



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

*“Utilización del Criterio de Desgaste de Flanco y la Ecuación de Taylor
para Simular el Tiempo de Vida de una Herramienta de Corte
Mediante el Proceso de Torneado en CNC para un Material AISI 1018”*

Tesina de Seminario

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentada por:

Washington Xavier Ortiz Garcés
Jorge Leandro Vanegas Robles

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2011

AGRADECIMIENTO

A Dios por habernos permitido llegar hasta este momento especial en nuestras vidas y habernos dado fe, fortaleza y salud para lograr nuestros objetivos.

A nuestros padres por su cariño, comprensión, por ser un ejemplo a seguir, gracias por apoyarnos durante toda nuestra carrera universitaria

Al M. Sc Gabriel Helguero, Director del seminario por habernos ayudado a realizar este proyecto, por su colaboración y asesoramiento en todo momento.

A todas las personas que nos brindaron apoyo para poder realizar esta tesina de la mejor manera posible.

DEDICATORIA

Queremos dedicar este proyecto a Dios, por ser el amigo incondicional, quien siempre nos acompañó en cada momento, quien fue nuestro pilar, nuestra guía, por ser quien nos dio la fe, la fortaleza necesaria para salir siempre adelante pese a las dificultades.

A nuestros padres, que con sacrificio nos han dado la educación, por su comprensión y ayuda en momentos difíciles, por inculcarnos valores morales y principios que nos han ayudado a ser personas de bien.

A nuestros compañeros y amigos que siempre estuvieron prestos a brindarnos apoyo y su voz de aliento.

Este logro se los dedicamos a todos ustedes, muchas gracias de todo corazón.

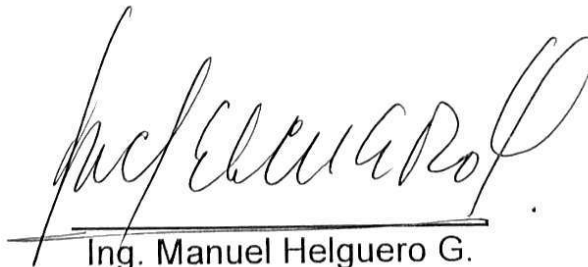
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



M.Sc. Gabriel Helguero A.
DIRECTOR DE TESINA



Ing. Manuel Helguero G.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta
Tesina de seminario nos pertenece
Exclusivamente y el patrimonio intelectual de la
misma a la ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Washington Ortiz Garcés



Jorge Vanegas Robles

RESUMEN

En esta tesina se presenta el proceso detallado para analizar el tiempo de vida útil de una herramienta de corte mediante los criterios de desgaste flanco y cráter, para mecanizar el ACERO SAE 1018 en un proceso de torneado en una máquina CNC del laboratorio de mecanización CAMPRO ubicado en la FIMCP.

Los primeros capítulos cubren una explicación teórica sobre el proceso de torneado, formación de viruta, material y geometría de las herramientas de corte, así como las propiedades del material a mecanizar.

Se procedió a analizar el desgaste de la herramienta (inserto), previamente seleccionada en base al material a mecanizar, el estudio se realizó en función del criterio de desgaste seleccionado.

A partir de esta teoría se procedió a la parte experimental en la cual se mecanizó el material con los diferentes tipos de inserto, se tomaron diferentes

datos de desgaste de flanco para cada uno de ellos, con diferentes velocidades y profundidades de corte. Por último, se procedió a modelar los resultados obtenidos mediante gráficas utilizando el software Matlab pudiendo concluir y recomendar lo siguiente.

El tiempo de vida útil de un inserto no se refiere al tiempo en que el inserto ya no sirve, sino es el tiempo en el cual el inserto trabaja en condiciones ideales de corte, esto significa obtener el acabado superficial esperado, no producir imperfecciones en el material durante el proceso de mecanizado entre otras.

De acuerdo a la experimentación se puede decir que obtiene mayor tiempo de vida útil en nuestro inserto TNMG160404PF4215 a diferencia del inserto TNMG160408PF4225, esto se debe al recubrimiento que posee dicho inserto y su mayor dureza.

Para trabajos en los cuales se busca simplemente buen acabado superficial es más favorable utilizar el inserto TNMG160408PF4225 a diferencia del TNMG160404PF4215 que es un poco más costoso y más duro el cual permite trabajar con mayor presiones sin ninguna complicación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VVIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE GRÁFICAS	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
1.MARCO TEÓRICO	3
1.1. Proceso de Torneado	3
1.2. Teoría de Formación de la Viruta	8
1.3. Características Principales del Acero SAE 1018	12
1.4. Materiales y Geometría para Herramienta de Corte	18
1.5. Mecánica del Corte Ortogonal	24
CAPÍTULO 2	28
2.PARÁMETROS A ANALIZAR.....	28
2.1. Desgaste de la Herramienta	28
2.2. Criterios para Determinar la Vida de la Herramienta	33

2.3. Velocidad de Corte y su Relación con Diversos Parámetros de Mecanizado	35
2.4. Ecuaciones de Taylor	36
2.5. Selección del Criterio de Desgaste	38
2.5.1. Justificación del Criterio Seleccionado	39
2.6. Selección del Tipo de Inserto a Utilizar	39
2.6.1. Justificación de los Insertos Seleccionados	41
CAPÍTULO 3	45
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	45
3.1. Curvas para el Inserto TNMG160408PM4225	49
3.1.1. Gráfica Velocidad de Corte vs Tiempo de Vida	49
3.1.2. Gráfica Profundidad de Corte vs. Tiempo de Vida	51
3.1.3. Gráfica Ancho de la Zona del Desgaste de Flanco vs. Tiempo de Corte	52
3.2. Curvas para el inserto TNMG160404PF4215	57
3.2.1. Gráfica Velocidad de Corte vs Tiempo de vida	57
3.2.2. Gráfica Profundidad de Corte vs. Tiempo de Vida	59
3.2.3. Gráfica ancho de la zona del desgaste de flanco vs Tiempo de vida	60
3.3. Resultados Obtenido de la Ecuación de Taylor	65
3.4. Tablas de Resultados para Inserto TNMG160408PM4225	74
3.4.1. Profundidad de Corte	75
3.4.2. Velocidad de Corte	77

3.4.3. Ancho de la Zona de Desgaste de Flanco	79
3.5. Tablas de Resultados para Inserto TNMG160408PF4215	83
3.5.1. Profundidad de Corte	85
3.5.2. Velocidad de Corte.....	86
3.5.3. Ancho de la Zona de Desgaste de Flanco	89
CAPÍTULO 4.....	93
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	93
4.1. Interpretación de Curvas Generadas.....	93
4.2. Interpretación de Ecuaciones Obtenidas	96
4.3. ¿Qué tipo de Inserto Generó más Eficiencia?	98
4.4. Comportamiento del Material.....	99
4.4.1. Tipo de viruta	100
4.5. Comportamiento de los Inserto Utilizados	102
CAPÍTULO 5.....	106
5.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
5.1. Conclusiones	106
5.2. Recomendaciones	110

ANEXOS

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

m:	Metros
cm:	Centímetros
mm:	Milímetros
s:	Segundos
min:	Minutos
rev:	Revoluciones
rpm:	Revoluciones por minuto
m/min:	Metro por minuto
mm/rev:	Milímetro 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
Vc:	Velocidad de Corte
N:	Revoluciones por Minuto
VB:	Desgaste de Flanco
KT:	Desgaste de Cráter
Ap:	Profundidad de Corte
f:	Avance
C:	Constante de Taylor
γ:	Ángulo de Virutamiento
α:	Angulo de Incidencia

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Movimientos de trabajo del torno	4
Figura 1.2 Partes principales de una herramienta elemental	18
Figura 1.3 Ángulos principales de una herramienta de corte	19
Figura 1.4 Modelo de corte Ortogonal.....	25
Figura 1.5 Diagrama de cuerpo libre en la viruta	26
Figura 1.6 Relación entre las fuerzas de corte.....	27
Figura 2.1 Desgaste de Flanco	30
Figura 2.2 Desgaste de Cráter	32
Figura 3.1 Inserto 4225	75
Figura 3.2 Inserto 4215	84
Figura 4.1 Acabado Superficial Rugoso.....	99
Figura 4.2 Buen Acabado Superficial.....	100
Figura 4.3 Viruta Tipo 6,9.....	101
Figura 4.4 Viruta Tipo Espiral.....	102
Figura 4.5 Desgaste de Flanco en inserto TNMG160408PM4225.....	103
Figura 4.6 Desgaste de Flanco en inserto TNMG160404PF4215.....	104
Figura 4.7 Rotura del Inserto.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Composición química AISI 1018	14
Tabla 2 Propiedades Mecánicas.....	15
Tabla 3 Valores experimentales de dureza del Acero 1018 en R	17
Tabla 4 Valores experimentales de dureza del Acero 1018 en Brinell.....	17
Tabla 5 Valores de los ángulos en el arranque de viruta	22
Tabla 6 Parámetros de corte para inserto TNMG160404PF4215.....	44
Tabla 7 Parámetros de corte para inserto TNMG160408PM4225	44
Tabla 8 Velocidad de Corte y Tiempo de Mecanización en escala logarítmica para Ecuación de Taylor Filo 1 inferior 4225	49
Tabla 9 Velocidad de Corte y Tiempo de Mecanización en escala logarítmica para Ecuación de Taylor Filo 1 4215	57
Tabla 10 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo # 3 de la cuchilla 4225	76
Tabla 11 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo # 3 inferior de la cuchilla 4225	76
Tabla 12 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo # 1 de la cuchilla 4225	77
Tabla 13 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo # 1 inferior de la cuchilla 4225	78
Tabla 14 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo # 2 de la cuchilla 4225	79
Tabla 15 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 1 de la cuchilla 4225	81
Tabla 16 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 2 de la cuchilla 4225	81
Tabla 17 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 3 de la cuchilla 4225	82

Tabla 18 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 1 inferior de la cuchilla 4225.....	82
Tabla 19 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 3 inferior de la cuchilla 4225.....	83
Tabla 20 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo 1 inferior de la cuchilla 4215	85
Tabla 21 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo 3 inferior de la cuchilla 4215	86
Tabla 22 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo 1 de la cuchilla 4215	87
Tabla 23 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo 2 inferior de la cuchilla 4215	87
Tabla 24 Resultados del tiempo de mecanización y los diferentes parámetros de mecanizado para el Filo 3 de la cuchilla 4215	88
Tabla 25 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 1 de la cuchilla 4215	90
Tabla 26 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 3 de la cuchilla 4215	91
Tabla 27 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 1 inferior de la cuchilla 4215.....	91
Tabla 28 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 2 inferior de la cuchilla 4215.....	92
Tabla 29 Resultados del desgaste de flanco para el Filo 3 inferior de la cuchilla 4215.....	92

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafica 3.1 VELOCIDAD DE CORTE VS TIEMPO DE MECANIZADO	51
Grafica 3.2 FILO 1 INSERTO TNMG160408PM4225 Error! Bookmark not defined.	
Grafica 3.3 FILO 2 INSERTO TNMG160408PM4225	533
Grafica 3.4 FILO 3 INSERTO TNMG160408PM4225 ... Error! Bookmark not defined.	
Grafica 3.5 FILO 1 INFERIOR INSERTO TNMG160408PM4225 Error! Bookmark not defined.	
Grafica 3.6 FILO 3 INFERIOR INSERTO TNMG160408PM4225	54
Grafica 3.7 SUPERPUESTA FILO 1 SUPERIOR E INFERIOR INSERTO 4225..... Error! Bookmark not defined.	
Grafica 3.8 SUPERPUESTA FILO 3 SUPERIOR E INFERIOR INSERTO 4225.....	60
Grafica 3.9 VELOCIDAD DE CORTE VS TIEMPO DE MECANIZADO	599
Grafica 3.10 FILO 1 INSERTO TNMG160404PF4215.....	60
Grafica 3.11 FILO 3 INSERTO TNMG160404PF4215.... Error! Bookmark not defined.	
Grafica 3.12 FILO 1 INFERIOR INSERTO TNMG160404PF4215 Error! Bookmark not defined.	
Grafica 3.13 FILO 2 INFERIOR INSERTO TNMG160404PF4215 Error! Bookmark not defined.	
Grafica 3.14 FILO 3 INFERIOR INSERTO TNMG160404PF4215 Error! Bookmark not defined.	
Grafica 3.15 SUPERPUESTA FILO 1 Y 2 INFERIOR INSERTO 4215..... Error! Bookmark not defined.	

Grafica 3.16 SUPERPUESTA FILO 1 Y 3 INFERIOR INSERTO 4215.....**Error!**
Bookmark not defined.

INTRODUCCIÓN

Esta tesina consiste en la determinación del tiempo de vida de los insertos TNMG160408PM4225 y TNMG160404PF4215, mediante los desgastes de flanco y cráter al realizar la mecanización de un árbol SAE 1018.

Esta experimentación se realizó después que previamente se analizó al material y se seleccionó los diferentes insertos y los criterios de desgaste.

Esta tesina muestra claramente la forma en que afecta los parámetros de mecanización en el tiempo de vida útil de un inserto. El tiempo de vida útil se lo determinó mediante la ecuación de Taylor y el desgaste de flanco la cual dice que un inserto es inservible con un desgaste de 0,3 mm.

Esta tesina contiene cinco capítulos los cuales están divididos de la siguiente manera.

El capítulo 1 contiene una breve explicación teórica del proceso de torneado, descripción del material y las herramientas a utilizar.

El capítulo 2 contiene la explicación de cada parámetro que se va analizar en nuestra tesina como los criterios de desgaste y la ecuación de Taylor.

El capítulo 3 contiene los resultados obtenidos dentro de la experimentación, para cada una de las puntas de los insertos se muestran graficas las cuales tienen sus respectivos parámetros de mecanización y se puede ver claramente cómo influye su tiempo de vida al variar cada uno de estos parámetros.

El capítulo 4 contiene el análisis de los resultados obtenidos, aquí se analizo eficacia de los insertos y comportamiento del material.

El capítulo 5 contiene las conclusiones y recomendaciones dadas en base a nuestros resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO.

