un ejemplo de cómo realizar los cálculos de tiempo teórico de mecanización, para el inserto 2 se

conoce que la longitud maquinada es 176 mm y que el avance es 0,3 mm/rev. Los valores de tiempo de mecanización teórico se presentan en la tabla 3.2.

$$T_1 = \frac{176}{(854)(0.3)}$$

$$T_1 = 0.687min = 41.2seg.$$

Tabla 10

RESULTADOS DE CÁLCULOS DE RPM Y TIEMPO TEÓRICO PARA EL INSERTO 2 TNMG 160404 PM 4215.

Filo	Velocidad de Corte (m/min)	Diámetro (mm)	rpm	Tiempo Teórico (min)
1	269,6	100,6	853	0,688
		91,2	941	0,623
		81,4	1054	0,556
		52,8	1625	0,361
		49,9	1720	0,341
2	289,9	99	932	0,629
		89,4	1032	0,568
		80	1153	0,509
		47	1963	0,299

3	310	97,4	1013	0,579
		87,8	1124	0,522
		78,4	1259	0,466
		45,8	2154	0,272
4	250	96	829	0,708
		86,2	923	0,635
		76,8	1036	0,566
		44,4	1792	0,327
		48,4	1644	0,357
		44,8	1776	0,330
5	230,14	94,4	776	0,756
		84,6	866	0,678
		75,2	974	0,602
		42,8	1712	0,343
		47,2	1552	0,378
		43,6	1680	0,349
6	200	92,8	686	0,855
		83	767	0,765
		74	860	0,682
		41,2	1545	0,380
		46	1384	0,424

		42,4	1501	0,391
		41,2	1545	0,380

3.1.1. Inserto 1.

El Inserto 1 corresponde al Inserto TNMG 160408 PM 4225, por su geometría presenta 6 filos de corte, donde a cada uno le corresponden valores diferentes de velocidad de corte, en la tabla 3.3 se presenta los resultados del Tiempo de Vida de la Herramienta de corte según el Criterio de Flanco para las diferentes velocidades de corte.

Tabla 11

RESULTADOS PARA EL INSERTO 1

Número de Filos	Velocidad de Corte m/min	Tiempo de Vida de la Herramienta (min): Criterio de Flanco VB_B = 0,3 mm	Tiempo de Vida de la Herramienta (min): Teórico	Error Porcentual
1	205	1,918	1,717	10,5%

2	229,6	1,661	1,477	11,1%
3	256,3	1,477	1,271	13,9%
4	183	2,697	2,461	8,8%
5	164	3,025	2,618	13,5%
6	146	3,576	3,150	11,9%

Los valores de desgaste de Flanco y el tiempo de mecanización para cada uno de los filos de corte de este inserto se presentan en la tabla 3.4.

Tabla 12

RESULTADOS DE DESGASTE Y TIEMPO DE MECANIZACIÓN PARA EL INSERTO 1.

Filos de Corte	Velocidad de Corte (m/min)	Tiempo de Mecanización (min)	Desgaste de Flanco (mm)
1	205	0,758	0,164
		1,375	0,189
		1,918	0,309
2	229,6	0,656	0,191
		1,189	0,242

		1,661	0,364
3	256,3	0,588	0,166
		1,055	0,283
		1,477	0,463
4	183	0,771	0,143
		1,371	0,175
		1,891	0,251
		2,398	0,268
		2,697	0,322
5	164	0,928	0,131
		1,561	0,157
		2,106	0,189
		2,641	0,216
		3,025	0,293
6	146	0,908	0,117
		1,591	0,128
		2,236	0,169
		2,798	0,184
		3,207	0,237
		3,576	0,296

3.1.2. Inserto 2.

En la tabla 3.5 se presentan los resultados del Tiempo de Vida para el Inserto 2 que corresponde a un Inserto TNMG 160404 PF 4215, el mismo que tiene 6 filos de corte para realizar la experimentación con diferentes velocidades de corte.

Tabla 13

RESULTADOS PARA EL INSERTO 2

Número de Filos	Velocidad de Corte m/min	Tiempo de Vida de la Herramienta (min): Criterio de Flanco VB_B = 0,3 mm	Tiempo de Vida de la Herramienta (min): Teórico	Error Porcentual
1	269,9	2,832	2,576	9,0%
2	289,9	2,152	2,004	6,9%
3	310	1,993	1,839	7,7%
4	250	3,155	2,924	7,3%
5	230,14	3,384	3,090	8,7%
6	200	4,214	3,887	7,8%

Para saber cómo varía el Desgaste de Flanco en función del Tiempo de Mecanización se presenta la Tabla 3,6 en la cual constan los resultados tanto de Desgaste de Flanco como los de Tiempo de mecanización para cada una de las velocidades de corte.

Tabla 14

RESULTADOS DE DESGASTE Y TIEMPO DE MECANIZACIÓN PARA EL INSERTO 2.

Filos de Corte	Velocidad de Corte (m/min)	Tiempo de Mecanización (min)	Desgaste de Flanco (mm)
1	269,9	0,736	0,140
		1,411	0,166
		2,028	0,179
		2,453	0,268
		2,832	0,328
2	289,9	0,628	0,134
		1,236	0,168
		1,794	0,192
		2,152	0,288

3	310	0,576	0,151
		1,143	0,183
		1,655	0,208
		1,993	0,358
4	250	0,674	0,114
		1,332	0,145
		1,949	0,188
		2,331	0,223
		2,759	0,272
		3,155	0,328
5	230,14	0,765	0,134
		1,478	0,146
		2,118	0,172
		2,511	0,192
		2,965	0,258
		3,384	0,316
6	200	0,863	0,124
		1,666	0,127
		2,386	0,136
		2,811	0,147
		3,320	0,211

		3,789	0,269
		4,214	0,297

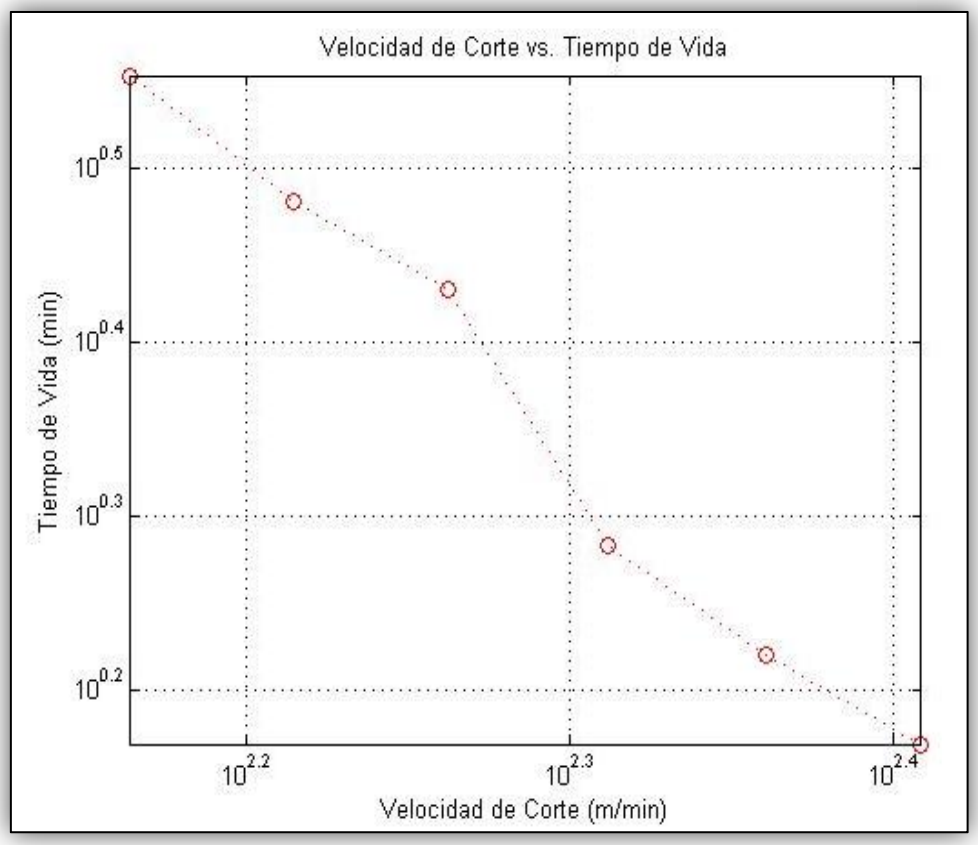
3.2. Curvas para Inserto 1 (Matlab®).

Las gráficas para el inserto 1 que se presentan a continuación se las obtiene con la utilización de una herramienta muy útil como es MATLAB®, para conocer con detalle los datos ingresados en matlab para obtener las gráficas de Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización y de Desgaste vs. Tiempo de Mecanización ver Anexos C y D respectivamente.

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

En la gráfica 3.1 se observa la relación existente entre la velocidad de corte y el tiempo de mecanización que se obtiene hasta alcanzar el desgaste que según el criterio de Desgaste de Flanco es 0.3 mm., debido a que la relación que existe entre la velocidad de corte y

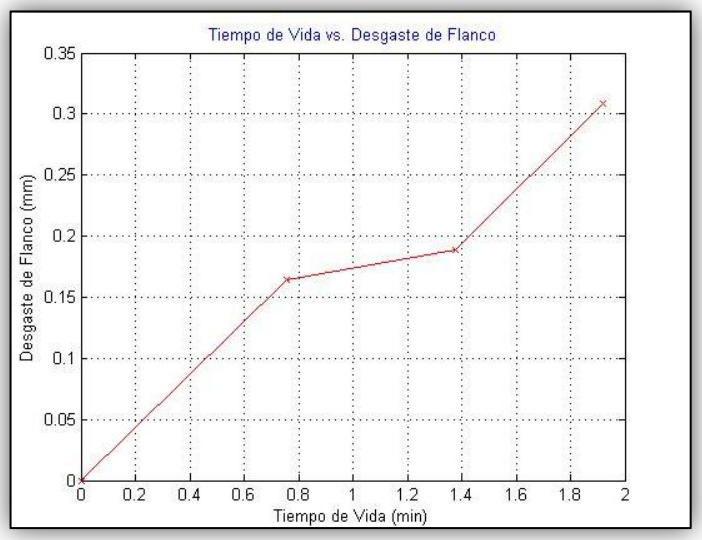
el tiempo de mecanización no es una función lineal la relación se la representa en una gráfica doble logarítmica.



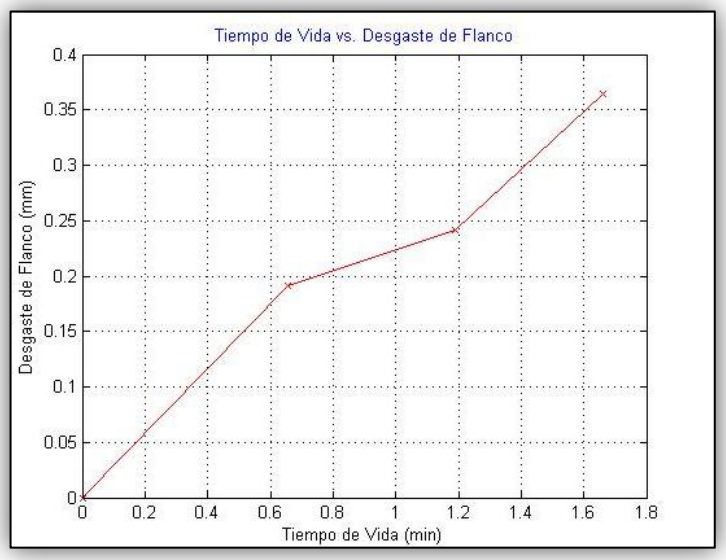
Gráfica 3.1 VELOCIDAD DE CORTE VS. TIEMPO DE MECANIZACIÓN (RELACIÓN DE TAYLOR) PARA INSERTO 1

3.2.2. Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco.

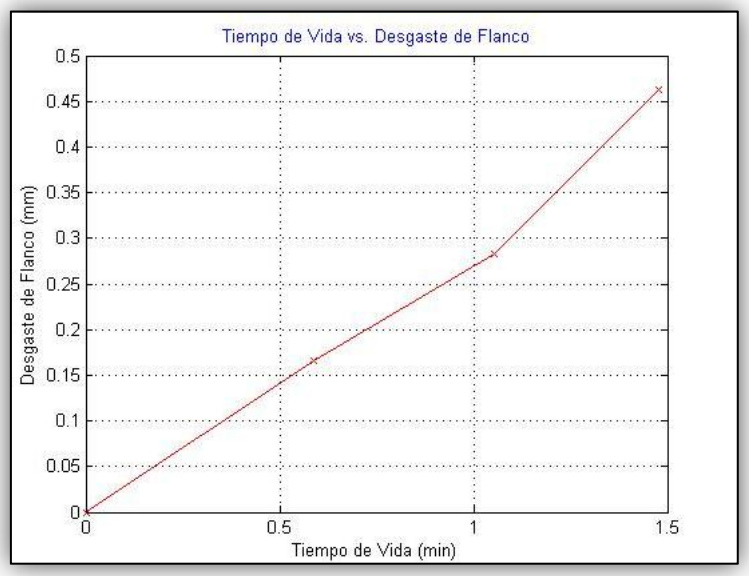
Las gráficas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 que se presentan a continuación, muestran el comportamiento de cada uno de los filos de corte del inserto 1 en función del tiempo de mecanización y de la velocidad de corte con la cual se ha trabajado.



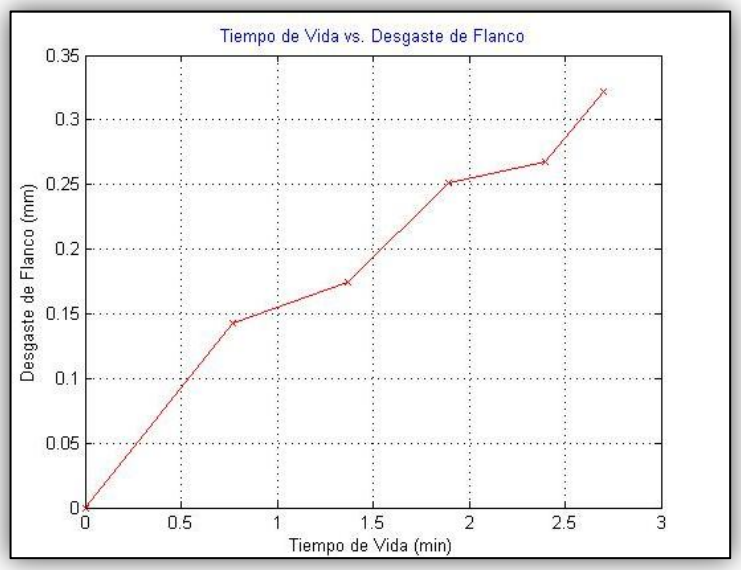
Gráfica 3.2 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 1.



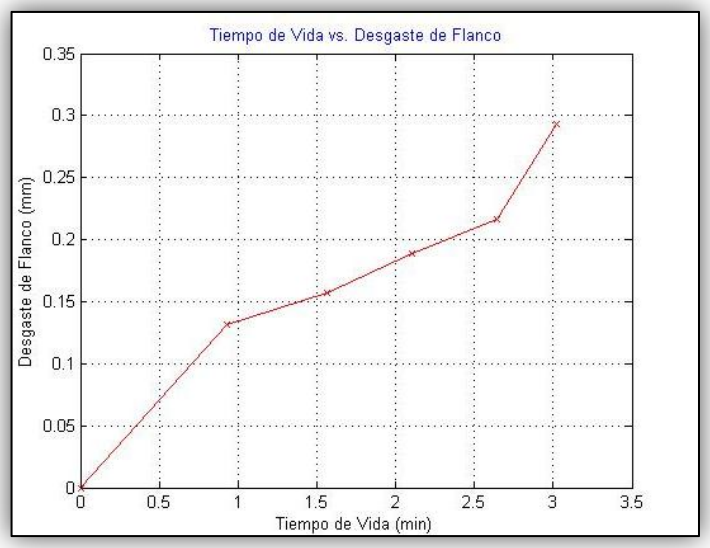
Gráfica 3.3 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 2.



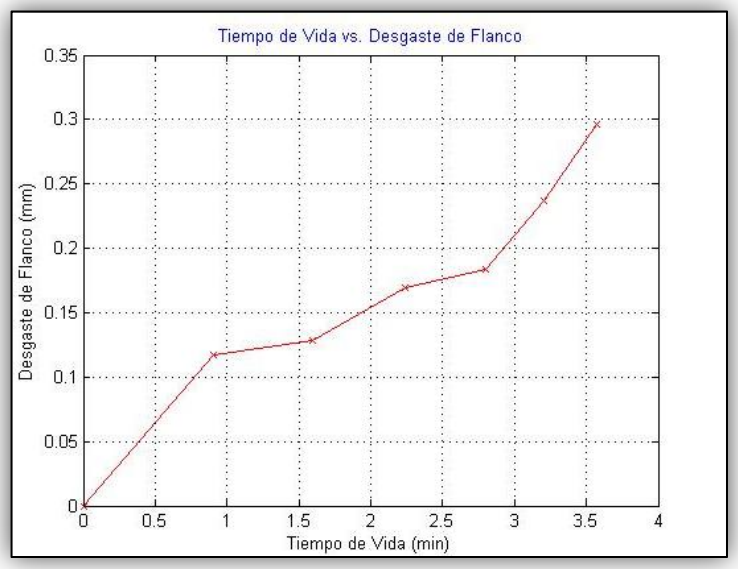
Gráfica 3.4 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 3.



Gráfica 3.5 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 4.



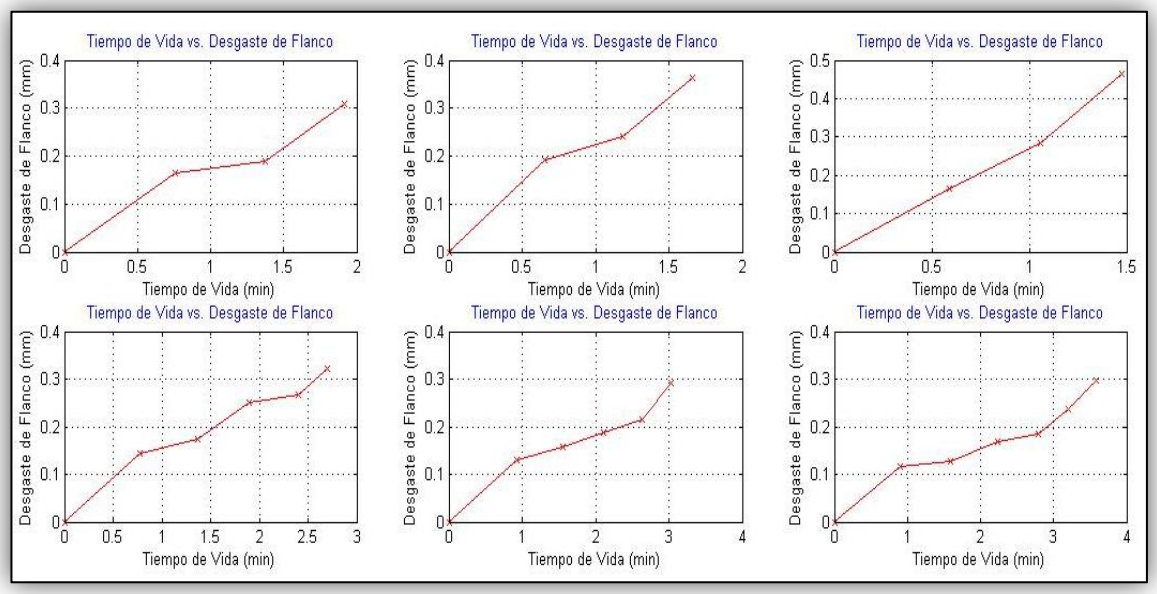
Gráfica 3.6 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 5.



Gráfica 3.7 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 6.

Para una mejor visualización entre el comportamiento de los filos de corte dependiendo de la velocidad de corte con la que se trabajó se presenta la gráfica 3.8.

Gráfica 3.8 DESGASTE DE FLACO VS. TIEMPO DE VIDA PARA CADA UNO DE LOS FILOS DE CORTE DEL INSERTO 1 (VER APÉNDICE D)



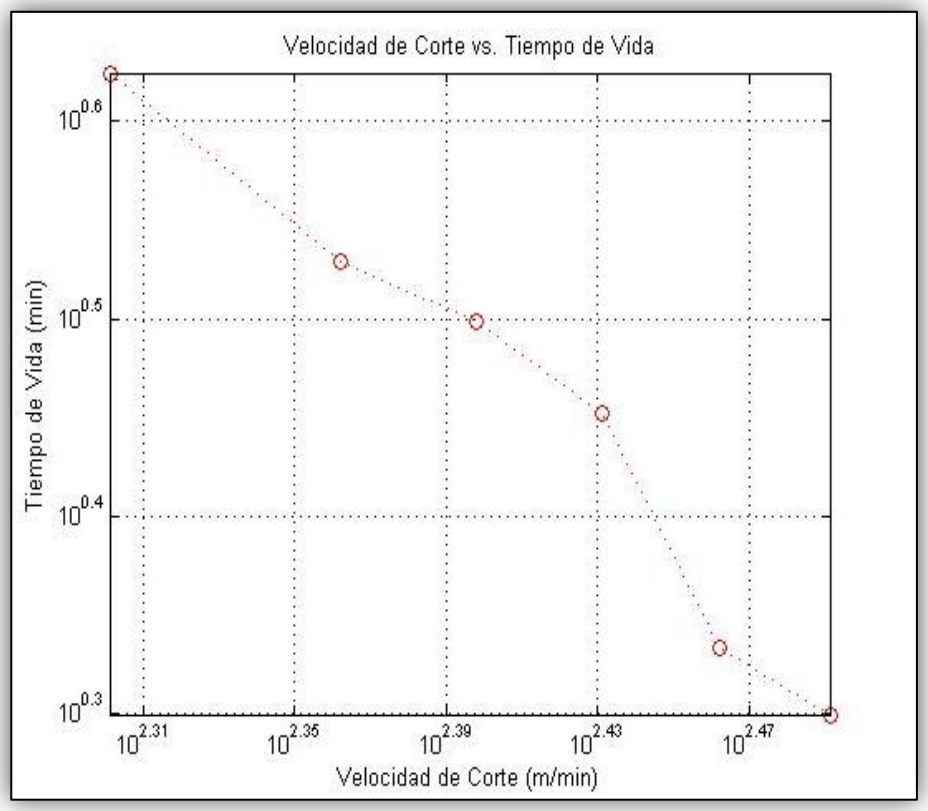
3.3. Curvas para Inserto 2 (Matlab®).

Para conocer los datos ingresados en Matlab para la realización de las gráficas de Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización y de Desgaste vs. Tiempo de Mecanización correspondientes al Inserto 2 ver los Anexos E y F respectivamente.

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

En la gráfica 3.9 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., 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 3.9 VELOCIDAD DE CORTE VS. TIEMPO DE MECANIZACIÓN (RELACIÓN DE TAYLOR) PARA INSERTO 2.

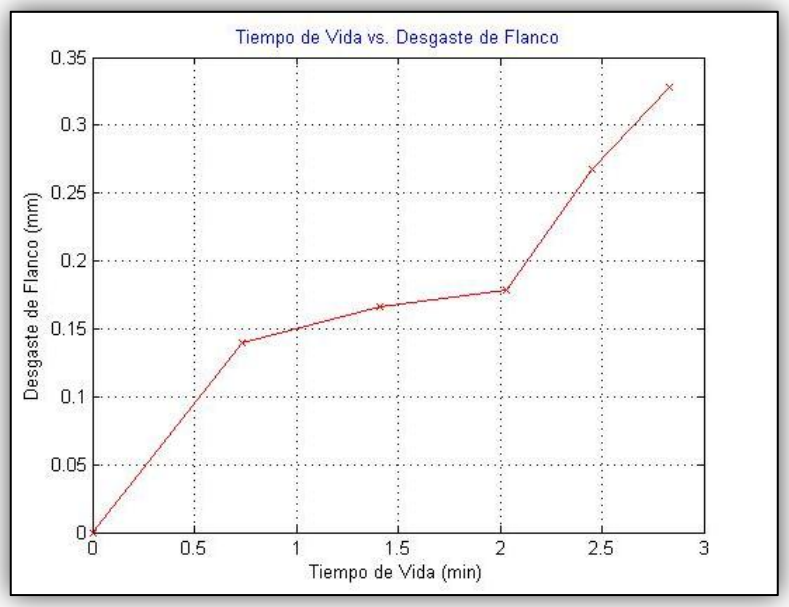


3.3.2. Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco.