Este capítulo muestra una breve explicación de los diferentes parámetros a involucrar en esta tesina así como las propiedades, características y composición química del material a utilizar.

1.1. Proceso de Torneado.

El torneado es una operación con arranque de viruta que permite la elaboración de piezas cilíndricas, cónicas y esféricas, mediante el movimiento uniforme de rotación alrededor del eje fijo de la pieza.

El torno es la máquina-herramienta que permite la transformación de un sólido indefinido, haciéndolo girar alrededor de su eje y arrancándole material periféricamente a fin de obtener una geometría definida (sólido de revolución). Con el torneado se pueden obtener superficies: cilíndricas, planas, cónicas, esféricas, perfiladas, roscadas.

Los movimientos de trabajo necesarios para que se produzca el corte son:

Movimiento de Corte (M_c): Movimiento relativo entre la pieza y la herramienta.

Movimiento de Penetración (M_p): Es el movimiento que acerca la herramienta al material y regula su profundidad de penetración.

Movimiento de avance (M_a): es el movimiento mediante el cual se pone bajo la acción de la herramienta nuevo material a separar.

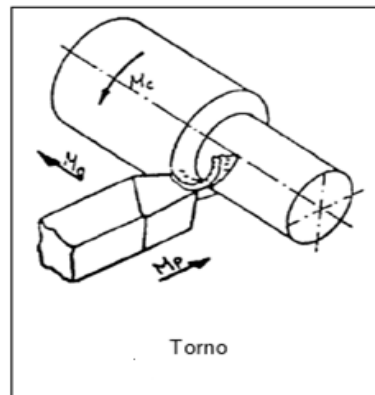


Figura 1.1 MOVIMIENTOS DE TRABAJO DEL TORNO

Velocidad de corte (V_c).

Es la velocidad de los puntos de la pieza que están en contacto con la herramienta, respecto los unos de la otra, o viceversa. Se mide en m/min. y en las máquinas muy rápidas (rectificadoras) en m/s.

La velocidad de corte depende, principalmente:

- Del material de la pieza a trabajar.
- Del material del filo de la herramienta.
- Del refrigerante.
- Del tipo de operación a realizar.
- De la profundidad de la pasada y del avance.

El valor de la velocidad de corte se encuentra en tablas en las que se entra por los factores apuntados. Estas tablas están sacadas de ensayos prácticos.

La velocidad de corte guarda una relación matemática con la velocidad de giro y con el diámetro del elemento que posee el Mc (la pieza o la herramienta):

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot N}{1000} \quad \Rightarrow \quad N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d}$$

Donde:

V_c = velocidad de corte (m/min)

d = diámetro de la pieza o de la herramienta (mm)

N = velocidad de giro (rpm.)

La máxima velocidad de corte corresponderá al diámetro máximo de los puntos de la pieza o de la herramienta que estén en contacto con la herramienta o la pieza respectivamente.

Avance (a).

Velocidad de avance (a_{min}): Longitud de desplazamiento de la herramienta respecto a la pieza o viceversa, en la unidad de tiempo (generalmente en un minuto).

Avance (magnitud) (a_v): Es el camino recorrido por la herramienta respecto a la pieza o por la pieza respecto a la herramienta en una vuelta o en una pasada.

En ciertas máquinas-herramientas no es posible programar la magnitud del avance, por lo que se hace necesario programar la velocidad de dicho avance. La magnitud del avance se relaciona con la velocidad de avance a través de la velocidad de giro:

$$a_v = \frac{a_{min}}{N} \Rightarrow a_{min} = a_v \cdot N$$

Donde:

a_v = avance por vuelta o carrera.

a_{min} = avance por minuto

N = velocidad de giro en rpm.

El avance depende, principalmente

- Del estado superficial que se desee obtener
- De la potencia de la máquina
- De la sección del mango de la herramienta
- De la sujeción de la herramienta o plaquita
- De la rigidez de la máquina
- De su relación con la profundidad de pasada.

Profundidad de Pasada (p).

Se puede definir la profundidad de pasada diciendo que es la longitud que penetra la herramienta, en la pieza, en cada pasada. De este movimiento no se estudia su velocidad. La profundidad de pasada depende, principalmente:

- De la cantidad de material a quitar
- Del grado de precisión dimensional
- De la potencia de la máquina
- De su relación con el avance.

El concepto de profundidad de pasada adquiere algunas particularidades según sea la operación que se realice.

1.2. Teoría de Formación de la Viruta.

El torneado es un proceso de arranque de viruta, en el cual un borde o filo, deforma cierta parte del material hasta separarlo de la pieza, a esto se lo llama viruta. La viruta se forma en un proceso de cizalladura localizado que se desarrolla en zonas muy pequeñas.

Se trata de una deformación plástica bajo de condiciones de gran tensión y alta velocidad de deformación que se genera a partir de una región de compresión radial que se mueve por delante de la herramienta cuando esta se desplaza por la pieza. La compresión genera dislocaciones y endurecimiento a tal punto en que el material se fractura.

Se forman grandes esfuerzos en la capa del material que se convertirá en viruta de manera que se acerca el material al esfuerzo de cedencia y luego el esfuerzo último del material para así desprender esta pequeña cantidad de material en el tiempo deseado.

La acción de corte se lleva a cabo en el plano de corte, que es la línea imaginaria que se genera entre la viruta deformada y no deformada este tiene un ángulo llamado “Ángulo del Plano de Corte”. A la derecha de este plano se encuentra la viruta deforma y a la izquierda se encuentra la viruta no deformada. Para formar la viruta se requiere vencer a la fuerza de corte y la fuerza de fricción, causante de la compresión.

Los procesos de manufactura son la forma de transformar la materia prima que se haya, para darle un uso práctico en la sociedad y así disfrutar la vida con mayor comodidad.

El mecanizado de metales por arranque de viruta ampliamente practicado y difundido en las industrias como lo más importante entre las tecnologías de producción, es un procedimiento apto para modificar formas, dimensiones y grado superficial de las piezas arrancando a estas una capa que es transformada en viruta.

Los estudios sobre el corte de viruta son complejos principalmente a las implicaciones mecánicas, termodinámicas y metalúrgicas que suponen.

Tipos de viruta.

A partir de la apariencia de la viruta se puede obtener mucha información valiosa acerca del proceso de corte, ya que algunos tipos de viruta indican un corte más eficiente que otros. El tipo de viruta esta determinado primordialmente por:

- Propiedades del material a trabajar.
- Geometría de la herramienta de corte.
- Condiciones del maquinado (profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de corte).

Al observar la formación real de virutas bajo distintas condiciones de corte de metales, se ven desviaciones apreciables del modelo ideal. Una viruta posee dos superficies: una en contacto con la cara de la herramienta (cara de ataque) y otra de la superficie original de la pieza. La cara de la viruta hacia la herramienta es brillante o bruñida, y ello se debe al frotamiento de la viruta al subir por la cara de la herramienta.

La otra superficie de la viruta no se pone en contacto con cuerpo alguno. Esta superficie posee un aspecto rasgado y áspero, que se debe al propio proceso de corte.

- **Viruta continúa.**

Las virutas continuas se forman cuando se mecanizan materiales dúctiles a altas velocidades de corte y/o altos ángulos de ataque, se produce en condiciones próximas a las de “régimen” estacionario por una condición de pseudo-estabilidad de deformación plástica en la zona de cizallamiento; el ángulo de desprendimiento de la herramienta debe tomar valores elevados.

La formación de viruta tiene lugar en la zona que se extiende desde el filo de la herramienta hasta la unión entre las superficies de la pieza: esta zona se conoce como zona primaria de corte. Las virutas continuas pueden desarrollar una zona secundaria de corte en la interface herramienta-viruta debido a la fricción.

- **Viruta discontinua.**

La originan los materiales duros con bajo coeficiente de alargamiento pocos dúctiles.

En la formación de la viruta discontinua el material es sometido a grandes deformaciones, y si es frágil se fractura en la zona de deformación primaria cuando la formación de viruta es incipiente, segmentándose. La viruta discontinua generalmente se forma bajo las siguientes condiciones:

- Materiales frágiles.
- Materiales de la pieza de trabajo que contiene inclusiones e impurezas.
- Muy bajas o muy altas velocidades de corte.
- Grandes profundidades de corte.
- Pequeños ángulos de ataque.
- Falta de fluido de corte.

1.3. Características Principales del Acero SAE 1018.

El material con el cual se va a trabajar es el acero 1018, este acero de bajo - medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se

presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria:

➤ **Propiedades de Diseño y Característica del Acero.**

Entre los aceros de bajo carbono, el 1018 es el más versátil por sus características; análisis controlado, mejores propiedades mecánicas que otros aceros del mismo tipo por su alto contenido de manganeso, buena soldabilidad, buena maquinabilidad.

Cuando se requiere una superficie muy dura pero un centro tenaz, este acero cementado cumple perfectamente. Estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y su maquinabilidad, haciéndose muy popular para un sin número de aplicaciones.

El acero 1018 es valorado al 62% de la maquinabilidad del acero al carbono 1112. Esta aleación puede ser fácilmente llevada a un acabado fino, sus granos son continuos y duros. Puede ser mecanizado en todas las condiciones.

El acero 1018 puede, en secciones delgadas ser endurecido a Rc. 42. En secciones más gruesas, sobre 4", se puede obtener una dureza entre Rc. 28 a 30, puede ser fácilmente trabajado en caliente.

Al trabajarlo en frío tendrá un efecto significativo sobre la dureza y las propiedades mecánicas. Se requiere un recocido intermedio para vencer su tendencia al endurecimiento por trabajo.

Tabla # 1
COMPOSICIÓN QUÍMICA AISI 1018

Propiedades Químicas				
	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15-0.2%	0,6-0.9%	0.04%	0.05%

Tabla # 2
PROPIEDADES MECÁNICAS

Propiedades Mecánicas	
Dureza	126 (HB)
Esfuerzo de Fluencia	370 (Mpa)
Esfuerzo Máximo	440 (Mpa)
Elongación Máxima	15%
Reducción de Área	40%
Módulo de Elasticidad	205(Gpa)
Maquinabilidad	76%

➤ **Aplicación:**

- Se utiliza en operaciones de deformación plástica como remachado y extrusión.
- Se utiliza también en componentes de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo.
- Piezas típicas son los pines, cuñas, remaches, rodillos, piñones, pasadores, tornillos y aplicaciones de lámina.
- Se utiliza donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severa pero con cierto grado de tenacidad importantes.

- Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso.

➤ **Análisis experimentales.**

Los resultados que se mostrarán a continuación son los realizados en el Laboratorio de el Área de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) donde se procedió a calcular la dureza y la composición química para corroborar los datos brindados por el fabricante, notando así un error no considerable en relación de lo teórico y lo real.

Dureza.

La dureza es la propiedad que tienen los materiales de resistir el rayado y el corte de su superficie.

La dureza se mide utilizando un durómetro para el ensayo de penetración. Dependiendo del tipo de punta empleada y del rango de cargas aplicadas, existen diferentes escalas, adecuadas para distintos rangos de dureza.

Tabla # 3

**VALORES EXPERIMENTALES DE DUREZA DEL ACERO
1018 EN R**

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Promedio
Extremo	84	89,2	86,7	88,2	87,025
Radio	77	75,1	75	75,8	75,725
Radio	73,9	74,1	74	74	74
Centro	69,2				69,2

Tabla # 4

**VALORES EXPERIMENTALES DE DUREZA DEL ACERO 1018
EN BRINELL**

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Promedio
Extremo	162	181	171,1	176	172,525
Radio	141	137,2	137	138,6	138,45
Radio	134,75	135,2	135	135	134,9875
Centro	123,4				123,4

1.4. Materiales y Geometría para Herramienta de Corte.

- **Herramienta Elemental Monocorte: Geometría y Ángulos Característicos.**

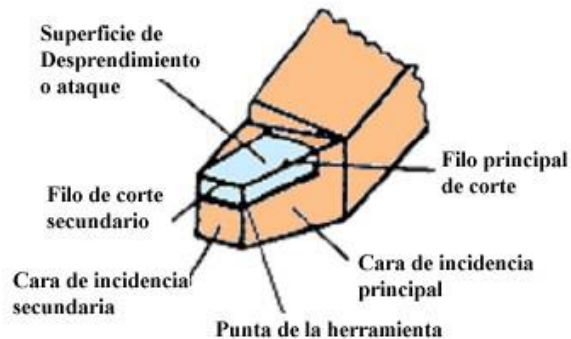


Figura. 1.2 PARTES PRINCIPALES DE UNA HERRAMIENTA ELEMENTAL

La herramienta elemental está constituida por dos caras planas, que se cortan según una arista o filo de corte y está limitada por otras dos caras laterales oportunamente dispuestas, que no tienen una relación directa con el corte pero que sirve para definir la herramienta. La herramienta así dispuesta arranca en su movimiento, una capa de material (sobremetal o creces de mecanizado), de un cierto espesor, transformando en viruta. La cara A es la cara de corte o anterior o de desprendimiento y sobre la misma desliza la viruta separada de la pieza.

La cara B es la cara dorsal o de incidencia y queda siempre frente a la superficie mecanizada. Entre las dos caras queda delimitado el ángulo β de aguzado (ángulo sólido del útil en el sentido físico o ángulo de corte).

Es muy importante considerar bien la geometría de la herramienta y fijar los valores adecuados de dichos ángulos en función de los materiales y mecanizados a realizar.

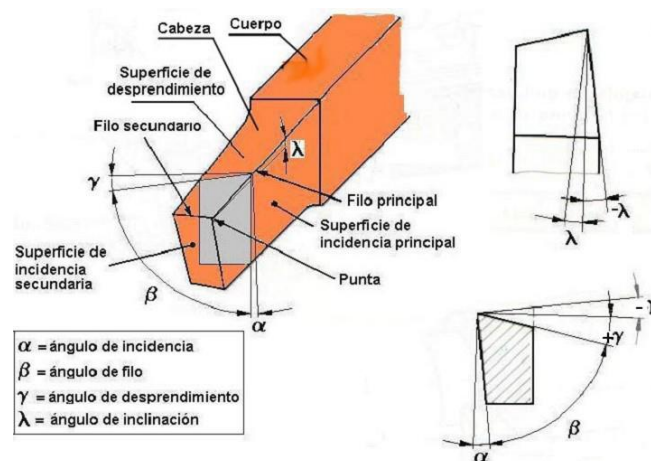


Figura 1.3 ÁNGULOS PRINCIPALES DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE

Ángulo γ de Desprendimiento.