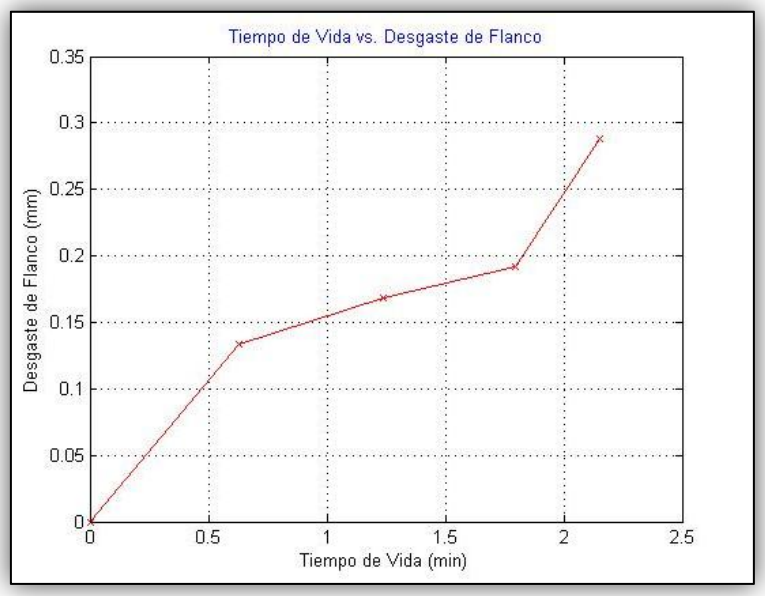
Para cada uno de los filos de corte se generar la curva Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco, las gráficas 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, representan las variaciones de desgaste de flanco para cada uno de los

filos de corte con su respectiva velocidad, estos valores se muestran en la tabla 3.6.

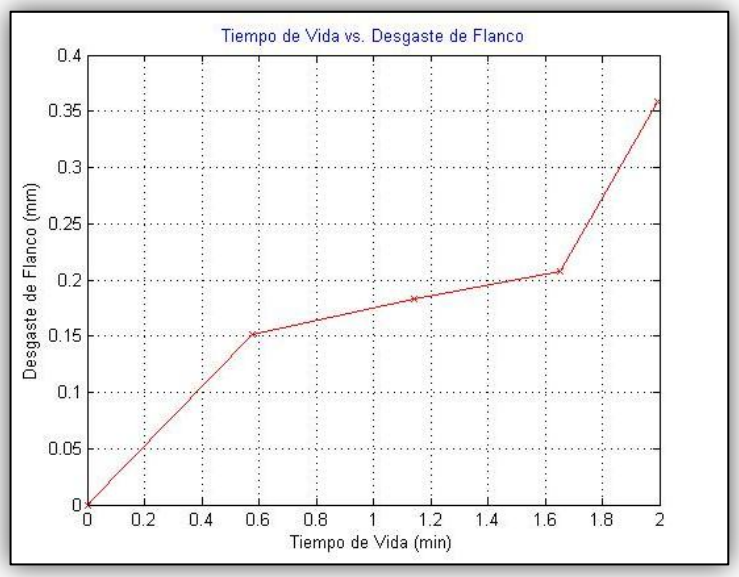
Gráfica 3.10 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 1.



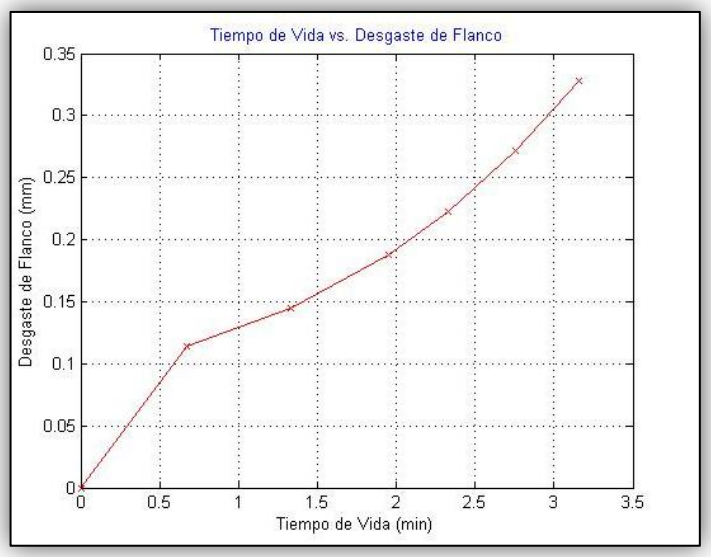
Gráfica 3.11 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 2.



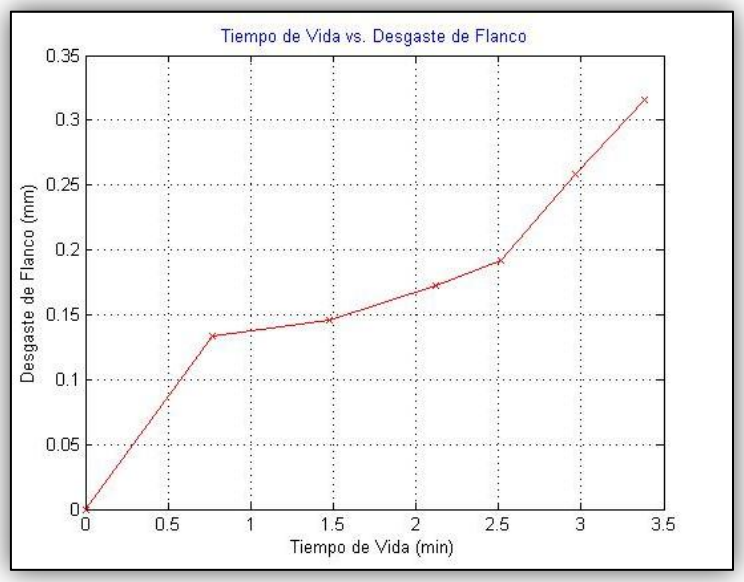
Gráfica 3.12 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 3.



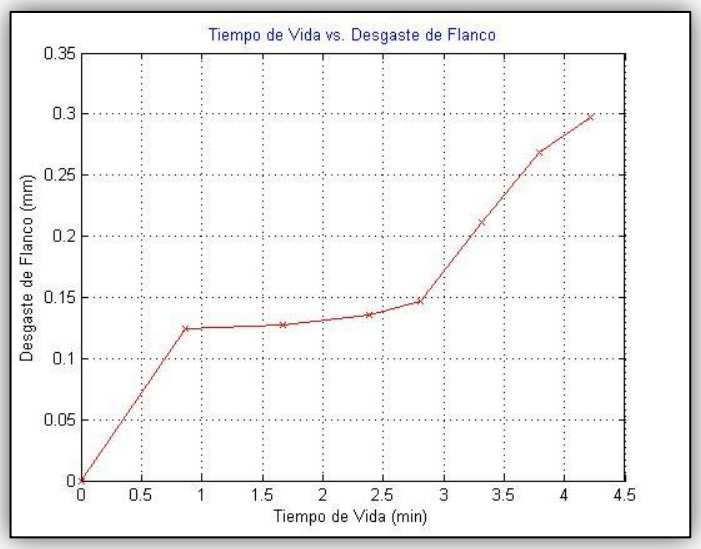
Gráfica 3.13 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 4.



Gráfica 3.14 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 5.

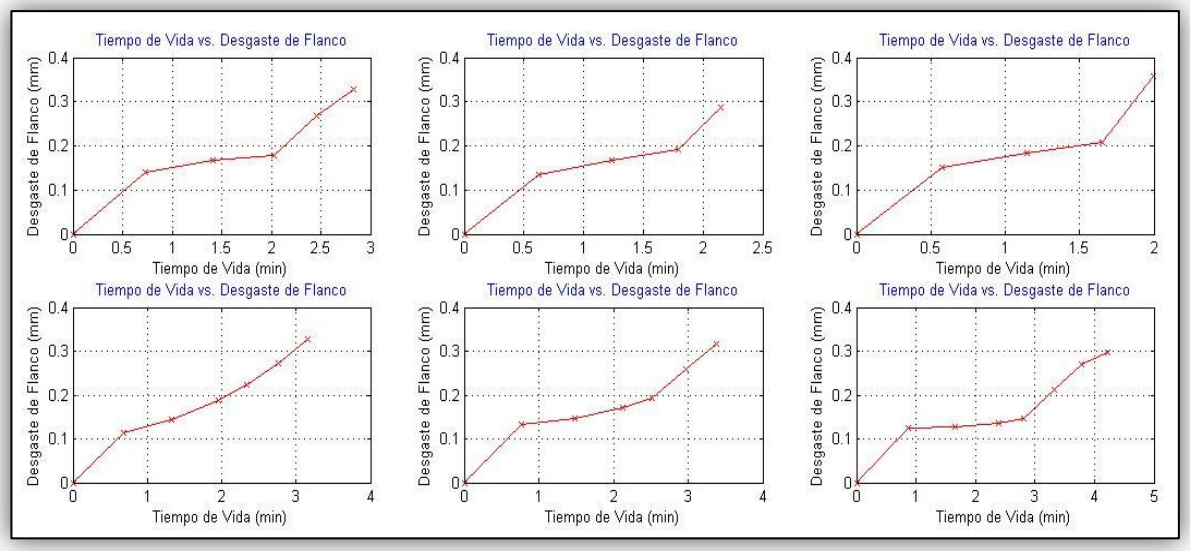


Gráfica 3.15 TIEMPO DE VIDA VS. DESGASTE DE FLANCO PARA FILO DE CORTE 6.



Para poder hacer una comparación más clara se realiza una gráfica en la cual consten todas las gráficas en diferentes cuadrantes, como lo muestra la gráfica 3.16.

Gráfica 3.16 DESGASTE DE FLACO VS. TIEMPO DE VIDA PARA CADA UNO DE LOS FILOS DE CORTE DEL INSERTO 2 (VER APÉNDICE F)



3.4. Relación Obtenida de la Ecuación de Taylor para cada Inserto.

La relación de Taylor se la puede obtener por variados métodos. Una manera sencilla es a través de la gráfica Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización con el valor de la pendiente *k* y reemplazando en la ecuación:

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

Donde v es la Velocidad de Corte, T es el tiempo de mecanización para dicha velocidad de corte hasta alcanzar el valor de desgaste de la herramienta y C es una constante obtenida de la Relación de Taylor.

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

De la gráfica 3.1 se obtiene los valores necesarios para determinar el valor de la pendiente de la recta *k*, los cuales se representa en la tabla 3.7.

Tabla 15
DATOS CORRESPONDIENTES A VELOCIDAD DE CORTE Y TIEMPO DE MECANIZACIÓN EN ESCALA LOGARÍTMICA PARA EL INSERTO1.

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.

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

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

$$C = 329\ m/min$$

Relación de Taylor a partir de la Gráfica Velocidad de Corte vs. Tiempo de Mecanización para el Inserto 2.

De la Gráfica 3.9. Se obtiene los datos en escala logarítmica para obtener el valor de la pendiente *k* y con este valor obtener el valor de la relación de Taylor. Estos datos se los representa en la tabla 3.8.

Tabla 16
DATOS CORRESPONDIENTES A VELOCIDAD DE CORTE Y A TIEMPO DE MECANIZACIÓN EN ESCALA LOGARÍTMICA PARA EL INSERTO 2.

Velocidad de Corte	Tiempo de Mecanización
2,491	0,300
2,462	0,333
2,431	0,452
2,398	0,499
2,362	0,529
2,301	0,625

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

$$k = \frac{1{,}4384 - 0{,}6896}{5{,}2983 - 5{,}7366}$$

$$k = \frac{0{,}7488}{-0{,}4383}$$

$$k = -1{,}71$$

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

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

$$(310).(1{,}993)^{-\frac{1}{-1{,}71}} = C$$

$$C = 464\ m/min$$

Otro método para obtener la Relación de Taylor es el método matemático en el cual se debe hacer una regresión lineal $y = a + k(x - \bar{x})$ para poder obtener los valores requeridos. La regresión lineal para cada uno de los insertos se presenta a continuación:

Regresión Lineal para Inserto 1

Tabla 17

REGRESIÓN LINEAL PARA INSERTO 1

Número de Filos	Velocidad de Corte m/min	Tiempo de Vida (min)	x = log v	y = log T	x.y	x2	y2
1	205	1,918	2,312	0,283	0,654	5,344	0,080
2	229,6	1,661	2,361	0,220	0,520	5,574	0,049
3	256,3	1,477	2,409	0,169	0,408	5,802	0,029
4	183	2,697	2,262	0,431	0,975	5,119	0,186
5	164	3,025	2,215	0,481	1,065	4,906	0,231
6	146	3,576	2,164	0,553	1,198	4,684	0,306
n = 6			**Σ=13,723**	**Σ=2,138**	**Σ=4,819**	**Σ=31,429**	**Σ=0,880**

$$Criterio\ VB_B\ =\ 0{,}3\ mm$$

$$Número\ de\ Experimentaciones: n\ =\ 6$$

$$(\Sigma x)^2 = 188{,}324$$

$$\Sigma x.\Sigma y = 29{,}335$$

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{13{,}723}{6} = 2{,}287$$

$$a = \bar{y} = \frac{\Sigma y}{\mathrm{n}} = \frac{2{,}138}{6} = 0{,}356$$

De acuerdo a la Norma ANSI/ASME B94.55M – 1985. La pendiente *k* viene dada por la ecuación:[6]

$$k = \frac{\Sigma xy - \left(\frac{\Sigma x.\Sigma y}{\mathrm{n}}\right)}{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}$$

$$k = \frac{4{,}819 - \frac{29{,}335}{6}}{31{,}429 - \frac{188{,}324}{6}}$$

$$k = \frac{4{,}819 - 4{,}889}{31{,}429 - 31{,}387} = \frac{-0{,}07}{0{,}042}$$

$$k = -1{,}67$$

$$-\frac{1}{k} = 0{,}6$$

Para determinar el valor de la constante C la norma ANSI/ASME B94.55M – 1985 hace uso de la siguiente ecuación:[7]

$$y = a + k(x - \bar{x}); donde$$

$$a = \bar{y} = k(\bar{x} - logC)$$

$$logC = \bar{x} - \frac{\bar{y}}{k}$$

$$logC = 2{,}287 - \frac{0{,}356}{-1{,}67}$$

$$C = 10^{2{,}500} = 317\ m/min$$

[6]Norma ANSI/ASME B94.55M – 1985, apéndice F 2.2 Cálculos.
[7]Norma ANSI/ASME B94.55M – 1985, apéndice F 2.2 Cálculos.

Regresión Lineal para Inserto 2.

Tabla 18

REGRESIÓN LINEAL PARA INSERTO 2.

Número de Filos	Velocidad de Corte m/min	Tiempo de Vida (min)	x = log v	y = log T	x.y	x2	y2
1	269,9	2,832	2,431	0,452	1,099	5,911	0,204
2	289,9	2,152	2,462	0,333	0,820	6,063	0,111
3	310	1,993	2,491	0,300	0,746	6,207	0,090
4	250	3,155	2,398	0,499	1,197	5,750	0,249
5	230,14	3,384	2,362	0,529	1,251	5,579	0,280
6	200	4,214	2,301	0,625	1,437	5,295	0,390
n = 6			**Σ=14,446**	**Σ=2,738**	**Σ=6,549**	**Σ=34,804**	**Σ=1,324**

$$Criterio\ VB_B\ =\ 0{,}3\ mm$$

$$N\acute{u}mero\ de\ Experimentaciones: n\ =\ 6$$

$$(\Sigma x)^2 = 208{,}680$$

$$\Sigma x.\Sigma y = 39{,}546$$

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{14{,}446}{6} = 2{,}408$$

$$a = \bar{y} = \frac{\Sigma y}{\mathrm{n}} = \frac{2{,}738}{6} = 0{,}456$$

De acuerdo a la Norma ANSI/ASME B94.55M – 1985. La pendiente *k* viene dada por la ecuación:[8]

$$k = \frac{\Sigma xy - \left(\frac{\Sigma x.\Sigma y}{\mathrm{n}}\right)}{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}$$

$$k = \frac{6{,}549 - \frac{39{,}546}{6}}{34{,}804 - \frac{208{,}680}{6}}$$

$$k = \frac{6{,}549 - 6{,}591}{34{,}804 - 34{,}780} = \frac{-0{,}042}{0{,}024}$$

$$k = -1{,}750$$

$$-\frac{1}{k} = 0{,}571$$

Para determinar el valor de la constante C la norma ANSI/ASME B94.55M – 1985 hace uso de la siguiente ecuación:[9]

$$y = a + k(x - \bar{x}); donde$$

$$a = \bar{y} = k(\bar{x} - logC)$$

[8]Norma ANSI/ASME B94.55M – 1985, apéndice F 2.2 Cálculos.
[9]Norma ANSI/ASME B94.55M – 1985, apéndice F 2.2 Cálculos.

$$logC = \bar{x} - \frac{\bar{y}}{k}$$

$$logC = 2{,}408 - \frac{0{,}456}{-1{,}750}$$

$$C = 10^{2{,}669} = 467\ m/min$$

Una tercera forma para determinar la relación de Taylor es mediante la aplicación de Mínimos Cuadrados, donde, la relación de Taylor se expresa a través de la siguiente ecuación.

$$vT^n = C$$

Esta ecuación se la puede transformar en una ecuación lineal aplicando logaritmo de base 10 a cada uno de sus miembros como se muestra a continuación.

$$logv + nlogT = logC$$

$$logv = logC + \zeta logT;\ \ \zeta = -n$$

$$y = Ax$$

$$y = \begin{bmatrix} logv_1 \\ logv_2 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & logT_1 \\ 1 & logT_2 \\ 1 & \vdots \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} logC \\ \zeta \end{bmatrix}$$

$$x = (WA)^* Wy; \qquad (WA)^* = [(WA)'(WA)]^{-1}(WA)'$$

Método de Mínimos Cuadrados para Inserto 1

En la tabla 3.11 se muestra los valores de velocidad y tiempo de mecanización, los mismos que con la ayuda de Matlab® se procede a realizar las operaciones necesarias para obtener el resultado de la relación de Taylor.

Tabla 19

DATOS PARA DETERMINAR LA RELACIÓN DE TAYLOR PARA EL INSERTO 1, APLICANDO EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

Número de Filos	Velocidad de Corte m/min	Tiempo de Vida (min)	log v	log T
1	205	1,918	2,312	0,283
2	229,6	1,661	2,361	0,220
3	256,3	1,477	2,409	0,169
4	183	2,697	2,262	0,431
5	164	3,025	2,215	0,481
6	146	3,576	2,164	0,553

$$y = \begin{bmatrix} 2{,}409 \\ 2{,}361 \\ 2{,}312 \\ 2{,}262 \\ 2{,}215 \\ 2{,}164 \end{bmatrix} \qquad A = \begin{bmatrix} 1 & 0{,}169 \\ 1 & 0{,}220 \\ 1 & 0{,}283 \\ 1 & 0{,}431 \\ 1 & 0{,}481 \\ 1 & 0{,}553 \end{bmatrix}$$

$$B = \left(A^T . A\right)^{-1} . A^T$$

$$B = \begin{bmatrix} 0{,}7275 & 0{,}5747 & 0{,}3859 & -0{,}0576 & -0{,}2074 & -0{,}4232 \\ -1{,}5748 & -1{,}1457 & -0{,}6156 & 0{,}6296 & 1{,}0503 & 1{,}6561 \end{bmatrix}$$

$$x = B.y = \begin{bmatrix} 2{,}4964 \\ -0{,}5874 \end{bmatrix}$$

De donde:

$$-0{,}5874 = \zeta = -\frac{1}{n}$$

$$n = 1{,}712$$

$$2{,}4964 = logC$$

$$C = 313{,}62 m/min$$

Método de Mínimos Cuadrados para Inserto 2

En la tabla 3.12 se presenta los datos de Velocidad de Corte y Tiempo de Mecanización con los cuales se puede determinar la relación de Taylor aplicando el Método de Mínimos Cuadrados.

Tabla 20

DATOS PARA DETERMINAR LA RELACIÓN DE TAYLOR PARA EL INSERTO 2, APLICANDO EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS.

Número de Filos	Velocidad de Corte m/min	Tiempo de Vida (min)	log v	log T
1	269,9	2,832	2,431	0,452
2	289,9	2,152	2,462	0,333
3	310	1,993	2,491	0,300
4	250	3,155	2,398	0,499
5	230,14	3,384	2,362	0,529
6	200	4,214	2,301	0,625

$$y = \begin{bmatrix} 2,491 \\ 2,462 \\ 2,431 \\ 2,398 \\ 2,362 \\ 2,301 \end{bmatrix} \qquad A = \begin{bmatrix} 1 & 0,300 \\ 1 & 0,333 \\ 1 & 0,452 \\ 1 & 0,499 \\ 1 & 0,529 \\ 1 & 0,625 \end{bmatrix}$$

$$B = \left(A^T . A\right)^{-1} . A^T$$

$$B = \begin{bmatrix} 1,1151 & 0,9149 & 0,1930 & -0,0922 & -0,2742 & -0,8566 \\ -2,0784 & -1,6396 & -0,0576 & 0,5672 & 0,9661 & 2,2423 \end{bmatrix}$$

$$x = B.y = \begin{bmatrix} 2,6596 \\ -0,5524 \end{bmatrix}$$

De donde:

$$-0,5524 = \zeta = -\frac{1}{n}$$

$$n = 1,810$$

$$2,6596 = logC$$

$$C = 456,67 m/min$$

Una vez realizados los tres métodos para la obtención de la Relación de Taylor para los dos tipos de Insertos, se puede apreciar que los resultados tanto de ***n*** y de ***C*** son muy próximos, y no existen diferencias significativas.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar la interpretación de los resultados obtenidos, se dispone de la información obtenida en la práctica realizada y los cálculos efectuados para cada una de las experimentaciones.

4.1. Interpretación de Curvas Generadas.

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 que se muestran en las gráficas 3.2 hasta la 3.7 para el Inserto 1 y 3.10 hasta la 3.15 para el Inserto 2, 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.

4.2. Interpretación de Ecuaciones Obtenidas.

La ecuación de Taylor $v.T^{-\frac{1}{k}} = C$, que se basa en el desgaste de flanco describe las relaciones empíricas que existen entre la

vida de la herramienta de corte y una o más variables del proceso de torneado.

La constante C presente en la ecuación de Taylor es la intersección sobre el eje de la velocidad de corte y representa la Velocidad de Corte a la cual la vida útil de la herramienta de corte sería 1 minuto. Esto se puede apreciar en la gráfica 3.1 para el inserto 1 y en la gráfica 3.9 para el inserto 2, ya que en dichas gráficas se muestra la variación del desgaste en función del Tiempo de Vida de una herramienta, siendo para el inserto 1 la velocidad de corte base igual a 205 m/min para el avance seleccionado (a=0.4 mm/rev); y para el inserto 2 la velocidad de corte base corresponde a 270 m/min para el avance de 0.3 mm/rev.

De acuerdo al Catálogo del Fabricante, el tiempo de la herramienta de corte debería ser 15 minutos, para trabajar bajo condiciones en las que se utilice refrigerante, pero, para la realización de la presente tesina no se utiliza ningún tipo de refrigerante, por lo que los tiempos se reducen significativamente. Además la profundidad de corte con la que

se maquina el material, también afecta el tiempo de vida de la herramienta de corte.

El valor de 1/k es el valor de la pendiente de la recta generada en la gráfica logarítmica Velocidad de Corte vs. Tiempo de Vida.