Dicho ángulo comprendido entre la cara de desprendimiento y la normal de la superficie influye notablemente en la formación de la

viruta; en efecto, el arranque de viruta esta provocado por la acción combinada de la arista o filo cortante y la cara de desprendimiento: principalmente es esta la que determina la deformación plástica del material provocando la separación de la viruta en correspondencia con el filo de corte.

La viruta ya separada resbala sobre la cara de corte o desprendimiento, a consecuencia de un cizallamiento del material según un plano inclinado de ángulo ϕ con respecto a la superficie mecanizada, que depende de las condiciones de corte, del material y del ángulo de desprendimiento.

Hay que considerar también, al elegir el valor del ángulo de desprendimiento, el tipo de viruta que se forma: se pueden, en efecto, producir virutas fluyentes o continuas, que se separan formando una especie de cinta continua, replegándose en forma de hélice; o de viruta troceada (discontinua) que se separa de la pieza en forma de pequeños segmentos que saltan al contacto con la cara de desprendimiento.

Ángulo de incidencia α .

Es el ángulo comprendido entre el dorso de la herramienta y la superficie trabajada de la pieza o su tangente, y tiene la misión de evitar el roce entre el talón de la herramienta y la parte de la pieza ya mecanizada. En efecto, mientras el filo arranca viruta, está comprimiendo la parte de pieza situada bajo su influencia, apenas ha sobrepasado el filo, el material libre ya de la fuerza de compresión, tiende a dilatarse nuevamente por efecto de su propia elasticidad (recuperación elástica); si dicho ángulo fuese nulo, el dorso o talón de la herramienta rozaría con la superficie de la pieza incrementándose dicho roce con el desgaste y provocando un calentamiento progresivamente mayor. Para evitar este inconveniente, todos los tipos de herramientas deben siempre presentar un ángulo de incidencia real positivo.

➤ **Valores de los Ángulos en el Arranque de la Viruta.**

En el afilado de las herramientas de corte simple o monofilas de acero al carbono y de acero rápido, es necesario controlar los ángulos de incidencia y de salida de viruta (desprendimiento), de acuerdo con el material que se vaya a mecanizar. Estos valores

son recomendaciones de las casas fabricantes y cumplen una función orientativa.

En el cuadro siguiente se presentan algunos valores de herramientas de acero rápido y de metal duro, con el ánimo de diferenciar sus valores.

Tabla # 5
VALORES DE LOS ÁNGULOS EN EL ARRANQUE DE VIRUTA

MATERIAL A MECANIZAR	MATERIAL DE LA HERRAMIENTA			
	Acero Rápido		Metal Duro	
	Incidencia	S de viruta	Incidencia	S de viruta
Acero al carbono R = 50 Kg/mm ²	6°	25°	***	***
Acero al carbono R = 60 Kg/mm ²	6°	20°	5°	12°
Acero al carbono R = 70 Kg/mm ²	6°	15°	5°	10°
Acero al carbono R = 80 Kg/mm ²	6°	10°	5°	10°
Fundición gris 140 HB	8°	15°	7°	10°
Fundición gris 180 HB	6°	10°	6°	8°
Bronce duro, Latón agrio	8°	5°	7°	10°
Aluminio, Cobre	10°	30°	8°	15°
Latón en barra	8°	20°	7°	10°

➤ **Materiales para Herramienta.**

La elección del material para fabricar una herramienta constituye uno de los problemas más delicados en la determinación de un proceso de mecanizado. Existen, en efecto, muchísimas variedades de materiales para herramientas cuyas características

no siempre resultan bien precisas y cuyos resultados pueden ser muy distintos, si las condiciones de trabajo o de empleo no son las apropiadas.

- **Requisitos de los materiales para herramienta.**

Naturalmente, los factores que interviene en la elección del material a utilizar son de distinta índole, tanto técnica como económica.

Como el tipo de material está estrechamente ligado a la velocidad de corte a adoptar, siendo esta a su vez determinante de la temperatura a que se someterá la herramienta, ello determina una correspondencia entre materiales y tiempos de mecanizado.

Por otra parte, los materiales para herramientas que permitan velocidades mayores, y por tanto, tiempo menor, tienen un costo superior. Este parámetro debe entrar por lo tanto, en el cálculo de la conveniencia económica de utilización de uno u otro tipo de herramienta, como asimismo, deben considerarse las características de las máquinas utilizadas.

- **Tipos de Materiales para Herramientas.**

Los materiales actualmente utilizados para herramientas son los siguientes:

- a) Aceros al carbono y especiales.
- b) Aceros rápidos.
- c) Aleaciones duras no ferrosas (estelitas).
- d) Carburo metálicos(metal duro).
- e) Carburo metálicos especiales(grano micrométrico y “fundidos”).
- f) Carburos metálicos recubiertos.
- g) Materiales cerámicos.
- h) Nitruro de boro cúbico.
- i) Diamantes naturales.
- j) Diamantes sinterizado policristalinos.

1.5. Mecánica del Corte Ortogonal.

En la vida real el proceso de corte es tridimensional (oblicuo) pero para entender el concepto se propone un modelo bidimensional llamado de corte ortogonal.

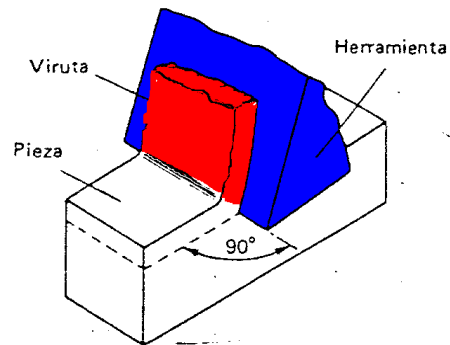


Figura 1.4 MODELO DE CORTE ORTOGONAL

En este modelo las fuerzas que actúan en la viruta son:

F_s = resistencia al corte y actúa sobre la línea del plano de corte.

F_n = Fuerza normal al plano de corte; es la resistencia la pieza o el material.

N = fuerza que ofrece la herramienta de corte y actúa sobre la viruta, normal a la cara de corte.

F =fuerza de fricción de la herramienta actuando sobre el metal actúa en contra del movimiento de la viruta sobre la cara de la herramienta.

A continuación se muestra un diagrama de cuerpo libre con las fuerza actuantes.

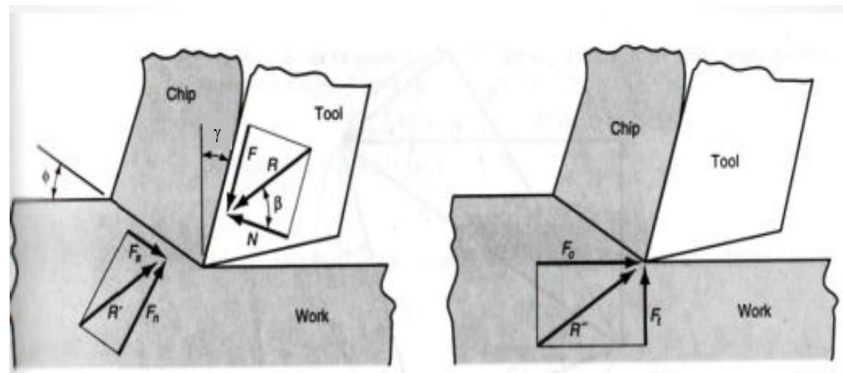


Figura 1.5 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE EN LA VIRUTA

Como se puede ver, existe un equilibrio entre las dos fuerzas resultantes ($R=R'$) así 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 . La fuerza de la herramienta sobre la viruta son F y N . Estas fuerzas se pueden relacionar con las fuerzas necesarias en la herramienta F_t y F_c , siendo la primera, la fuerza de empuje en dirección de la velocidad de corte y a la superficie de trabajo, y la segunda la fuerza de corte en dirección de la velocidad de corte. Por medio del método de superposición, aplicado a los triángulos de fuerzas vistos en la figura anterior. 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 en la herramienta.

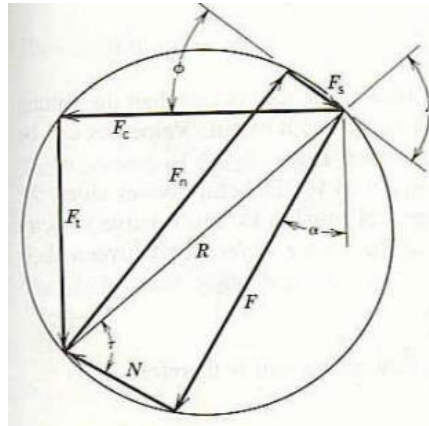


Figura 1.6 RELACIÓN ENTRE LAS FUERZAS DE CORTE

Obteniendo así que:

$$F_t = F \cos(\tau - \gamma)$$

$$F_n = F \sin(\tau - \gamma)$$

$$F_s = F \cos(\phi + \tau - \gamma) = F_t \sec(\tau - \gamma) \cos(\phi + \tau - \gamma)$$

$$F_{sn} = F \sin(\phi + \tau - \gamma) = F_t \sec(\tau - \gamma) \sin(\phi + \tau - \gamma)$$

$$F_v = F \sin \tau = F_t \sec(\tau - \gamma) \sin \tau$$

$$F_{vn} = F \cos \tau = F_t \sec(\tau - \gamma) \cos \tau$$

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

Donde μ es el coeficiente de fricción y τ es el ángulo de fricción.

CAPÍTULO 2

2. Parámetros a Analizar.

A continuación se presentarán los diferentes criterios de desgaste con los cuales se puede analizar la duración de la herramienta de corte, estos criterios se analizarán con diferentes parámetros, que están especificados según el tipo de inserto a utilizar en la experimentación.

2.1. Desgaste de la herramienta.

La duración o vida de las herramientas de corte es un factor económico muy importante en el corte de metales. En operaciones de desbaste, los ángulos de la herramienta, las velocidades de corte y los avances se escogen de tal forma que se obtenga una duración económica de la herramienta.

Las condiciones para las cuales se obtienen una vida relativamente corta de la herramienta son antieconómicas porque los costos de reafilado o de reemplazo de la herramienta son comparativamente altos. Por otra parte usar velocidades y avances muy pequeños con los que se obtendría una gran duración de la herramienta es igualmente antieconómico en razón de la baja productividad.

La vida de una herramienta de corte puede llegar a su fin por varias causas, pero éstas pueden ser separadas por dos grandes grupos:

- El desgaste gradual o progresivo de ciertas regiones en la cara y en el flanco de la herramienta.
- Fallas mecánicas que lleven la vida de la herramienta a un final prematuro.

➤ **Formas de Desgaste en el Corte de Metales.**

- ✓ Desgaste en la cara, caracterizado por la formación de un cráter, el cual es el resultado de la acción de la viruta al fluir o deslizarse a lo largo de la cara.

El cráter formado en la cara de la herramienta se ajusta a la forma de la viruta y está limitado al área de contacto entre la viruta y superficie de ataque de la herramienta, además la zona adyacente al filo, en donde se presentan la fricción adhesiva o de recrecimiento del filo, se desgasta poco (ver figura 2.1).

El cráter se forma especialmente en los mecanizados a alta velocidad sobre los carburos o metales duros por efectos de adhesión y difusión.

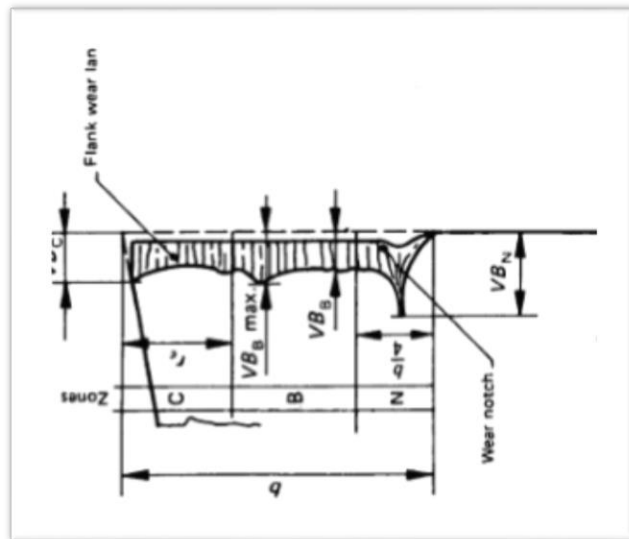


Figura 2.1 DESGASTE DE FLANCO

- ✓ Desgaste en el flanco, en donde se forma una zona de desgaste a causa del rozamiento entre la superficie de incidencia de la herramienta y la superficie generada en la pieza.

El desgaste de flanco de una herramienta de corte es ocasionado por la fricción entre la superficie producida en la pieza y el área del flanco en contacto con ella. En razón de la rigidez de la pieza, el área desgastada, conocida como la zona de desgaste de flanco, debe ser paralela a la dirección de corte resultante. El ancho de la zona de desgaste generalmente se considera como una medida de desgaste y puede ser determinado fácilmente por medio de un microscopio (ver figura 2.2).

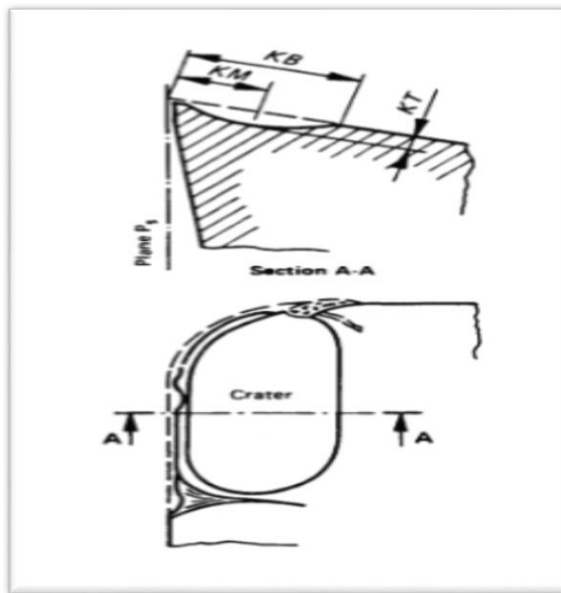


Figura 2.2 DESGASTE DE CRÁTER

➤ **Causas del Desgaste.**

Varias son las causas del desgaste de la herramienta, por efecto combinado de la velocidad de corte y de la temperatura.