4.3. Comportamiento del Inserto durante el Proceso de Torneado.

Como la selección de los parámetros para realizar la experimentación de esta tesina se hace en base a parámetros proporcionados por el Catálogo del Fabricante y a la Norma, el comportamiento del material fue el adecuado, es decir que el desgaste se produjo poco a poco en función del tiempo de mecanización y de la velocidad de corte con la que se trabajó.

El Inserto TNMG 160408 PM 4225 por tratarse de un inserto utilizado para el desbaste de material no presentó complicaciones ni fallas catastróficas, pero al mecanizar con un filo que había superado el Tiempo de Vida Útil el acabado superficial que dejaba en el material no fue el mismo que cuando no superaba dicho Tiempo de Vida, además en el filo 2 trabajado a una velocidad de corte de 229.6 m/min presento

pequeñas irregularidades en el filo cuando se mecanizó a 1364 rpm. (Ver figura 4.1).

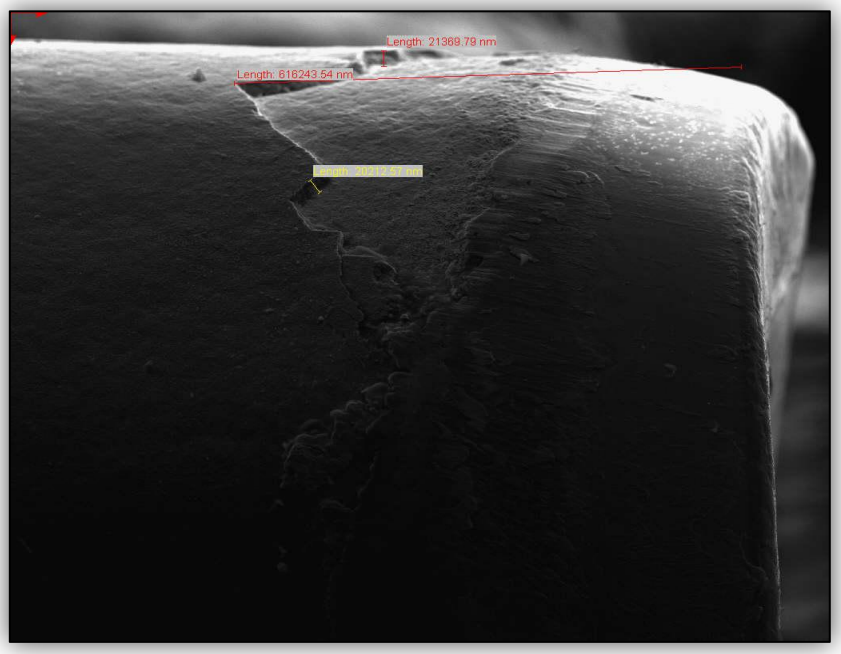


Figura 4.1 DESPOSTILLAMIENTO DE MATERIAL EN EL FILO 2 DEL INSERTO1.

En el Inserto TNMG 160404 PF 4215 por tratarse de un inserto utilizado mayormente para acabado que para desbaste de material sufrió agrietamientos en algunos de sus filos, cuando superó el tiempo de Vida Útil de la herramienta de corte. (Ver figuras 4.2, 4.3, 4.4). Además el acabado superficial presentado por el material después de mecanizar con estos filos presentaba fuertes irregularidades.

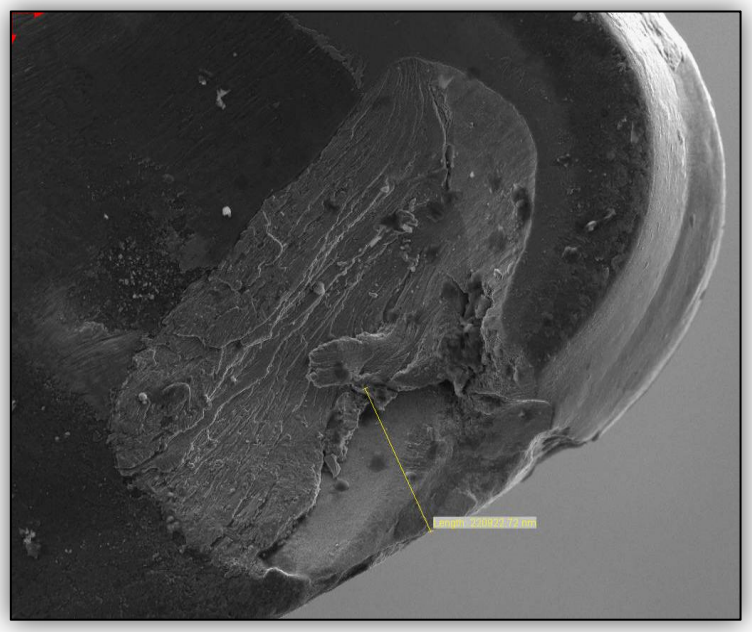


Figura 4.2 AGRIETAMIENTO EN EL FILO 1 DEL INSERTO 2.

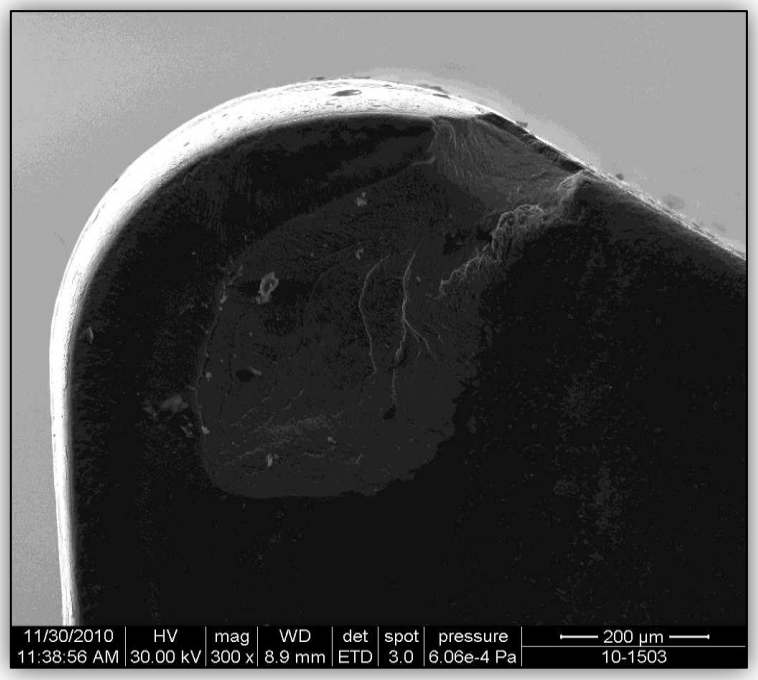


Figura 4.3 AGRIETAMIENTO EN EL FILO 2 DEL INSERTO 2.

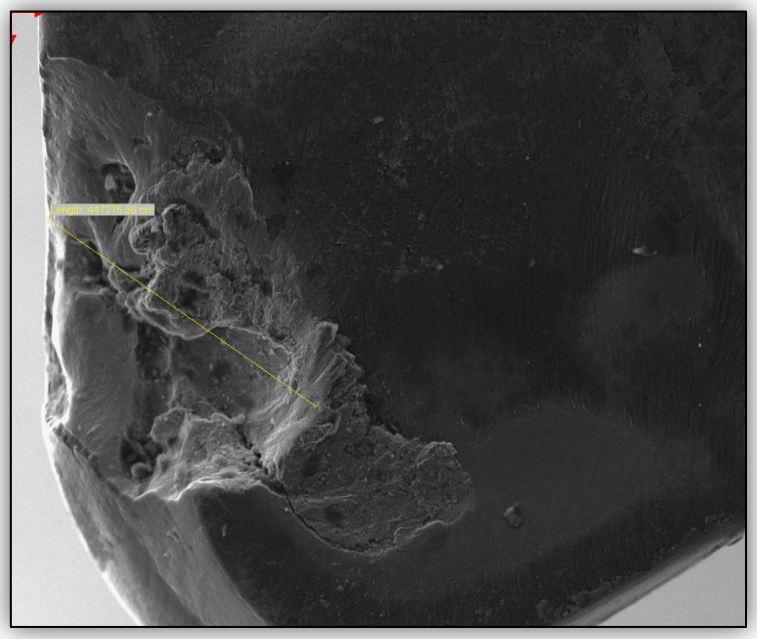


Figura 4.4 AGRIETAMIENTO EN EL FILO 3 DEL INSERTO 2.

4.4. Comportamiento del Material.

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 4.5). Lo que no sucede cuando se trabaja con una herramienta que no ha alcanzado su tiempo de vida útil. (Ver figura 4.6).

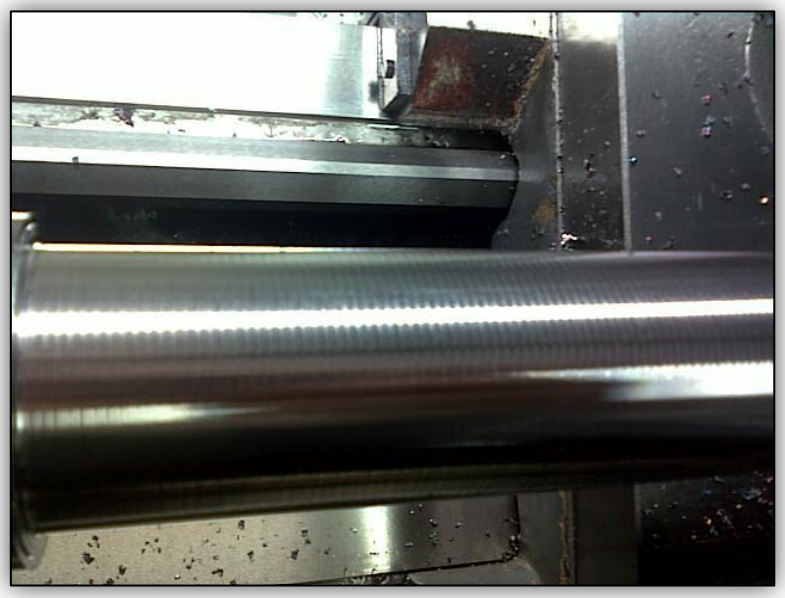


Figura 4.5 ACABADO SUPERFICIAL DEL ACERO AISI D6 MAQUINADO CON UNA HERRAMIENTA DESGASTADA.

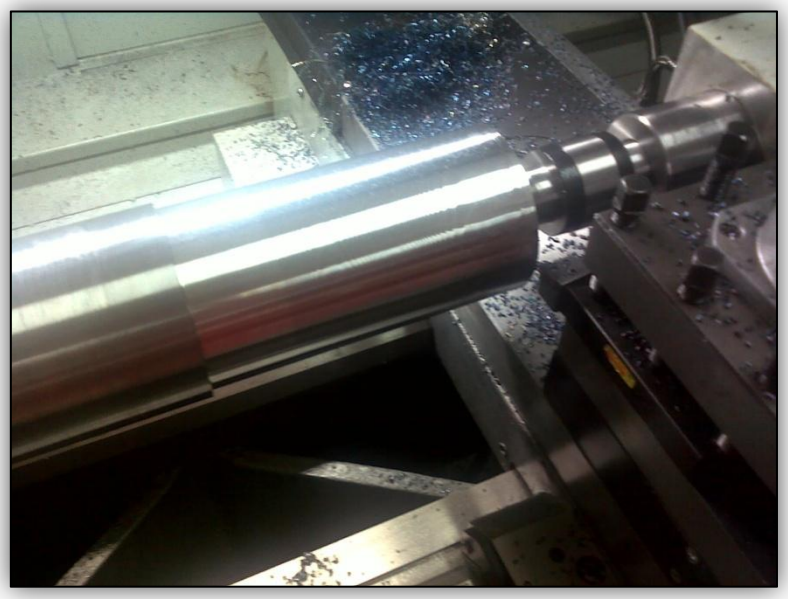


Figura 4.6 ACABADO SUPERFICIAL DEL ACERO AISI D6 MAQUINADO CON UNA HERRAMIENTA NO DESGASTADA.

4.4.1. Tipo de Viruta.

La viruta del acero AISI D6 es un tipo de viruta elemental, la viruta se presenta como pequeñas porciones de material dependiendo de la profundidad de corte con la que se trabaje tornándose de coloración azul con ciertas franjas negras por la elevada temperatura que se produce durante el corte, (ver figura 4.7). La viruta se desprende fácilmente durante el proceso de corte. El desprendimiento de material así

como la viruta pequeña están influenciados por el rompevirutas que poseen los insertos.

Figura 4.7 TIPO DE VIRUTA DESPRENDIDA DURANTE EL PROCESO DE TORNEADO.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente tesina el objetivo principal era realizar un análisis de la vida útil de una herramienta de corte para el proceso de torneado, para lo cual se pudo realizar las experimentaciones correspondientes de las cuales se pueden citar varias conclusiones y recomendaciones que se exponen a continuación.

5.1. Conclusiones.

- 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.

- El tiempo de vida de una herramienta de corte depende de los parámetros con los cuales se maquina un determinado material. Es decir que el tiempo varía según la velocidad de corte que se seleccione, el avance con el que se maquina el material, también influye sobre el resultado de mayor o menor tiempo de mecanización.
- Como se observa en los cálculos presentados en el capítulo 3, el tiempo de mecanización y por ende el de vida útil de la herramienta de corte varía indirectamente proporcional a la velocidad de corte, manteniendo constante la longitud mecanizada y el avance.
- El desgaste de flanco y de cráter de la herramienta de corte dependen del tiempo de mecanización al cual se somete dicha herramienta.
- 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 la experimentación realizada 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.

5.2. Recomendaciones.

- Cuando se selecciona un tipo de inserto verificar que el inserto seleccionado permita maquinar el material deseado.
- Hacer un análisis entre material, tipo de inserto y normas establecidas para poder seleccionar adecuadamente los parámetros con los cuales se va a mecanizar un material.
- Cuando los requerimientos se basan únicamente en desbaste de material sin importar el acabado superficial se recomienda utilizar el Inserto 1 **TNMG 160408 PM 4225**

- Cuando lo que interesa es el acabado superficial y la precisión se recomienda el inserto 2 **TNMG 160404 PF 4215**, trabajando a velocidades máximas y avance promedio.
- Verificar que los parámetros programados en el torno sean los correctos y en las unidades especificadas para evitar resultados erróneos. Como por ejemplo mayor o menor tiempo de mecanización.
- Codificar claramente los filos de corte que se mecanizan para realizar una medición correcta y evitar errores en el momento de hacer la medición.

ANEXOS

ANEXO A. PARÁMETROS PARA MECANIZAR INSERTO 1

A.1. Parámetros para Filo 1.

ESPOL		**Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización**				**Nº. Registro**	
						Nº Orden	
Fecha:		**Ordenado por:**			**Realizado por:**		
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4225	1		100,6 mm	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,4 mm/rev		1,6 mm		205 m/min			
Varios							

Valores de Prueba

Nº Medición	**Tiempo t (min)**	**Diámetro D (mm)**	**Desgaste de Flanco**				**Cráter**		**Forma de la Viruta**	**OBSERVACIONES**
			VB_B (mm)	**VB_Bmax.**		**1)**	**KT (mm)**	**1)**		
				Zona	**mm**					
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,758	97,3	0,129	B	0,164		0,038			649 rpm
2	0,617	78,4	0,166	B	0,189		0,039			803 rpm
3	0,543	69,6	0,285	B	0,309		0,046			896 rpm
4	0.428	53,4	0,302	B	0,320		0,047			1161 rpm
5										
6										
7										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**1,918**							

Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco	1) si otra medición de desgaste es aplicable	Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__

A.2. Parámetros para Filo 2.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	**Ordenado por:**			**Realizado por:**			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4225	2		97,3 mm	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,4 mm/rev		1,6 mm		229,6 m/min			
Varios							

Valores de Prueba

Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VB_B (mm)	VB_Bmax. Zona	VB_Bmax. mm	1)	KT (mm)	1)		
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,656	94,1	0,146	B	0,191		0,052			751 rpm
2	0,533	75,2	0,192	B	0,242		0,057			932 rpm
3	0,472	66,4	0,341	B	0,364		0,069			1050 rpm
4	0,285	50,2	0,362	B	0,391		0,082			1364 rpm
5										
6										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**1,661**							
Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco			1) si otra medición de desgaste es aplicable				Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__			

A.3. Parámetros para Filo 3.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	**Ordenado por:**			**Realizado por:**			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4225	3		94,1 mm	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,4 mm/rev		1,6 mm		256,3 m/min			
Varios							

Valores de Prueba										
Nº Medición	**Tiempo t (min)**	**Diámetro D (mm)**	**Desgaste de Flanco**				**Cráter**		**Forma de la Viruta**	**OBSERVACIONES**
			VB_B (mm)	**VB_Bmax.**		**1)**	**KT (mm)**	**1)**		
				Zona	**mm**					
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,588	91,0	0,146	B	0,166		0,058			867 rpm
2	0,467	72,1	0,204	B	0,283		0,060			1085 rpm
3	0,422	63,2	0,358	B	0,463		0,072			1229 rpm
4	0,357	47,0	0,443	B	0,510		0,088			1625 rpm
5										
6										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**1,477**							
Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco			1) si otra medición de desgaste es aplicable				Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__			

A.4. Parámetros para Filo 4.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	**Ordenado por:**			**Realizado por:**			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4225	4		91 mm	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,4 mm/rev		1,6 mm		183 m/min			
Varios							

Valores de Prueba

Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VB_B (mm)	VB_Bmax. Zona	VB_Bmax. mm	1)	KT (mm)	1)		
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,771	87,8	0,107	B	0,143		0,027			640 rpm
2	0,600	68,9	0,134	B	0,175		0,038			808 rpm
3	0,520	59,4	0,216	B	0,251		0,051			930 rpm
4	0,507	58,2	0,228	B	0,268		0,062			964 rpm
5	0,299	36,4	0,295	B	0,322		0,074			1471 rpm
6										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**2,697**							

Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco	1) si otra medición de desgaste es aplicable	Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__

A.5. Parámetros para Filo 5.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	Ordenado por:			Realizado por:			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	Nº Filo	Diámetro en Bruto	Diámetro antes de maquinado.	Longitud de la pieza de trabajo.	Zona maquinada	Rompeviruta	
4225	5		87,8	352 mm	176 mm	Altura	Distancia
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:			
0,4 mm/rev		1,6 mm		164 m/min			
Varios							

Valores de Prueba										
Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VB_B (mm)	VB_Bmax.		1)	KT (mm)	1)		
				Zona	mm					
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,928	85,6	0,097	B	0,131		0,032			595 rpm
2	0,633	65,7	0,125	B	0,157		0,037			758 rpm
3	0,545	56,2	0,146	B	0,189		0,041			879 rpm
4	0,535	55,0	0,169	B	0,216		0,048			897 rpm
5	0,384	33,2	0,257	B	0,293		0,053			1434 rpm
6										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			3,025							
Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco			1) si otra medición de desgaste es aplicable				Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__			

A.6. Parámetros para Filo 6.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	Ordenado por:			Realizado por:			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	Nº Filo	Diámetro en Bruto	Diámetro antes de maquinado.	Longitud de la pieza de trabajo.	Zona maquinada	Rompeviruta	
4225	6		85,6	352 mm	176 mm	Altura	Distancia
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:			
0,4 mm/rev		1,6 mm		146 m/min			
Varios							

Valores de Prueba										
Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VB_B (mm)	VB_Bmax.		1)	KT (mm)	1)		
				Zona	mm					
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,908	81,3	0,094	B	0,117		0,031			543 rpm
2	0,683	62,5	0,111	B	0,128		0.035			707 rpm
3	0,645	60,4	0,134	B	0,169		0,037			735 rpm
4	0,562	52,8	0,157	B	0,184		0,042			845 rpm
5	0,409	30,0	0,198	B	0,237		0,047			1400 rpm
6	0,369	26,8	0,246	B	0,296		0,053			1549 rpm
7										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			3,576							
Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco			1) si otra medición de desgaste es aplicable				Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__			

APENDICE B. PARÁMETROS PARA MECANIZAR INSERTO 2.

B.1. Parámetros para Filo 1.

ESPOL		**Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización**				**Nº. Registro**	
						Nº Orden	
Fecha:		**Ordenado por:**		**Realizado por:**			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4215	2		100,6	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,3 mm/rev		0,8 mm		269,9 m/min			
Varios							

Valores de Prueba										
Nº Medición	**Tiempo t (min)**	**Diámetro D (mm)**	**Desgaste de Flanco**				**Cráter**		**Forma de la Viruta**	**OBSERVACIONES**
			VB_B (mm)	**VB_Bmax.**		**1)**	**KT (mm)**	**1)**		
				Zona	**mm**					
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,736	99,0	0,114	B	0,140		0,032			854 rpm
2	0,675	89,4	0,149	B	0,166		0,034			924 rpm
3	0,617	80,0	0,165	B	0,179		0,038			1055 rpm
4	0,425	49,6	0,194	B	0,268		0,064			1627 rpm
5	0,379	48,4	0,284	B	0,328		0,105			1732 rpm
6										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**2,832**							
Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco			1) si otra medición de desgaste es aplicable				Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__			

B.2. Parámetros para Filo 2.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	**Ordenado por:**			**Realizado por:**			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4215	2		99,0	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,3 mm/rev		0,8 mm		289,9 m/min			
Varios							

Valores de Prueba

Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VB_B (mm)	VB_Bmax.		1)	KT (mm)	1)		
				Zona	mm					
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,628	97,4	0,127	B	0,134		0,027			932 rpm
2	0,608	87,8	0,157	B	0,168		0,034			1032 rpm
3	0,558	78,4	0,188	B	0,192		0,044			1154 rpm
4	0,358	45,8	0,189	B	0,288		0,049			1963 rpm
5										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**2,152**							

Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco	1) si otra medición de desgaste es aplicable	Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__

B.3. Parámetros para Filo 3.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	**Ordenado por:**			**Realizado por:**			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4215	3		97,4	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,3 mm/rev		0,8 mm		310,0 m/min			
Varios							

Valores de Prueba

Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VB_B (mm)	VB_Bmax.		1)	KT (mm)	1)		
				Zona	mm					
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,576	96,0	0,136	B	0,151		0,023			1013 rpm
2	0,567	86,2	0,148	B	0,183		0,019			1124 rpm
3	0,512	76,8	0,179	B	0,208		0,030			1259 rpm
4	0,338	44,4	0,294	B	0,358		0,088			2154 rpm
5										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**1,993**							

Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco	1) si otra medición de desgaste es aplicable	Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__

B.4. Parámetros para Filo 4.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	**Ordenado por:**			**Realizado por:**			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4215	4		96,0 mm	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,3 mm/rev		0,8 mm		250,0 m/min			
Varios							

Valores de Prueba

Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VB_B (mm)	VB_Bmax. Zona	VB_Bmax. mm	1)	KT (mm)	1)		
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,674	96,0	0,102	B	0,114		0,021			829 rpm
2	0,658	84,6	0,140	B	0,145		0,029			923 rpm
3	0,617	75,2	0,157	B	0,188		0,037			1036 rpm
4	0,382	42,6	0,188	B	0,223		0,045			1792 rpm
5	0,428	47,2	0,216	B	0,272		0,051			1644 rpm
6	0,396	43,6	0,292	B	0,328		0,059			1776 rpm
7										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**3,155**							
Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco			1) si otra medición de desgaste es aplicable				Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__			

B.5. Parámetros para Filo 5.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	**Ordenado por:**			**Realizado por:**			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4215	5		94,4 mm	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,3 mm/rev		0,8 mm		230,14 m/min			
Varios							

Valores de Prueba

Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VB_B (mm)	VB_Bmax. Zona	VB_Bmax. mm	1)	KT (mm)	1)		
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,765	92,8	0,128	B	0,134		0,021			776 rpm
2	0,713	83,0	0,139	B	0,146		0,027			866 rpm
3	0,640	74,0	0,156	B	0,172		0,035			974 rpm
4	0,393	41,2	0,178	B	0,192		0,041			1712 rpm
5	0,454	46,0	0,192	B	0,258		0,048			1552 rpm
6	0,419	42,4	0,268	B	0,316		0,055			1680 rpm
7										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**3,384**							
Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco			1) si otra medición de desgaste es aplicable				Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__			

B.6. Parámetros para Filo 6.