Se enumeran a continuación las varias causas de desgaste, con la advertencia de que en función de las diversas condiciones de corte y operación, pueden prevalecer unas u otras.

- ✓ Abrasión mecánica
- ✓ Adhesión
- ✓ Difusión
- ✓ Acción química y electrolítica

2.2. Criterios para Determinar la Vida de la Herramienta.

Los valores de la velocidad de corte se eligen en función de la duración de la herramienta. Para ello hay que establecer los criterios para la determinación de la duración o vida, que sirvan de guía en la utilización de las herramientas en función de su desgaste.

La duración de la herramienta puede ser definida con la ayuda de estos criterios, entre los cuales se mencionan:

➤ Destrucción Total del Filo.

Con esta condición, la herramienta no puede trabajar más, si antes no se afila de nuevo; el criterio es aplicable a herramientas de acero rápido y a máquinas no automáticas.

➤ **Dimensiones Preestablecidas de la Franja de Desgaste y del Cráter.**

Con el aumento de la anchura de la franja de desgaste VB, aparecen modificaciones en las dimensiones de la pieza mecanizada; por ello en las máquinas automáticas, especialmente- las utilizadas para acabados, el valor de esta franja de desgaste asume una importancia notable: un aumento sensible de su valor determina alteraciones en las dimensiones de las piezas y la pérdida de la tolerancia. También la profundidad del cráter KT no debe superar un cierto valor máximo admisible.

➤ **Acabado Superficial de la Pieza Mecanizada.**

Las variaciones de calidad superficial de la pieza indican un deterioro de la herramienta; aunque la aplicación de este criterio no es fácil, ya que el acabado superficial de la pieza no varía uniformemente con el desgaste de la herramienta por lo cual este criterio no fue utilizado en esta tesina.

2.3. Velocidad de Corte y su Relación con Diversos Parámetros de Mecanizado.

La velocidad de corte es un parámetro muy importante en el arranque de viruta, porque con ella se relacionan tanto la duración de la herramienta como el tiempo de mecanizado y también el grado de acabado superficial de la pieza.

Los factores que inciden sobre la elección de la velocidad de corte son numerosos y se relacionan con las propias características de maquinabilidad de los materiales.

Entre estos factores figuran:

- ✓ Características del material a mecanizar.
- ✓ Material de la herramienta.
- ✓ Forma, geometría y perfección del afilado de la herramienta.
- ✓ Condiciones de lubricación y refrigeración.
- ✓ Tipo de mecanizado y grado de acabado superficial requerido por la pieza.

2.4. Ecuaciones de Taylor.

Esta teoría se basa en el cálculo de la velocidad de corte para una duración establecida de la herramienta entre dos afilados consecutivos Taylor para ello realiza una serie sistemática de ensayos, haciendo intervenir en los mismos, doce parámetros de corte, entre los que se encuentran: las condiciones de corte (velocidad de corte, avance, profundidad de pasada, etc.); la geometría de la herramienta (ángulo de situación principal, ángulo de desprendimiento normal, ángulo de caída de filo, radio de redondeamiento, etc.); la calidad del material de la herramienta y pieza; el criterio de duración o vida de la herramienta (desgaste frontal de la cara de incidencia, profundidad de cráter de la cara de desprendimiento, tolerancias de la pieza, etc.); y condiciones de trabajo, como el refrigerante utilizado, medios de fijación de la pieza, potencia y estado de la máquina, tipo de máquina, tipo de operación, etc.

La ecuación que determinó fue:

$$V = C_v P^{-p} A^{-a} T^{-n}$$

p: profundidad de pasada

a : avance

En esta tesina se utilizará la ecuación simplificada porque se acerca más a la realidad de trabajo, ya que lo únicos parámetros que se consideran variables son: profundidad, avance, calidad de herramienta, etc. como se puede observar en la explicación de cada parámetro de la fórmula.

$$VT^n = C$$

n: depende del material de la herramienta y pieza.

C: es una constante que engloba todos los factores que han permanecido fijos durante el ensayo, por tanto, dependerá del avance, penetración, geometría y calidad de la herramienta, calidad del material a trabajar, condiciones de trabajo, criterio de desgaste, etc.

Expresa la velocidad de corte para una duración de la herramienta de 1min. y para los valores fijados en el ensayo.

2.5. Selección del Criterio de Desgaste.

El desgaste progresivo de una herramienta tiene lugar en dos formas distintas:

1. Desgaste de cráter, caracterizado por la formación de un cráter, el cual es el resultado de la acción de la viruta al fluir o deslizarse a lo largo de la cara.
2. Desgaste en el flanco, en donde se forma una zona de desgaste a causa del rozamiento entre la herramienta y la superficie generada en la pieza.

El criterio seleccionado a trabajar en esta tesina es el desgaste de flanco y desgaste en la cara o cráter. Según la norma ANSI/ASME B94.55M 1985 para ensayos de vida de herramienta de una sola punta de torneado, en el inciso 7.1.2 establece que una herramienta de corte para considerarla inservible el desgaste de flanco debe tener un valor de 0,3 mm bajo condiciones de desgaste uniforme en caso contrario se debe tener cuenta un máximo de 0,6 mm y la profundidad de cráter KT que esta dado mediante la siguiente fórmula:

$$KT = 0.06 + 0.3f$$

2.5.1. Justificación del Criterio Seleccionado.

Este criterio se seleccionó en base a los equipos con los cuales se cuenta en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP), procediendo así a utilizar el microscopio existente en el laboratorio LEMAT, en el cual se va poder medir el desgaste de flanco y cráter de la herramienta respectiva y así realizar los cálculos pertinentes con los cuales se obtendrán las diferentes graficas y tablas del siguiente capítulo.

2.6. Selección del Tipo de Inserto a Utilizar.

La selección del tipo de inserto se la hizo en base al portaherramientas existente en el Campo Avanzado de Mecanización y Prototipos (Campro) la cual es PTGNR 2020K 16, el catálogo de SANDVIK y el material a mecanizar SAE 1018.

Debido a que el material a mecanizar se trata de un acero con contenido de carbono de 0.18, se escoge el inserto de clasificación P que se aplica para el maquinado de materiales de viruta larga entre ellos el acero, y dentro de esta clasificación se escoge la que es para

acero no aleado con porcentaje de carbono entre 0.1% - 0.25%, y dureza Brinell 125 HB según el catálogo de SANDVIK.

El inserto seleccionado en base a los diferentes parámetros dichos anteriormente es:

TNMG160404PF4215

T: un inserto triangular

N: ángulo de incidencia 0°

M: tolerancia ± 0.13

G: filos ambos lados

16 longitudes de arista de corte (mm)

0.4 espesor de la plaquita (mm)

0.4 radio de punta

PF4215 por la clasificación destinada a los aceros con condiciones medias de mecanizado.

TNMG160408PM4225.

T: un inserto triangular

N: ángulo de incidencia 0°

M: tolerancia ± 0.13

G: filos ambos lados

16 longitudes de arista de corte (mm)

0.4 espesor de la plaquita (mm)

0.8 radio de punta

PM4225 por la clasificación destinada a los aceros con condiciones medias de mecanizado, es un inserto muy utilizado.

2.6.1. Justificación de los insertos seleccionados.

El inserto escogido es en base al portaherramientas existente en el Campo Avanzado de Mecanización y Prototipos (Campro) y al catálogo SANDVIK, las especificaciones del inserto son las siguientes:

TNMG160404PF4215.

GC4215 (HC)-P15: Calidad de metal duro con recubrimiento por 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 ¹.

TNMG160408PM4225.

GC4225 (HC)-P25.

La calidad de metal recubierto de CVD se utiliza para operaciones que van desde el acabado hasta el desgaste, incluyendo la fundición de acero. Presenta un sustrato de dureza y tenacidad optimizadas para el torneado de acero, en combinación con un grueso recubrimiento resistente al

¹ Catálogo de SANDVIK pág. 423

desgaste. Esta calidad puede hacer frente a cortes continuos e intermitentes a elevadas velocidades de arranque de metal ².

➤ **Parámetros de Corte para los Insertos Seleccionados.**

Los parámetros a utilizar en este proceso de torneado, en la realización de la tesina, son los que se nombran a continuación respectivamente para cada plaquita:

Inserto TNMG160404PF4215.

Según el catálogo SANDVIK proveedor de los insertos, los valores establecidos como mínimos y máximos, de los diferentes parámetros de corte bajo los cuales se puede trabajar son los siguientes.

² Catálogo de SANDVIK pág. 423

Tabla 6
PARÁMETROS DE CORTE PARA INSERTO
TNMG160404PF4215

Parámetros inserto 4215			
	Velocidad de corte(m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad(mm)
Mínima	415	0,07	0,25
Máxima	575	0,3	1,5
Recomendada	515	0,15	0,4

Inserto TNMG160408PM4225.

Según el catálogo SANDVIK proveedor de los insertos, los valores establecidos como mínimos y máximos, de los diferentes parámetros de corte bajo los cuales se puede trabajar, son los siguientes:

Tabla 7
Parámetros de corte para inserto TNMG160408PM4225

Parámetros inserto 4225			
	Velocidad de corte(m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad(mm)
Mínima	245	0,15	0,5
Máxima	425	0,5	5
Recomendada	345	0,3	3

CAPÍTULO 3

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Los resultados que se detallarán a continuación son los realizados según los diferentes criterios de desgaste especificados en el capítulo 2 como son el desgaste de flanco y de cráter. Estos datos fueron obtenidos en el Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales (LEMAT) mediante el microscopio electrónico de barrido. Antes de proceder a ver los resultados se dará una explicación del procedimiento realizado para llegar a estas tablas de datos.

Procedimiento experimental.

La siguiente tesina se realizó con los siguiente componentes: un árbol SAE 1018 con las siguientes dimensiones $\varnothing=110$ mm y

L=300 mm y dos inserto TNMG160408PM4225 y TNMG160404PF4215, el procedimiento es el siguiente:

- Se tomó el árbol y como primer paso se lo dejó listo para mecanizar con cada inserto a utilizar.

Lo que se realizó en el árbol fue: refrentado, cilindrado y se lo dejó sin imperfecciones para tener una buena estabilidad al mecanizarlo.

- Una vez con el árbol sin imperfección y listo para trabajar se colocó entre puntos en el torno CNC del laboratorio CAMPRO y se puso el inserto respectivo.
- Se realizó una pasada completa con cada inserto, tomando como datos el tiempo de mecanización con los diferentes parámetros seleccionados como: velocidad de corte, profundidad y avance.

Estos parámetros fueron variando uno por uno de una forma uniforme entre los valores mínimos y máximos dado por el catálogo SANDVIK, mientras los restantes se mantenían constantes,

realizando así 5 pasadas para cada filo. Los valores referenciales se tomaron en base a la Tabla 6 y 7(Ver Capítulo 2), la cual proporciona los datos de Velocidad de Corte, Avance y Profundidad de pasada recomendados por el fabricante.

El programa con el cual se realizó la mecanización se encuentra en los anexos.

- Después de cada pasada se retiraba el inserto del portaherramientas y se lo llevaba hasta el laboratorio LEMAT para realizar las respectivas mediciones del desgaste producido en el proceso de mecanización.

El proceso de medición en el LEMAT fue realizado en el microscopio electrónico de barrido con la ayuda de una base que fue diseñada en el CAMPRO e impreso en la máquina de prototipo rápido para poder obtener una medición perfecta, puesto que para el desgaste de flanco se tenía que poner el inserto en forma vertical y de esta manera era imposible obtener una imagen de desgaste por lo cual se requirió de dicha base.

El desgaste de cráter se lo midió en dos ocasiones, pero en vista que los resultados eran insignificante en relación al desgaste de flanco, se realizó la tesina en base al último nombrado.

El microscopio electrónico de barrido 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 la base de la cámara de vacío del microscopio, en donde es escaneado 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 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 y evitar descargas de altas tensión en el cañón electrónico.

3.1. Curvas para el inserto TNMG160408PM4225.

Las gráficas que se mostrarán a continuación son las realizadas en base de las diferentes tablas que posteriormente se analizará en la parte 3.4, en estas curvas se podrá analizar la forma en que se produjo el desgaste en cada filo de los insertos.

3.1.1. Gráfica Velocidad de Corte vs Tiempo de Vida.

La siguiente gráfica se realizó en base de la siguiente tabla en escala logarítmica.