ESPOL	Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización					Nº. Registro	
						Nº Orden	
Fecha:	**Ordenado por:**			**Realizado por:**			
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte							
Nº Inserto:	**Nº Filo**	**Diámetro en Bruto**	**Diámetro antes de maquinado.**	**Longitud de la pieza de trabajo.**	**Zona maquinada**	**Rompeviruta**	
4215	6		92,8 mm	352 mm	176 mm	**Altura**	**Distancia**
Avance f:		**Profundidad de Corte a:**		**Velocidad de Corte:**			
0,3 mm/rev		0,8 mm		200,0 m/min			
Varios							

Valores de Prueba

Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VB_B (mm)	VB_Bmax.		1)	KT (mm)	1)		
				Zona	mm					
0			-	-	-	-	-	-	-	
1	0,863	91,2	0,109	B	0,124		0,016			686 rpm
2	0,803	81,4	0,116	B	0,127		0,021			767 rpm
3	0,720	72,8	0,119	B	0,136		0,028			860 rpm
4	0,425	39,6	0,130	B	0,147		0,032			1545 rpm
5	0,509	44,8	0,179	B	0,211		0,038			1384 rpm
6	0,469	41,2	0,203	B	0,269		0,044			1501 rpm
7	0,425	40,0	0,263	B	0,297		0,049			1545 rpm
8										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			**4,214**							

Criterio Vida de Herramienta: Criterio de Flanco	1) Si otra medición de desgaste es aplicable	Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__

ANEXO C. PROGRÁMA PARA GRAFICAR VELOCIDAD vs. TIEMPO DE MECANIZACIÓN DEL INSERTO 1.

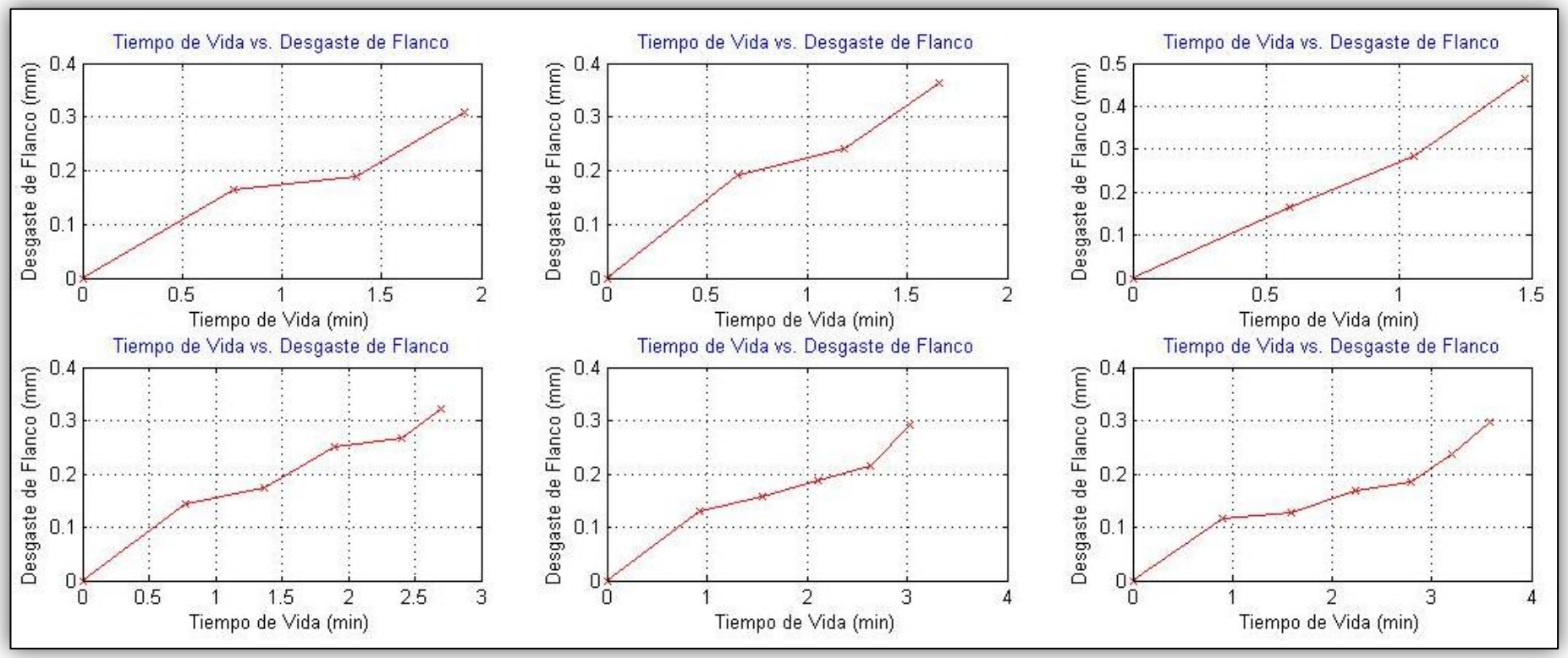
```
V=[256.3 229.6 205 183 164 146];
T=[1.477 1.661 1.918 2.697 3.025 3.576];
loglog(V,T,':ro')
TITLE('Velocidad de Corte vs. Tiempo de Vida'),xlabel('Velocidad de
Corte (m/min)'), ylabel('Tiempo de Vida (min)')
grid
```

ANEXO D. PROGRÁMA PARA DESGASTE DE FLANCO vs. TIEMPO DE MECANIZACIÓN DEL INSERTO 1.

```
A=[0 0.756 1.375 1.918];
B=[0 0.164 0.189 0.309];
subplot(3,3,1)
plot(A,B,'-rx')
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

C=[0 0.656 1.189 1.661];
D=[0 0.191 0.242 0.364];
subplot(3,3,2)
plot(C,D,'-rx')
gridon;
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

E=[0 0.588 1.055 1.477];
F=[0 0.166 0.283 0.463];
subplot(3,3,3)
plot(E,F,'-rx')
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

G=[0 0.771 1.371 1.891 2.398 2.697];
H=[0 0.143 0.175 0.251 0.268 0.322];
subplot(3,3,4)
plot(G,H,'-rx')
```

```
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

I=[0 0.928 1.561 2.106 2.641 3.025];
J=[0 0.131 0.157 0.189 0.216 0.293];
subplot(3,3,5)
plot(I,J,'-rx')
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

K=[0 0.908 1.591 2.236 2.798 3.207 3.576];
L=[0 0.117 0.128 0.169 0.184 0.237 0.296];
subplot(3,3,6)
plot(K,L,'-rx')
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;
```

Desgaste de Flanco vs. Tiempo de Mecanización para el Inserto 1.



ANEXO E. PROGRÁMA PARA GRAFICAR VELOCIDAD vs. TIEMPO DE MECANIZACIÓN DEL INSERTO 2.

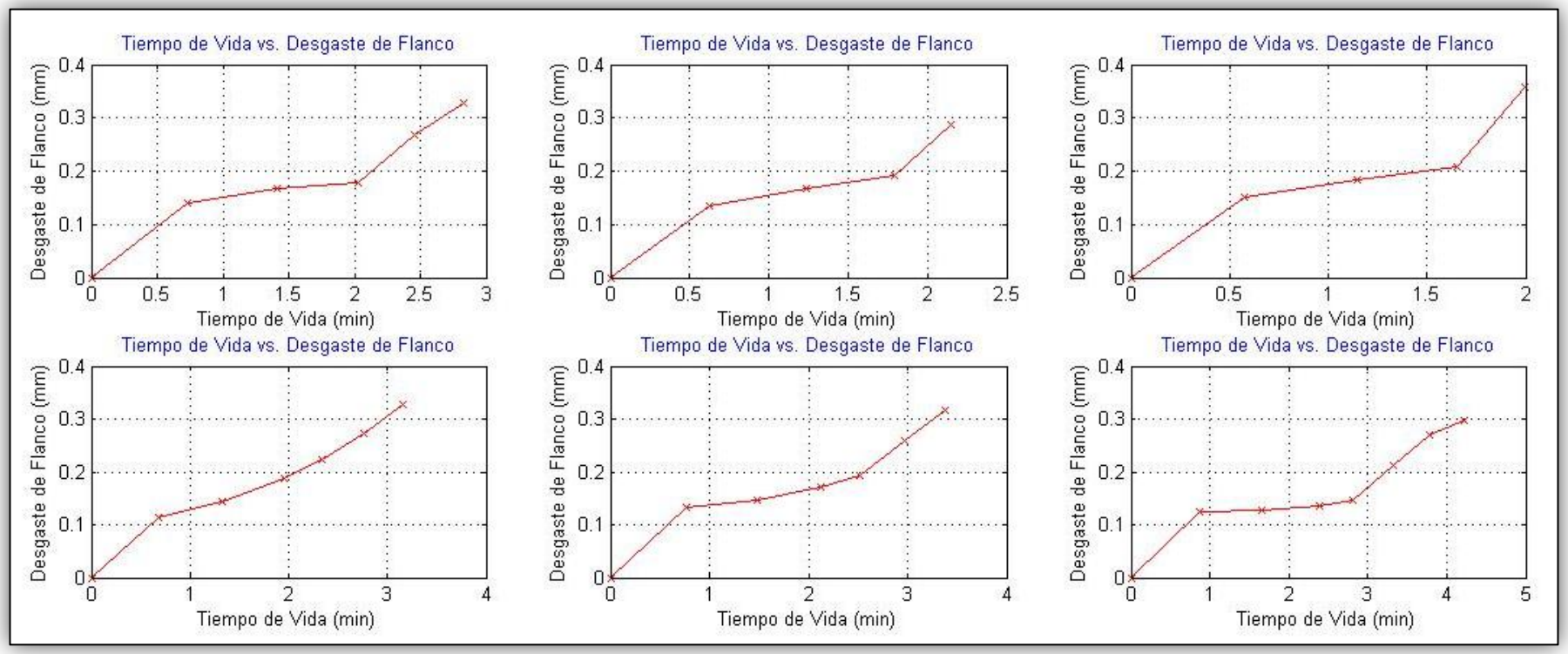
```
V=[310 289.9 269.9 250 230.14 200];
T=[1.993 2.152 2.832 3.155 3.384 4.214];
loglog(V,T,':ro'), TITLE('Velocidad de Corte vs. Tiempo de
Vida'),xlabel('Velocidad de Corte (m/min)'), ylabel('Tiempo de Vida
(min)')
grid
```

ANEXO F. PROGRÁMA PARA DESGASTE DE FLANCO vs. TIEMPO DE MECANIZACIÓN DEL INSERTO 2.

```
A=[0 0.736 1.411 2.028 2.453 2.832];
B=[0 0.140 0.166 0.179 0.268 0.328];
subplot(3,3,1)
plot(A,B,'-rx')
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

C=[0 0.628 1.236 1.794 2.152];
D=[0 0.134 0.168 0.192 0.288];
subplot(3,3,2)
plot(C,D,'-rx')
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

E=[0 0.576 1.143 1.655 1.993];
F=[0 0.151 0.183 0.208 0.358];
subplot(3,3,3)
plot(E,F,'-rx')
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

G=[0 0.674 1.332 1.949 2.331 2.759 3.155];
H=[0 0.114 0.145 0.188 0.223 0.272 0.328];
subplot(3,3,4)
plot(G,H,'-rx')
```

```
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

I=[0 0.765 1.478 2.118 2.511 2.965 3.384];
J=[0 0.134 0.146 0.172 0.192 0.258 0.316];
subplot(3,3,5)
plot(I,J,'-rx')
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;

K=[0 0.863 1.666 2.386 2.811 3.320 3.789 4.214];
L=[0 0.124 0.127 0.136 0.147 0.211 0.269 0.297];
subplot(3,3,6)
plot(K,L,'-rx')
TITLE('Tiempo de Vida vs. Desgaste de Flanco','Color','b'),
xlabel('Tiempo de Vida (min)'), ylabel('Desgaste de Flanco (mm)')
gridon;
```

Desgaste de flanco vs. Tiempo de mecanización para el Inserto 2.



APÉNDICE

APÉNDICE A. Avances y Profundidades Máximas y Mínimas en función del Inserto TNMG 160408 PM 4225

Plaquita	Profundidad recomendada a_p = mm			Avance recomendado a_p = mm		
		Min	Máx.		Min	Máx.
WNMG080412-WM	3.50	0.80	6.00	0.50	0.20	0.90
CNMG090304-PM	2.00	0.40	4.00	0.20	0.10	0.30
CNMG090308-PM	2.00	0.50	4.00	0.30	0.15	0.50
CNMG120404-PM	3.00	0.40	5.50	0.20	0.10	0.30
CNMG120408-PM	3.00	0.50	5.50	0.30	0.15	0.50
CNMG120412-PM	3.00	0.80	5.50	0.35	0.18	0.60
CNMG120416-PM	3.00	1.00	5.50	0.40	0.23	0.65
CNMG160608-PM	4.00	0.50	7.20	0.30	0.15	0.50
CNMG160612-PM	4.00	0.80	7.20	0.35	0.18	0.60
CNMG160616-PM	4.00	1.00	7.20	0.40	0.23	0.65
CNMG190608-PM	4.00	0.50	8.60	0.30	0.15	0.50
CNMG190612-PM	4.00	0.80	8.60	0.35	0.18	0.60
CNMG190616-PM	4.00	1.00	8.60	0.40	0.23	0.65
DNMG110404-PM	2.00	0.40	5.00	0.20	0.10	0.30
DNMG110408-PM	2.00	0.50	5.00	0.30	0.15	0.50
DNMG110412-PM	2.00	0.80	5.00	0.35	0.18	0.50
DNMG150404-PM	3.00	0.40	6.00	0.20	0.10	0.30
DNMG150408-PM	3.00	0.50	6.00	0.30	0.15	0.50
DNMG150412-PM	3.00	0.80	6.00	0.35	0.18	0.60
DNMG150604-PM	3.00	0.40	6.00	0.20	0.10	0.30
DNMG150608-PM	3.00	0.50	6.00	0.30	0.15	0.50
DNMG150612-PM	3.00	0.80	6.00	0.35	0.18	0.60
DNMG150616-PM	3.00	1.00	6.00	0.40	0.23	0.65
SNMG090304-PM	2.00	0.40	4.50	0.20	0.10	0.30
SNMG090308-PM	2.00	0.50	4.50	0.30	0.15	0.50
SNMG120404-PM	3.00	0.40	6.00	0.20	0.10	0.30
SNMG120408-PM	3.00	0.50	6.00	0.30	0.15	0.50
SNMG120412-PM	3.00	0.80	6.00	0.35	0.18	0.60
SNMG120416-PM	3.00	1.00	6.00	0.40	0.23	0.65
SNMG150612-PM	4.00	0.80	7.50	0.35	0.18	0.60
SNMG150616-PM	4.00	1.00	7.50	0.40	0.23	0.65
TNMG160404-PM	3.00	0.40	5.00	0.20	0.10	0.30
TNMG160408-PM	3.00	0.50	5.00	0.30	0.15	0.50
TNMG160412-PM	3.00	0.80	5.00	0.35	0.18	0.60
TNMG220404-PM	4.00	0.40	6.60	0.20	0.10	0.30
TNMG220408-PM	4.00	0.50	6.60	0.30	0.15	0.50
TNMG220412-PM	4.00	0.80	6.60	0.35	0.18	0.60
TNMG220416-PM	4.00	1.00	6.60	0.40	0.23	0.65
VNMG160408-PM	2.00	0.50	4.00	0.30	0.15	0.50

APÉNDICE B. Avances y Profundidades Máximas y Mínimas en función del Material, Acero AISI D6 de Alta Aleación, Recocido y Dureza de 200 HB

ISO	N.° CMC	Material	Fuerza de corte específica k_c 0.4 N/mm²	Dureza Brinell HB	<<<< RESISTENCIA AL DESGASTE CT5005 h_{ex}, mm ≈ avance f_n, mm/r 0.05-0.1-0.2 Velocidad de corte (V_c), m/min	CT5015 0.05-0.1-0.2	GC1525 0.05-0.1-0.2
P		**Acero no aleado**					
	01.1	C = 0,1–0,25%	2000	125	730-590-485	650-540-440	560-465-360
	01.2	C = 0,25–0,55%	2100	150	650-530-420	570-460-365	495-415-335
	01.3	C = 0,55–0,80%	2200	170	-	510-425-340	430-365-295
		Acero de baja aleación (elementos de aleación ≤5%)					
	02.1	No templado	2150	180	530-450-360	480-400-320	375-320-255
	02.12	Acero para rodamientos de bola	2300	210	-	-	-
	02.2	Endurecido y templado	2550	275	395-325-250	285-235-190	200-165-135
	02.2	Endurecido y templado	2650	350	320-260-200	230-190-150	160-135-110
		Acero de alta aleación (elementos de aleación >5%)					
	03.11	Recocido	2500	200	-	395-330-250	260-215-175
	03.21	Acero de herram. templado	3900	325	-	195-165-130	145-115-90
		Acero fundido					
	06.1	No aleado	2000	180	-	260-215-175	225-185-145
	06.2	De baja aleación (elementos de aleación ≤5%)	2100	200	-	270-225-170	175-145-105
	06.3	Alta aleación (elementos de aleación >5%)	2650	225	-	200-165-125	140-115-85

TENACIDAD >>>> GC1515	GC1025	GC1125	GC3005	GC4205	GC4215	GC4225	GC2015	GC4235	GC2025	GC235
0.1-0.2-0.3	0.1-0.2-0.3	0.1-0.2-0.3	0.1-0.3-0.5	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8
310-290-255	310-290-255	310-290-255	520-415-340	620-450-330	570-405-300	510-345-245	440-300-210	425-275-200	295-200-145	185-135-95
310-280-245	280-255-225	280-255-225	470-370-305	560-405-295	510-365-265	455-305-215	400-270-190	380-245-180	265-180-130	165-120-85
285-260-230	260-235-210	260-235-210	445-355-290	530-385-275	460-330-240	425-290-205	370-250-175	365-235-170	250-170-120	155-115-80
295-200-125	-	-	500-375-300	610-410-285	560-370-260	460-305-215	395-265-190	300-185-135	220-145-100	155-110-70
-	-	-	-	530-350-250	460-305-215	395-265-190	350-230-160	250-155-110	195-125-85	-
195-100-40	-	-	275-215-175	330-230-175	300-210-155	255-160-140	260-180-140	185-120-85	145-95-65	110-70-50
160-80-34	-	-	225-170-140	265-185-140	240-170-125	205-145-110	210-145-115	150-95-70	115-75-50	85-55-39
-	-	-	370-275-225	445-295-215	405-270-200	300-205-150	260-180-130	240-155-105	185-125-85	145-100-65
-	-	-	180-130-105	220-140-105	200-130-95	135-95-75	115-85-65	110-70-50	85-55-38	65-45-30
-	-	-	275-220-185	335-235-185	300-215-170	240-160-130	210-155-110	185-140-100	140-105-80	100-80-60
-	-	-	270-200-170	290-205-155	260-185-140	210-140-100	160-120-85	165-100-70	125-80-55	95-65-45
-	-	-	205-155-130	225-150-115	205-135-105	185-125-90	160-110-75	145-95-65	110-75-50	80-60-39

APÉNDICE C. Avances y Profundidades Máximas y Mínimas en función del Inserto TNMG 160404 PF 4215

Plaquita	Profundidad recomendada a_p = mm			Avance recomendado a_p = mm		
		Min	Máx.		Min	Máx.
CNMG090304-WF	0.50	0.30	1.50	0.15	0.05	0.25
CNMG090308-WF	1.00	0.30	2.00	0.30	0.10	0.50
CNMG120404-WF	0.40	0.25	3.00	0.15	0.05	0.25
CNMG120408-WF	1.00	0.25	4.00	0.30	0.10	0.50
CNMG120412-WF	1.50	0.40	4.00	0.50	0.20	0.60
DNMX110404-WF	1.00	0.20	1.50	0.20	0.08	0.30
DNMX110408-WF	1.00	0.20	3.00	0.30	0.10	0.40
DNMX150404-WF	0.80	0.20	3.00	0.20	0.08	0.30
DNMX150408-WF	1.50	0.20	3.00	0.30	0.10	0.40
DNMX150412-WF	1.50	0.40	3.50	0.40	0.15	0.55
DNMX150604-WF	0.80	0.20	3.00	0.20	0.08	0.30
DNMX150608-WF	1.50	0.20	3.00	0.30	0.10	0.40
DNMX150612-WF	1.50	0.40	3.50	0.40	0.15	0.55
TNMX160404-WF	1.00	0.20	3.00	0.20	0.08	0.30
TNMX160408-WF	1.50	0.20	3.00	0.30	0.10	0.40
WNMG060404-WF	0.40	0.25	2.00	0.15	0.05	0.25
WNMG060408-WF	1.00	0.25	3.00	0.30	0.10	0.50
WNMG080404-WF	0.40	0.25	3.00	0.15	0.05	0.25
WNMG080408-WF	1.00	0.25	4.00	0.30	0.10	0.50
WNMG080412-WF	1.50	0.40	4.00	0.50	0.20	0.60
CNMG090304-PF	0.40	0.25	1.50	0.15	0.07	0.30
CNMG090308-PF	0.40	0.30	1.50	0.15	0.10	0.30
CNMG120404-PF	0.40	0.25	1.50	0.15	0.07	0.30
CNMG120408-PF	0.40	0.30	1.50	0.20	0.10	0.40
CNMG120412-PF	0.80	0.35	1.50	0.25	0.15	0.50
DNMG110404-PF	0.40	0.25	1.50	0.15	0.07	0.30
DNMG110408-PF	0.40	0.30	1.50	0.20	0.10	0.40
DNMG110412-PF	0.80	0.35	1.50	0.25	0.15	0.50
DNMG150404-PF	0.40	0.25	1.50	0.15	0.07	0.30
DNMG150408-PF	0.40	0.30	1.50	0.20	0.10	0.40
DNMG150412-PF	0.80	0.35	1.50	0.25	0.15	0.50
DNMG150604-PF	0.40	0.25	1.50	0.15	0.07	0.30
DNMG150608-PF	0.40	0.30	1.50	0.20	0.10	0.40
DNMG150612-PF	0.80	0.35	1.50	0.25	0.15	0.50
SNMG120408-PF	0.40	0.30	1.50	0.20	0.10	0.40
SNMG120412-PF	0.80	0.35	1.50	0.25	0.15	0.50
TNMG160404-PF	0.40	0.25	1.50	0.15	0.07	0.30
TNMG160408-PF	0.40	0.30	1.50	0.20	0.10	0.40
TNMG160412-PF	0.80	0.35	1.50	0.25	0.15	0.50
TNMG220408-PF	0.40	0.30	1.50	0.20	0.10	0.40
TNMG220412-PF	0.80	0.35	1.50	0.25	0.15	0.50
VNMG160404-PF	0.40	0.25	1.50	0.15	0.07	0.30

APÉNDICE D. Tabla para Registro de Datos de Práctica

Compañía			Desgaste VB_B, KT vs. Tiempo de Mecanización						Nº. Registro	
									Nº Orden	
Fecha:			Ordenados por:			Realizado por:				
Prueba de Barras, Herramienta y Datos de Corte										
Nº Inserto:	Nº Filo		Diámetro en Bruto	Diámetro antes de maquinado.	Longitud de la pieza de trabajo.		Zona maquinada		Rompeviruta	
									Altura	Distancia
Avance f:			Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:					
Varios										
Valores de Prueba										

Nº Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco				Cráter		Forma de la Viruta	OBSERVACIONES
			VBB (mm)	VBB max.		1)	KT (mm)	1)		
				Zona	mm					
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

Criterio Vida de herramienta	1) si otra medición de desgaste es aplicable	Es afectada la formación de viruta por el rompeviruta? Si__ No__

BIBLIOGRAFÍA

[1]. NORMA 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, CATÁLOGO 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.