Tabla 8

**VELOCIDAD DE CORTE Y TIEMPO DE MECANIZACIÓN EN
ESCALA LOGARÍTMICA PARA ECUACIÓN DE TAYLOR FILO
1 INFERIOR 4225**

Velocidad de Corte[log Vc]	Tiempo de Mecanizado[logt]
2.38	-0.45
2.47	-0.556
2.54	-0.707
2.63	-0.718
2.707	-0.7825

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

$$k = \frac{-0.718 + 0.56}{2.63 - 2.47}$$

$$k = \frac{-0.16}{0.16}$$

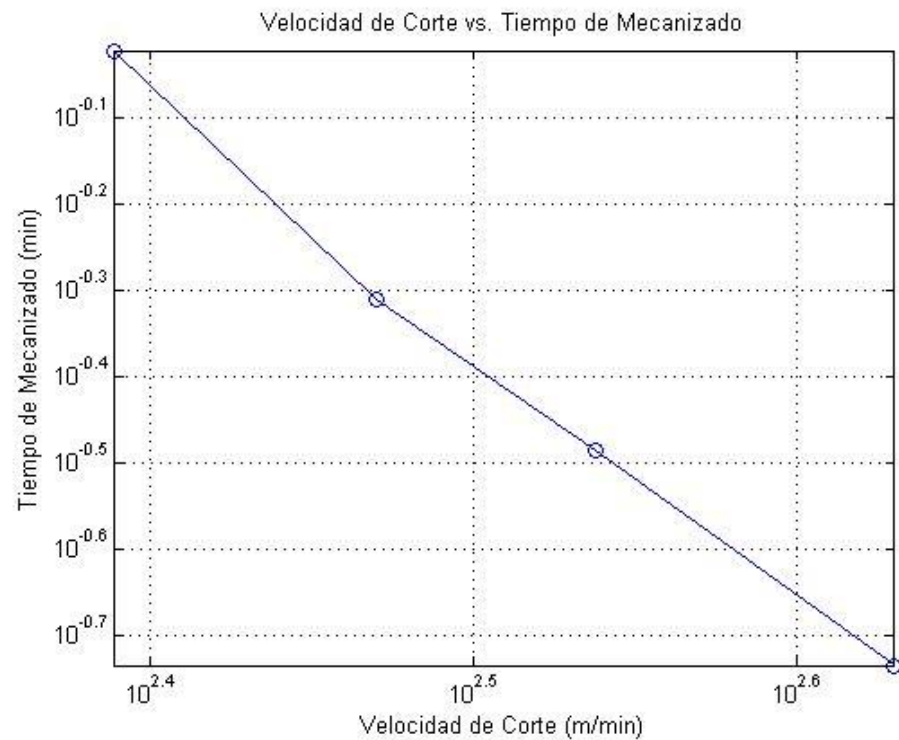
$$k = -1$$

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

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

$$(510) \cdot (1)^{-\frac{1}{-1}} = C$$

$$C = 510 \text{ m/min}$$



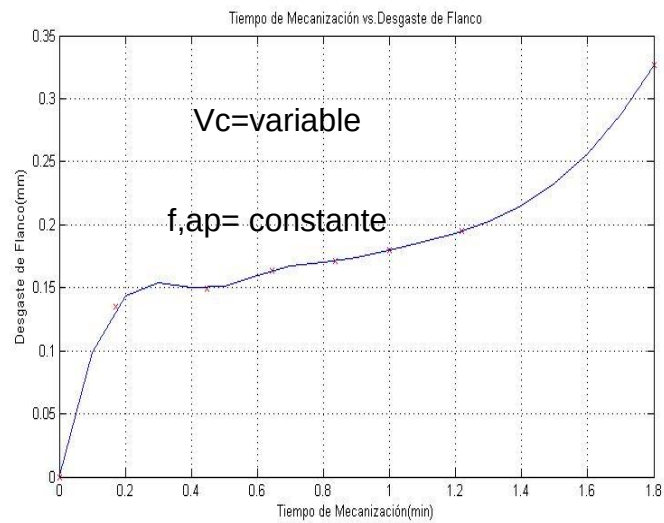
Gráfica 3.1 VELOCIDAD DE CORTE VS TIEMPO DE MECANIZADO

3.1.2. Gráfica Profundidad de Corte vs. Tiempo de Vida.

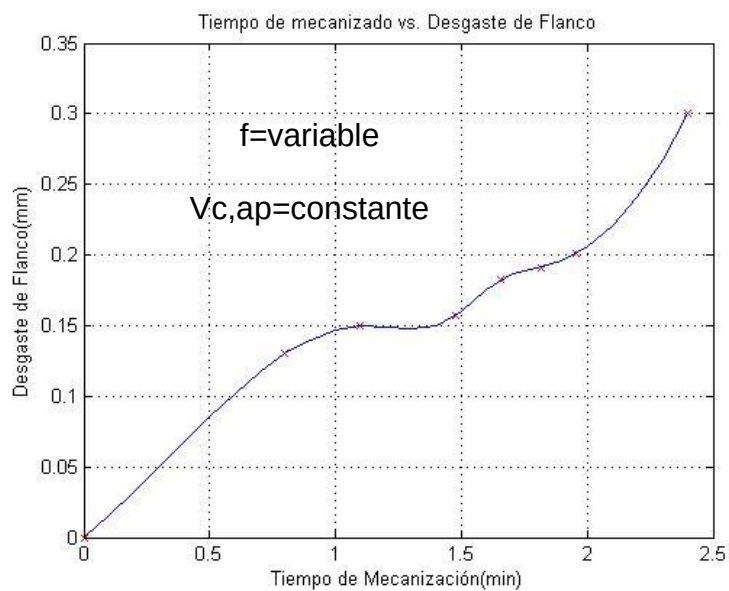
En la experimentación se realizó cambios de la profundidad para observar como esto afecta en el tiempo de vida útil de un inserto, a continuación tenemos las gráficas, se analizará y concluirá de acuerdo a estos gráficos en los siguientes capítulos.

3.1.3. Gráfica Ancho de la Zona del Desgaste de Flanco vs. Tiempo de Corte.

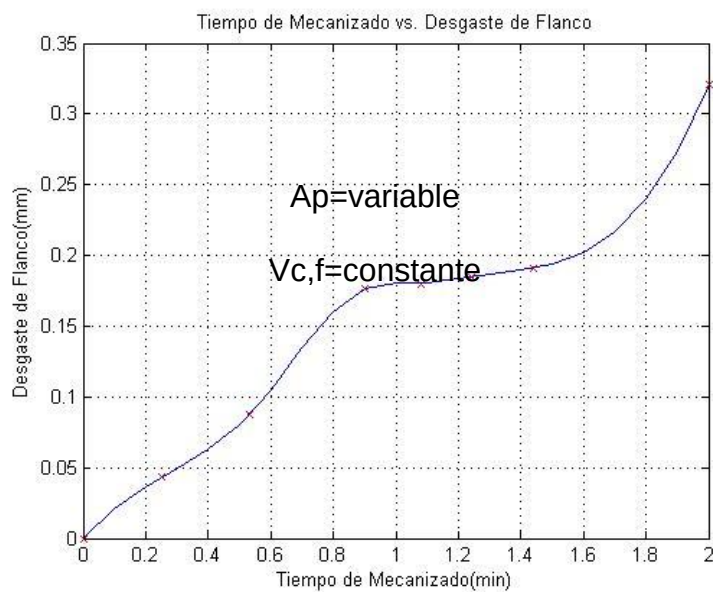
Las siguientes gráficas son obtenidas en base de las tablas del inciso 3.4 de este capítulo.



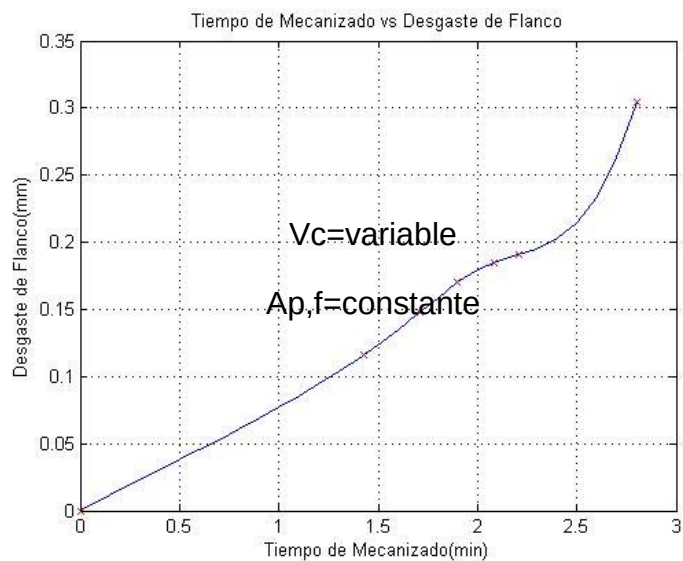
Gráfica 3.2 FILO 1 INSERTO TNMG160408PM4225



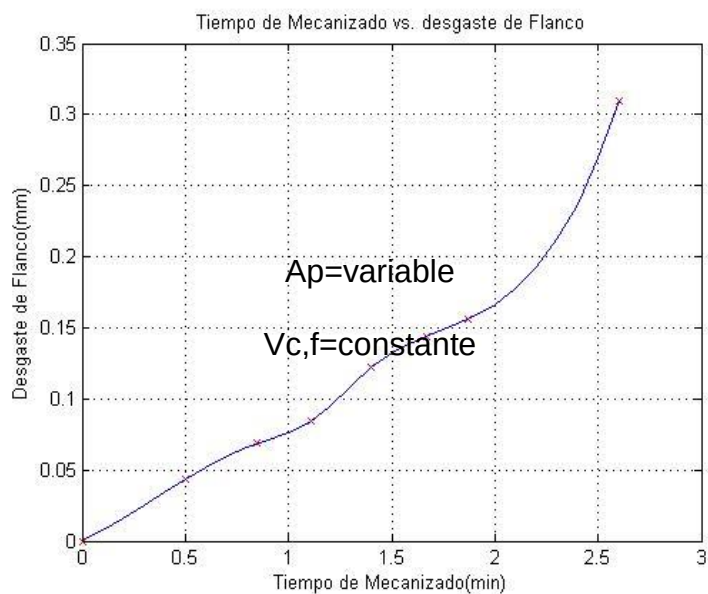
Gráfica 3.3 FILO 2 INSERTO TNMG160408PM4225



Gráfica 3.4 FILO 3 INSERTO TNMG160408PM4225



Gráfica 3.5 FILO 1 INFERIOR INSERTO TNMG160408PM4225



Gráfica 3.6 FILO #3 INFERIOR INSERTO TNMG160408PM4225

A continuación se procederá a mostrar la superposición de las gráficas con las cuales se trabajaron con los mismos parámetros de mecanización, y poder observar si existe similitud o diferencias entre ellas lo cual será analizado en el siguiente capítulo.

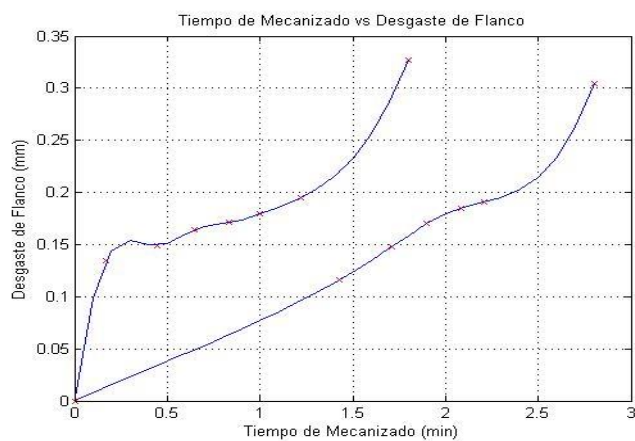
Filo # 1 y Filo # 1 inferior.

En esta gráfica se trabaja con los siguientes parámetros.

Velocidad de corte=245-425 m/min.

Profundidad= 3 mm

Avance =0,3 mm/rev



Gráfica 3.7 SUPERPUESTA FILO # 1 SUPERIOR E INFERIOR

INSERTO 4225

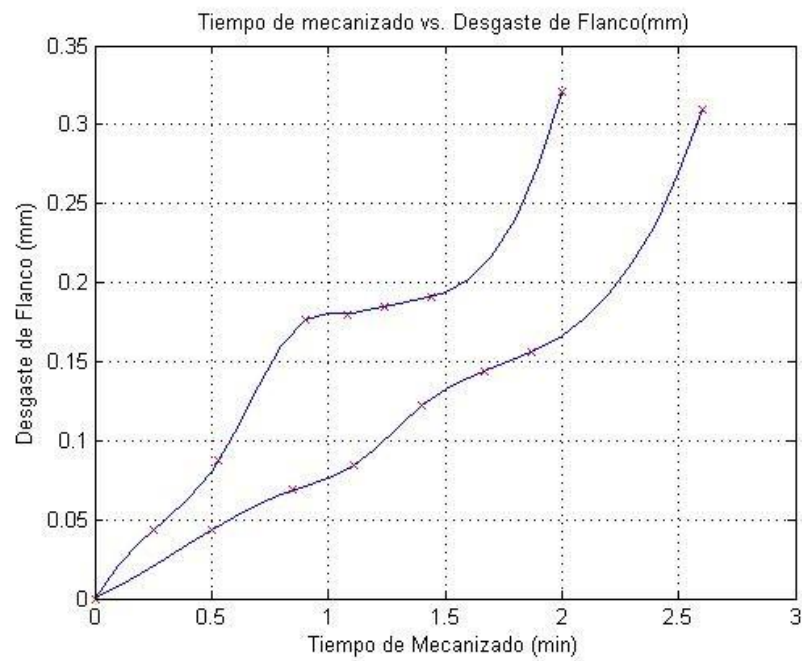
Filo # 3 y Filo # 3 inferior.

En esta gráfica se trabaja con los siguientes parámetros.

Velocidad de corte= 345 m/min.

Profundidad= 3 mm.

Avance = 0,15 - 0,5 mm/rev.



Gráfica 3.8 Superpuesta Filo 3 Superior e Inferior Inserto 4225

3.2. Curvas para el Inserto TNMG160408PF4215.

Las gráficas que se mostrarán a continuación son las realizadas en base de las diferentes tablas que posteriormente se analizará en la parte 3.4, en estas curvas se podrá analizar la forma en que se produjo el desgaste en cada filo de los insertos.

3.2.1. Gráfica Velocidad de Corte vs Tiempo de vida.

La siguiente gráfica se realizó en base de la siguiente tabla en escala logarítmica.

Tabla # 9
VELOCIDAD DE CORTE Y TIEMPO DE MECANIZACIÓN EN
ESCALA LOGARÍTMICA PARA ECUACIÓN DE TAYLOR FILO
1 4215

Velocidad de	Tiempo de
Corte	Mecanizado
[log Vc]	[log T]
2.477	-0.214
2.581	-0.237
2.607	-0.323

$$2.653 \quad -0.463$$

$$2.755 \quad -0.625$$

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

$$k = \frac{-0.46 + 0.23}{2.65 - 2.58}$$

$$k = \frac{-0.23}{0.07}$$

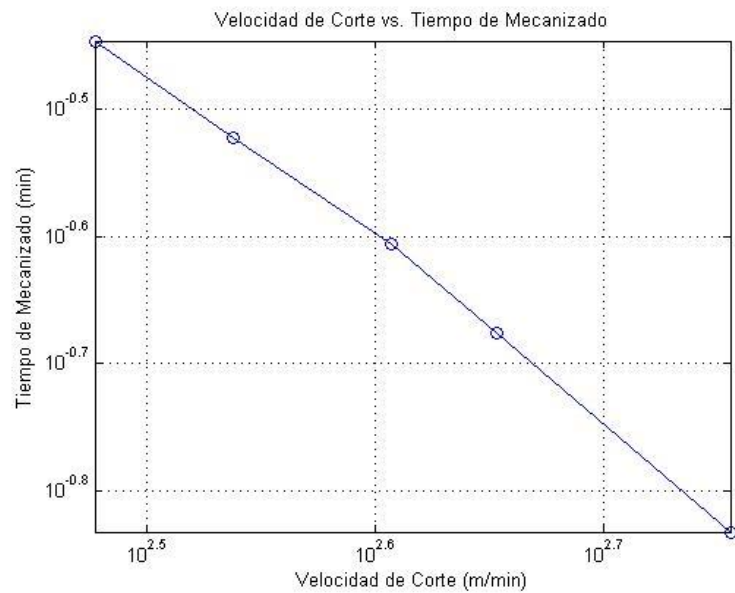
$$k = -3.28$$

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

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

$$(381.14) \cdot (1.098)^{-\frac{1}{-3.28}} = C$$

$$C = 392.16 \text{ m/min}$$



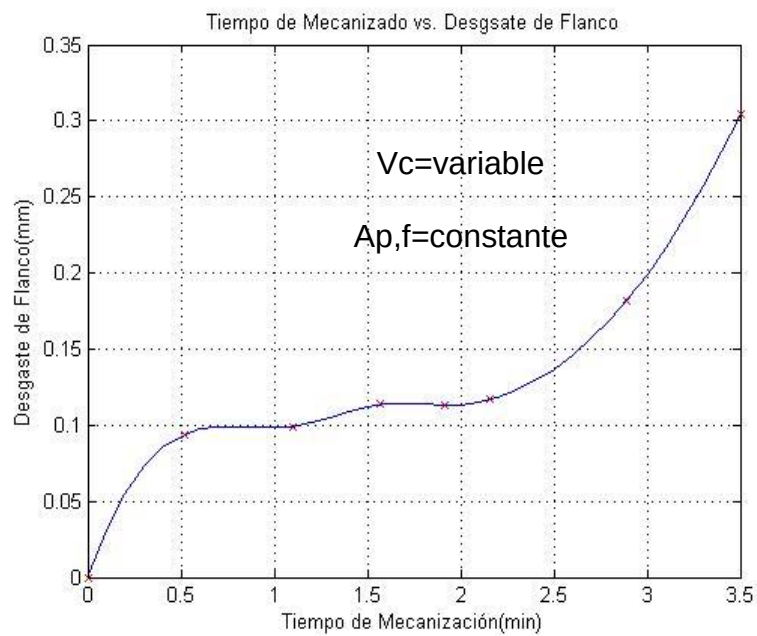
Gráfica 3.9 VELOCIDAD DE CORTE VS TIEMPO DE MECANIZADO

3.2.2. Gráfica Profundidad de Corte vs Tiempo de Vida

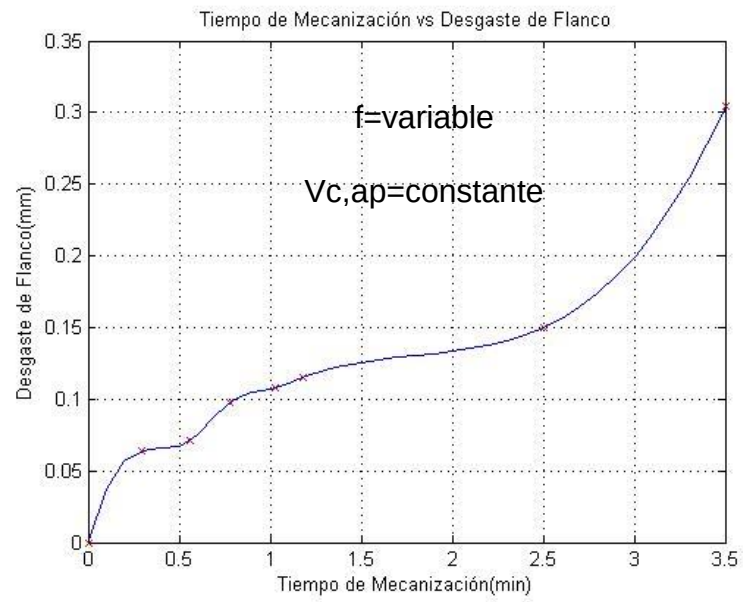
En la experimentación se realizó cambios de la profundidad para observar como esto afecta en el tiempo de vida útil de un inserto, a continuación tenemos las gráficas, se analizará y concluirá de acuerdo a estos gráficos en los siguientes capítulos.

3.2.3. Gráfica Ancho de la Zona del Desgaste de Flanco vs. Tiempo de Vida.

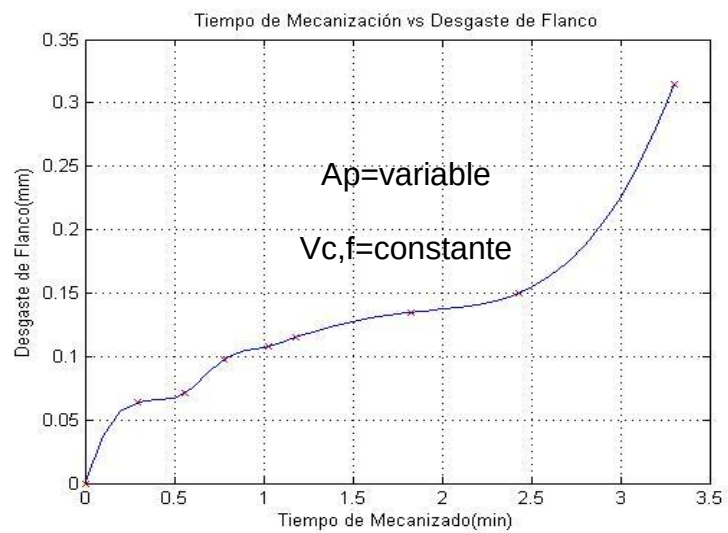
Las siguientes gráficas son obtenidas en base de las tablas del inciso 3.4 de este capítulo.



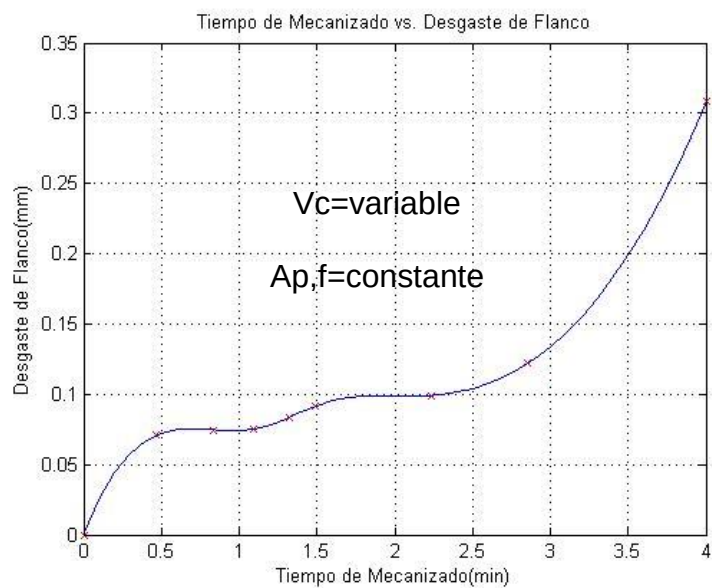
Gráfica 3.10 FILO 1 INSERTO TNMG160404PF4215



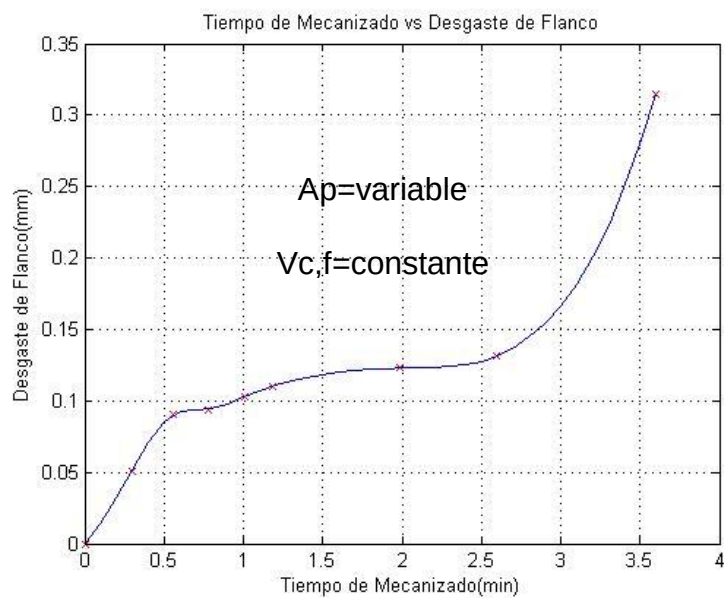
Gráfica 3.11 FILO 3 INSERTO TNMG160404PF4215



Gráfica 3.12 FILO 1 INFERIOR INSERTO TNMG160404PF4215



Gráfica 3.13 FILO 2 INFERIOR INSERTO TNMG160404PF4215



Gráfica 3.14 FILO 3 INFERIOR INSERTO TNMG160404PF4215

A continuación se procederá a mostrar la superposición de las gráficas con las cuales se trabajó con los mismos parámetros de mecanización y poder observar si existe similitud o diferencias entre ellas lo cual será analizado en el siguiente capítulo.

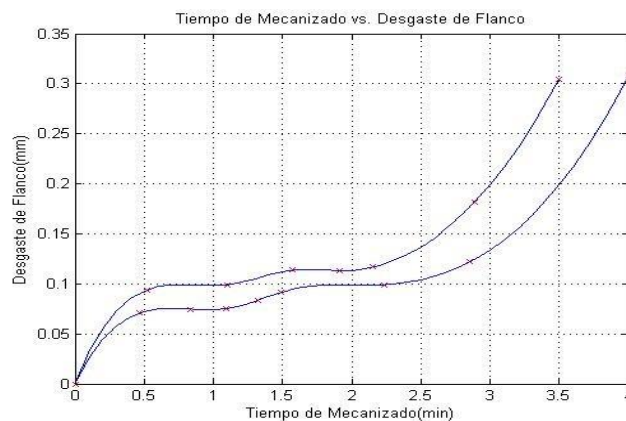
Filo # 1 y Filo # 2 inferior.

En esta gráfica se trabaja con los siguientes parámetros.

Velocidad de corte= 415 - 575 m/min.

Profundidad= 0,4 mm.

Avance = 0,15 mm/rev.



Gráfica 3.15 SUPERPUESTA FILO # 1 Y 2 INFERIOR INSERTO 4215

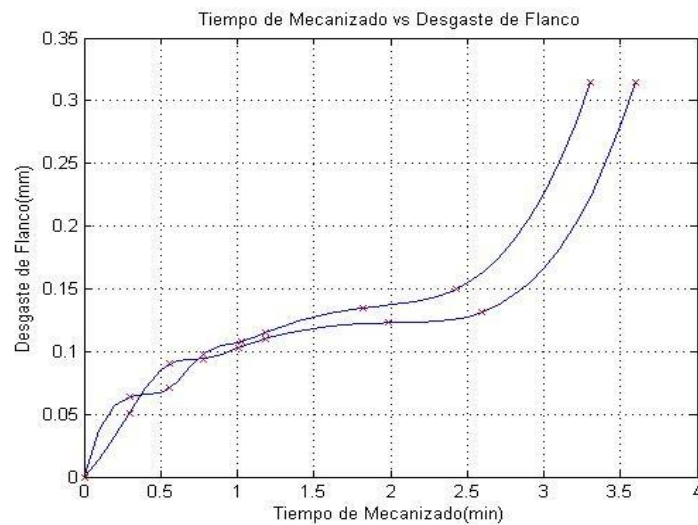
Filo # 1 inferior y Filo # 3 inferior.

En esta gráfica se trabaja con los siguientes parámetros:

Velocidad de corte= 515 m/min.

Profundidad= 0,25 – 1,5 mm.

Avance = 0,15 mm/rev.



Gráfica 3.16 SUPERPUESTA FILO # 1 Y 3 INFERIOR INSERTO 4215

3.3. Resultados Obtenido de las Ecuaciones de Taylor.

A continuación se procederá a realizar el método de regresión lineal y de mínimo cuadrado para obtener la relación de la ecuación de Taylor “C” para cada inserto.

Inserto TNMG160408PM4225.

Método mínimos cuadrados para el filo # 1:

$$y = \begin{bmatrix} 2,756 \\ 2,653 \\ 2,607 \\ 2,581 \\ 2,477 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -0,07831 \\ 1 & -0,191114 \\ 1 & -0,34872 \\ 1 & -0,76955 \end{bmatrix}$$

$$B = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T$$

$$B = \begin{bmatrix} 0,4074 & 0,3489 & 0,2646 & 0,1468 & -0,1677 \\ 0,7474 & 0,5365 & 0,2327 & -0,1917 & -1,325 \end{bmatrix}$$

$$x = B \cdot y = \begin{bmatrix} 2,7017 \\ 0,3133 \end{bmatrix}$$

De donde:

$$0.3133 = \zeta = -\frac{1}{n}$$

$$n = -3.192$$

$$2,7017 = \log C$$

$$C = 503,15 \text{ m/min}$$

Regresión lineal para el filo # 1:

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

$$\text{Número de Experimentaciones: } n = 5$$

$$(\sum x)^2 = 34,231$$

$$\sum x \cdot \sum y = -18,14$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{13,075}{5} = 2.615$$

$$a = \bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{-1,3877}{5} = -0,2775$$

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

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

$$k = \frac{-3,5124 - \frac{-18,14}{5}}{34,231 - \frac{170,96}{5}}$$

$$k = 2,82$$

$$-\frac{1}{k} = 0,3546$$

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

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

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

$$\log C = \bar{x} - \frac{\bar{y}}{k}$$

$$\log C = 2,615 - (-0,0984)$$

$$C = 10^{2,7134} = 516,89 \text{ m/min.}$$

Como se puede observar los valores en los que varia C en los diferentes métodos no son tan significativos por lo cual se puede decir que la constante de Taylor esta alrededor de los 510,02 m/min. el cual es un promedio de dicho valores.

Inserto TNMG160404PF4215.

Método mínimos cuadrados para el filo # 1:

$$y = \begin{bmatrix} 2,756 \\ 2,653 \\ 2,607 \\ 2,581 \\ 2,477 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0,333 \\ 1 & 0,282 \\ 1 & 0,196 \\ 1 & 0,041 \\ 1 & -0,285 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0,099 & 0,122 & 0,162 & 0,233 & 0,3828 \\ 0,885 & 0,681 & 0,334 & -0,293 & -1,608 \end{bmatrix}$$

$$B = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T$$

$$x = B \cdot y = \begin{bmatrix} 2,573 \\ 0,3792 \end{bmatrix}$$

De donde:

$$2,573 = \zeta = -\frac{1}{n}$$

$$n = -0,388$$

$$2,587 = \log C$$

$$C = 386,91 \text{ m/min}$$

Método regresión lineal para el filo # 1.

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

$$\text{Número de Experimentaciones: } n = 5$$

$$(\Sigma x)^2 = 34,231$$

$$\Sigma x. \Sigma y = 7,42$$

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{13,075}{5} = 2,615$$

$$a = \bar{y} = \frac{\Sigma y}{n} = \frac{0,5675}{5} = 0,114$$

De acuerdo a la Norma ANSI/ASME B94.55M – 1985. La pendiente k viene dada por la ecuación:³

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

$$k = \frac{1,578 - \frac{7,42}{5}}{34,231 - \frac{170,96}{5}}$$

$$k = 2,41$$

$$-\frac{1}{k} = 0,41$$

Para determinar el valor de la constante C la norma ANSI/ASME B94.55M – 1985 hace uso de la siguiente ecuación:⁴

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

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

$$\log C = \bar{x} - \frac{\bar{y}}{k}$$

³ Norma ANSI/ASME B94.55M – 1985, apéndice F 2.2 Cálculos.

⁴ Norma ANSI/ASME B94.55M – 1985, apéndice F 2.2 Cálculos.

$$\log C = 2,615 - \frac{0,114}{2,41}$$

$$C = 10^{2,568} = 369,83 \text{ m/min}$$

Método mínimos cuadrados para el filo # 2 inferior:

$$y = \begin{bmatrix} 2,756 \\ 2,653 \\ 2,607 \\ 2,581 \\ 2,477 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0,1741 \\ 1 & 0,1222 \\ 1 & 0,03862 \\ 1 & -0,0788 \\ 1 & -0,3279 \end{bmatrix}$$

$$B = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T$$

$$B = \begin{bmatrix} 0,2170 & 0,2123 & 0,2048 & 0,1942 & 0,1718 \\ 1,1820 & 0,8565 & 0,3323 & -0,4042 & -1,9664 \end{bmatrix}$$

$$x = B \cdot y = \begin{bmatrix} 2,6217 \\ 0,4817 \end{bmatrix}$$

De donde:

$$0,4817 = \zeta = -\frac{1}{n}$$

$$n = -2.079$$

$$2,6217 = \log C$$

$$C = 418,5 \text{ m/min}$$

Regresión lineal cuchilla para el filo # 2 inferior.

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

$$\text{Número de Experimentaciones: } n = 5$$

$$(\Sigma x)^2 = 34,231$$

$$\Sigma x \cdot \Sigma y = -0.939$$

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{13,075}{5} = 2.615$$

$$a = \bar{y} = \frac{\Sigma y}{n} = \frac{0,5675}{5} = 0,114$$

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

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

$$k = \frac{-0.111078 - \frac{-0.939}{5}}{34,231 - \frac{170,96}{5}}$$

$$k = 1.8712$$

$$-\frac{1}{k} = 0.533$$

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

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

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

$$\log C = \bar{x} - \frac{\bar{y}}{k}$$

$$\log C = 2,615 - (-0.0076)$$

$$C = 10^{2,623} = 419.75 \text{ m/min}$$

Como se puede observar los valores en los que varia C en los diferentes métodos no son tan significativos por lo cual se puede decir que la constante de Taylor está alrededor de los 392,16 m/min. el cual es el promedio de dichos valores.

3.4. Tabla de Resultados para Inserto TNMG160408PM4225.

Las siguientes tablas que se mostrarán son las realizadas en la experimentación, las cuales se desarrolló en base de diferentes parámetros: velocidad de corte, avance y profundidad de pasada con su respectivo desgaste, cada tabla representa un filo de corte del inserto.

Los siguientes cálculos es una representación de lo realizado para cada filo del inserto. Primero se calculaba la velocidad de corte en Rpm correspondiente a cada filo en función de los parámetros ya mencionados.

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times \emptyset}$$

$$N = \frac{1000 \times 245}{\pi \times 95,1}$$

$$N = 819,17 \text{ rpm}$$

Los demás cálculos con los cuales se completan las tablas mostradas se los realizó de igual forma, variando el diámetro conforme se vaya

maquinando, se toma de referencia los siguientes gráficos para nombrar cada una de la puntas del inserto y realizar cada tabla.

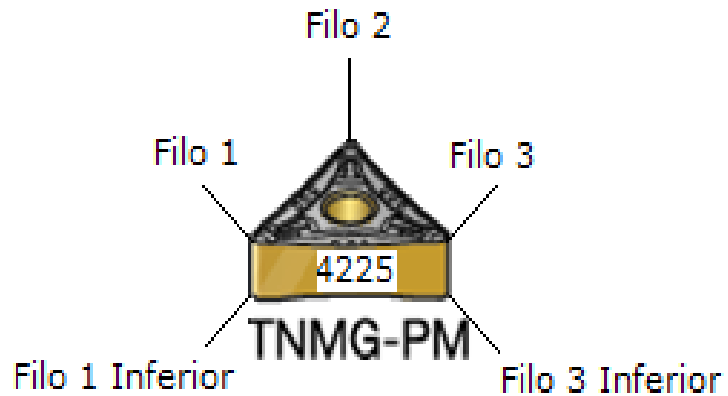


Figura 3.1 INSERTO 4225

3.4.1. Profundidad de Corte.

Las siguientes tablas se las obtuvo con las siguientes especificaciones:

Velocidad de corte= constante en 345 m/min.

Avance= constante en 0.3 mm/rev.

Profundidad= variable

Tabla 10

**RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO # 3 DE LA CUCHILLA
4225**

Número Pasadas	Velocidad de Rotación(rpm)	Tiempo Medido(min)	Desgaste de Flanco(mm)	Profundidad (mm)
1	1184,64	0,53	0,087	0,5
2	1319,91	0,37	0,177	1,7
3	1645,19	0,18	0,18	2,75
4	1906,54	0,16	0,185	3,87
5	2034,48	1,24	0,191	5

Tabla 11

**RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO # 3 INFERIOR DE LA
CUCHILLA 4225**

Número Pasadas	Velocidad de Rotación(rpm)	Tiempo Medido(min)	Desgaste de Flanco(mm)	Profundidad(mm)
1	1233,89	1,106	0,084	0,5
2	1397,16	0,224	0,132	1,7
3	1568,81	0,339	0,144	2,75
4	1886,88	0,198	0,156	3,87

3.4.2. Velocidad de Corte.

Las siguientes tablas se las obtuvo con las siguientes especificaciones:

Velocidad de corte= Variable.

Avance= constante en 0.3 mm/rev.

Profundidad= constante en 3 mm.

Tabla 12

**RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO # 1 DE LA CUCHILLA
4225**

Número Pasadas	Velocidad de Corte(m/min)	Velocidad de Rotación(rpm)	Desgaste de Flanco(mm)	Tiempo Medido(min)
1	245	819,17	0,135	0,172
2	295	1170,84	0,149	0,278
3	345	1521	0,164	0,196
4	427	2185,18	0,171	0,191
5	510	2978	0,18	0,165

Tabla 13
RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO # 1 INFERIOR DE LA
CUCHILLA 4225

Número Pasadas	Velocidad de Corte(m/min)	Velocidad de Rotación (rpm)	Desgaste de Flanco(mm)	Tiempo Medido(min)
1	245	845,83	0,116	1,425
2	295	1214,7	0,148	0,288
3	345	1702,58	0,17	0,187
4	427	2210,05	0,185	0,184
5	427	2339,38	0,191	0,126

Avance.

Esta tabla de resultados se la obtuvo con las siguientes especificaciones:

Velocidad de corte= constante en 345 m/min.

Avance= variable.

Profundidad= constante en 3 mm.

Tabla 14

**RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO # 2 DE LA CUCHILLA
4225**

Número pasadas	Velocidad de Rotación(rpm)	Avance(mm/rev)	Desgaste de Flanco(mm)	Tiempo Medido(min)
1	1170,84	0,1	0,139	1,1
2	1422,49	0,28	0,157	0,378
3	1586,94	0,325	0,183	0,178
4	1715,88	0,41	0,191	0,16
5	1500	0,5	0,201	0,142

3.4.3. Ancho de la Zona de Desgaste de Flanco.

Como se pudo observar en el proceso experimental no se logró llegar hasta el desgaste de flanco deseado 0,3 mm. esto debido a factores como: Costo de material y el hecho de que comprar otro material implicaba otros factores adicionales como un diámetro mayor al terminado y otra calidad superficial que podía afectar las mediciones anteriores, otro factor que influyó fue el dinero, debido a que cada medición en el LEMAT tenían un valor considerable.

Por lo cual se procedió a extrapolar mediante el método de pasos múltiples, para dicho método se necesita los valores de desgaste de flanco y tiempo de mecanización obtenidos en cada gráfica que a su vez fue suavizada por spline y una ecuación que se aproxima a cada gráfica la cual fue obtenida mediante una linealización en Excel.

A continuación se puede observar las tablas con el desgaste de flanco obtenido en el microscopio electrónico de barrido después de cada mecanización del material en el Torno CNC y la extrapolación respectiva para cada filo del inserto con sus tiempos de mecanización correspondiente.

El programa referente a la extrapolación de cada uno de los filos de los insertos con el cual se logra obtener el desgaste deseado se puede encontrarlos en los anexos.

Tabla 15
RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO 1
DE LA CUCHILLA 4225

Número Pasadas	Tiempo de Mecanización(min)	Desgaste de Flanco(mm)
1	0,172	0,135
2	0,448	0,149
3	0,644	0,164
4	0,835	0,171
5	1	0,18
6	1,2	0,195
7	1,8	0,3277

Tabla 16
RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO 2
DE LA CUCHILLA 4225

Número pasadas	Tiempo de Mecanización(min)	Desgaste de Flanco(mm)
1	1,1	0,139
2	1,478	0,157
3	1,656	0,183
4	1,816	0,191
5	1,958	0,201
6	2,4	0,3017

Tabla 17

**RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO 3
DE LA CUCHILLA 4225**

Número Pasadas	Tiempo de Mecanización(min)	Desgaste de Flanco(mm)
1	0,53	0,087
2	0,9	0,177
3	1,080	0,18
4	1,24	0,185
5	1,44	0,191
6	2	0,3201

Tabla 18

**RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO 1
INFERIOR DE LA CUCHILLA 4225**

Número Pasadas	Tiempo de Mecanización(min)	Desgaste de Flanco(mm)
1	1,425	0,116
2	1,713	0,148
3	1,9	0,17
4	2,084	0,185
5	2,21	0,191
6	2,8	0,3048

Tabla 19

**RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO 3
INFERIOR DE LA CUCHILLA 4225**

Número Pasadas	Tiempo de mecanización(min)	Desgaste de Flanco(mm)
1	1,106	0,084
2	1,33	0,132
3	1,669	0,144
4	1,867	0,156
5	2,1	0,2077
6	2,6	0,3091

3.5. Tablas de Resultados para Inserto TNMG160408PF4215.

Las siguientes tablas que se mostrarán son las realizadas en la experimentación, las cuales se desarrollaron en base de diferentes parámetros: velocidad de corte, avance y profundidad de pasada con su respectivo desgaste, cada tabla representa un filo de corte del inserto.

Los siguientes cálculos es una representación de lo realizado para cada filo del inserto. Primero se calculaba la velocidad de corte en Rpm correspondiente a cada filo en función de los parámetros ya mencionados.

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times \emptyset}$$

$$N = \frac{1000 \times 300}{\pi \times 90,8}$$

$$N = 1542,7 \text{ rpm}$$

Los demás cálculos con los cuales se completan las tablas mostradas se los realizó de igual forma, variando el diámetro conforme se vaya maquinando, se toma de referencia los siguientes gráficos para nombrar cada una de la puntas del inserto para realizar cada tabla y gráfico.

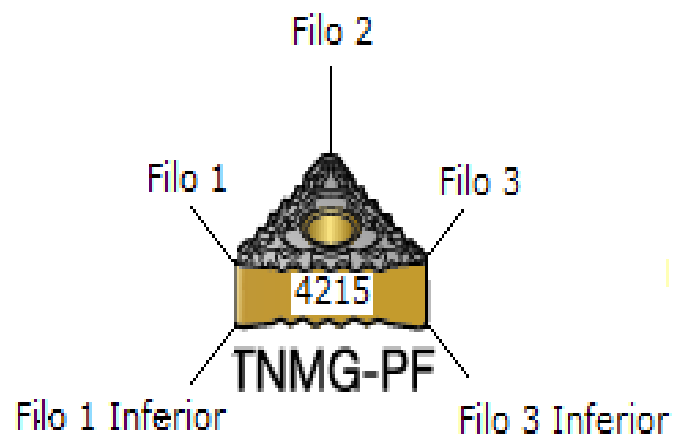


Figura 3.2 INSERTO 4215

3.5.1. Profundidad de Corte.

Las siguientes tablas de resultados se las obtuvo con las siguientes especificaciones:

Velocidad de corte= constante en 515 m/min.

Avance= constante en 0.15 mm/rev.

Profundidad= variable.

Tabla 20

**RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO 1 INFERIOR DE LA
CUCHILLA 4215**

Número pasadas	Velocidad de Rotación(rpm)	Tiempo Medido(min)	Desgaste de Flanco(mm)	Profundidad(min)
1	1825,49	0,295	0,064	0,3
2	2120,69	0,264	0,071	0,6
3	2182,81	0,22	0,098	0,9
4	2709,58	0,234	0,108	1,2
5	3104,72	0,168	0,115	1,5

Tabla 21
RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO # 3 INFERIOR DE LA
CUCHILLA 4215

Número Pasadas	Velocidad de Rotación(rpm)	Tiempo Medido(min)	Desgaste de Flanco(mm)	Profundidad(mm)
1	1071,75	0,295	0,0516	0,3
2	2128,95	0,264	0,091	0,6
3	2215,2	0,22	0,094	0,9
4	2778,76	0,234	0,1032	1,2
5	3233,32	0,168	0,11	1,5

3.5.2. Velocidad de Corte.

Las siguientes tablas de resultados se las obtuvo con las siguientes especificaciones:

Velocidad de corte= variable.

Avance= constante en 0.15 mm/rev

Profundidad= constante en 0.4 mm.

Tabla 22

**RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO # 1 DE LA CUCHILLA
4215**

Número Pasadas	Velocidad de Corte(m/min)	Velocidad de Rotación(rpm)	Desgaste de Flanco(mm)	Tiempo Medido(min)
1	300	1542,47	0,084	0,358
2	381,14	1381,78	0,099	0,375
3	405	1685,16	0,114	0,268
4	450	2325,21	0,13	0,241
5	570	3372,42	0,151	0,167

Tabla 23

**RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO # 2 INFERIOR DE LA
CUCHILLA 4215**

Número Pasadas	Velocidad de Corte(m/min)	Velocidad de Rotación(rpm)	Desgaste de Flanco (mm)	Tiempo Medido(min)
1	300	1066,96	0,071	0,47
2	381,14	1395	0,0746	0,364
3	405	1735,06	0,0749	0,259
4	450	2687,41	0,0832	0,232
5	570	3543,68	0,0916	0,168

Avance.

Esta tabla de resultados se la obtuvo con las siguientes especificaciones:

Velocidad de corte= constante en 515 m/min.

Avance= variable.

Profundidad= constante en 0.4 mm.

Tabla 24

**RESULTADOS DEL TIEMPO DE MECANIZACIÓN Y LOS DIFERENTES
PARÁMETROS DE MECANIZADO PARA EL FILO # 3 DE LA CUCHILLA
4215**

Número Pasadas	Velocidad de Rotación(rpm)	Avance(mm/rev)	Desgaste de Flanco(mm)	Tiempo Medido(min)
1	1817,4	0,07	0,061	1,003
2	1875,62	0,3	0,0707	0,329
3	2177	0,19	0,0717	0,18
4	2325,31	0,24	0,08	0,242
5	3081,3	0,3	0,0857	0,102
6	3267,51	0,35	0,12	0,49

3.5.3. Ancho de la Zona de Desgaste de Flanco.

Como se pudo observar en el proceso experimental no se logró llegar hasta el desgaste de flanco deseado 0,3 mm. esto debido a factores como: Costo de material puesto que ya se terminó y el hecho de que comprar otro material implicaba otros factores como: un diámetro mayor al terminado y otra calidad superficial que podía afectar las mediciones anteriores, otro factor que influyó fue el dinero debido a que cada medición en el LEMAT tenían un valor considerable.

Por lo cual se procedió a extrapolar mediante el método de pasos múltiples, para dicho método se necesita los valores de desgaste de flanco y tiempo de mecanización obtenidos en cada gráfica que a su vez fue suavizada por spline y una ecuación que se aproxima a cada gráfica la cual fue obtenida mediante una linealización en Excel.

A continuación se puede observar las tablas con el desgaste de flanco obtenido en el microscopio electrónico de barrido después de cada mecanización del material en el Torno CNC y

la extrapolación respectiva para cada filo del inserto con su tiempo de mecanización respectivo.

El programa referente a la extrapolación de cada uno de los filos de los insertos con el cual se logra obtener el desgaste deseado, se los puede encontrar en los anexos.

Tabla 25
RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO 1
DE LA CUCHILLA 4215

Número Pasadas	Tiempo de mecanización(min)	Desgaste de Flanco(mm)
1	0,519	0,084
2	1,098	0,099
3	1,572	0,114
4	1,916	0,13
5	2,154	0,151
6	2,889	0,182
7	3,5	0,3045

Tabla 26
RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO 3 DE LA
CUCHILLA 4215

Número Pasadas	Tiempo de mecanización(min)	Desgaste de Flanco(mm)
1	1,003	0,061
2	1,332	0,0707
3	1,512	0,0717
4	1,754	0,08
5	1,856	0,0857
6	2,346	0,12
7	3,5	0,305

Tabla 27
RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO 1
INFERIOR DE LA CUCHILLA 4215

Número pasadas	Tiempo de mecanización(min)	Desgaste de Flanco(mm)
1	0,295	0,064
2	0,559	0,071
3	0,779	0,098
4	1,013	0,108
5	1,181	0,115
6	2,581	0,15
7	3,3	0,3143

Tabla 28

**RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO 2
INFERIOR DE LA CUCHILLA 4215**

Número Pasadas	Tiempo de mecanización(min)	Desgaste de Flanco (mm)
1	0,47	0,071
2	0,834	0,0746
3	1,093	0,0749
4	1,325	0,0832
5	1,493	0,0916
6	2,853	0,122
7	4	0,3088

Tabla # 29

**RESULTADOS DEL DESGASTE DE FLANCO PARA EL FILO # 3
INFERIOR DE LA CUCHILLA 4215**

Número Pasadas	Tiempo de mecanización(min)	Desgaste de Flanco(mm)
1	0,295	0,0516
2	0,559	0,091
3	0,779	0,094
4	1,013	0,1032
5	1,181	0,11
6	2,591	0,131
7	3,6	0,3135

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para la realización de este capítulo se procederá a interpretar los datos obtenidos en el anterior los cuales dan resultados como tiempo de vida, desgaste de flanco y cráter, también se analizará el comportamiento del material en el proceso de mecanización.

4.1. Interpretación de Curvas Generadas.

En un principio los parámetros a analizar eran el desgaste de flanco y de cráter de cada inserto para observar por medio del cual fallarían primero, pero a medida que se realizó la experimentación se pudo dar cuenta que principalmente el inserto fallaría por el desgaste de flanco,

puesto que éste es el más propenso a sufrir, y que según los primeros datos obtenidos del desgaste de cráter no aumentaba de una forma considerable a medida que se realizaba la experimentación.

Las gráficas generadas en el capítulo 3.2.1 y 3.2.2, muestran el desgaste de flanco vs. el tiempo de mecanización según los diferentes parámetros de mecanización, en cada una de las gráficas se procedió a realizar una extrapolación en base a trazadores cúbicos debido a que no se pudo lograr el objetivo de llegar a los 0,3 mm. de desgaste de flanco requerido según la norma para considerar un inserto no apto para condiciones de trabajos ideales.

Como se puede observar hay diferentes gráficas para cada inserto, puesto que en cada una se varían diferentes parámetros de mecanización según lo cual se puede concluir:

El inserto TNMG160408PM4225.

- Fallará en: 2.8 minutos si se mantiene una velocidad de corte entre: 245-425 m/min., un avance: 0.3 mm/rev. y profundidad: 3 mm.

- Fallará en: 2.4 minutos si se mantiene un avance entre: 0.15-0.5mm/rev., una velocidad de corte: 345 m/min. y profundidad: 3mm.
- Fallará en: 2.6 minutos en si mantiene una profundidad entre: 0.5 - 5 mm., una velocidad de corte: 345 m/min. y avance: 0.3 mm/rev.

En el inserto TNMG160404PF4215.

- Fallará en: 3.5 minutos si se mantiene una velocidad de corte entre: 415 – 575 m/min., un avance: 0.15 mm/rev. y profundidad: 0.4 mm.
- Fallará en: 3.3 minutos si se mantiene un avance entre: 0.07-0.3 mm/rev., una velocidad de corte: 515 m/min. y profundidad: 0.4 mm.
- Fallará en: 3.6 minutos si se mantiene una profundidad entre: 0.25 – 1.5 mm., una velocidad de corte: 515 m/min. y avance: 0.15 mm/rev.

En la superposición de curvas se puede observar que en el inserto TNMG160408PM4225 se obtuvo una mayor diferencia entre dichas gráficas, pero casi con similitud de tiempos, por lo cual se puede asumir que esto se debe a factores ajenos al proceso tales como:

velocidad, avance o profundidad y factores propios del proceso el principal el diámetro diferente en cada pasada, puesto que el diámetro fue disminuyendo progresivamente en cada pasada.

Caso diferente al sucedido con el inserto TNMG160404PF4215 que hay una similitud en las gráficas con sus ciertos desfases los cuales serían igual por los argumentos anteriormente nombrados, pero este caso se puede corroborar durante el proceso de mecanizado puesto que se obtuvo una mejor mecanización con dicho inserto sin presentar problemas mayores.

4.2. Interpretación de Ecuaciones Obtenidas.

En esta tesina la relación de Taylor se la determinó mediante tres métodos para los diferentes filos: Filo #1 del inserto 4225, Filo #1 del inserto 4215, en los cuales se varía la velocidad y se mantiene constante el avance y la profundidad de corte.

Primero se realizó una gráfica doble logarítmica con los datos del capítulo 3 con los cuales se obtuvo el valor de K , el cual es reemplazado en la ecuación de Taylor $V * T^{-\frac{1}{K}} = C$ en un punto dado

para poder obtener el valor de C. la cual representa la constante de Taylor.

La segunda ecuación para determinar la relación de Taylor es un modelo matemático en el cual se realiza una regresión lineal:

$y = a + k(x - \bar{x})$; $\bar{y} = k(\bar{x} - \log C)$ y se determina el valor de la constante C.

El tercer método para determinar la relación de Taylor es el de mínimos cuadrados $v * T^n = C$ con el cual también se puede determinar el valor de la constante C.

Para el filo #1 del inserto 4225 se tiene que la constante de Taylor es igual a de: 510 m/min. según la ecuación de Taylor, 516.89 m/min. según el método de regresión lineal, 503.15 m/min. según el método de mínimos cuadrados, con lo cual se puede observar que estos valores no varían exageradamente, teniendo que la cuchilla resistiría un minuto a una velocidad promedio de 510 m/min. con un avance de 0,3 mm. y profundidad de corte 3mm.

Para el filo #1 del inserto 4215 se tiene que la constante de Taylor es igual a de: 392.16m/min. según la ecuación de Taylor, 369.83 m/min. según el método de regresión lineal, 386.91 m/min. según el método de mínimos cuadrados, con lo cual se puede observar que estos valores no varían exageradamente, teniendo que la cuchilla resistiría un minuto a una velocidad promedio de 382,3 m/min. con un avance de 0.15 mm. y profundidad de corte 0.4mm.

4.3. ¿Qué Tipo de Inserto Generó más Eficiencia?

De acuerdo a esta experimentación, se puede decir que se obtiene mayor tiempo de vida útil y un mejor acabado superficial en el inserto TNMG160404PF4215 a diferencia del inserto TNMG160408PF4225, esto se debe al recubrimiento que posee dicho inserto y su mayor dureza.

El inserto TNMG160404PF4215 no presentó fallas de fisuras durante cada una de las pasadas.

Pudiendo así concluir que este inserto generó una mejor eficiencia en el proceso de mecanización.

4.4. Comportamiento del material .

Este material por ser de alta maquinabilidad no presentó complicaciones, teniendo siempre un buen acabado superficial (ver figura 4.2), siempre y cuando se tenga una buena estabilidad puesto que al presentar cierta inestabilidad se produce un acabado rugoso el cual no se debe al inserto (ver figura 4.1).

Se puede tener en cuenta que el material no tuvo deformaciones y los resultados fueron los esperados después de cada desbaste en el proceso de mecanización teniendo siempre la profundidad deseada de corte.

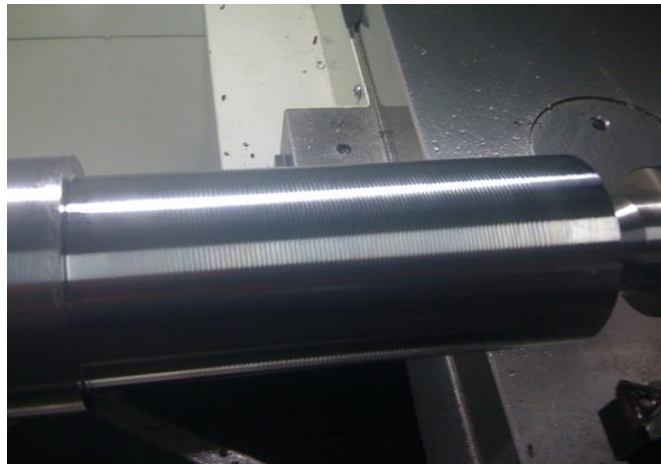


Figura 4.1 ACABADO SUPERFICIAL RUGOSO



Fig.4.2 BUEN ACABADO SUPERFICIAL

4.4.1. Tipo de Viruta.

La viruta que presentó el acero 1018 es un tipo de viruta discontinua y esto se debe a que tiene una alta maquinabilidad y el inserto tiene un ángulo de ataque de 0° , el color de la viruta era azulado y en ciertos casos dorado (pero siempre manteniéndose corta), la coloración de la viruta dependía de los parámetros con los cuales se realizaban la mecanización. La viruta se desprendía fácilmente durante el proceso de corte,

esto era también ayudado por el rompeviruta que posee estos insertos.

Se pudo observar que durante el proceso de mecanizado se obtuvo mejor viruta en el inserto TNMG160408PM4225 (ver figura 4.3) siendo esta una viruta tipo 6,9 ideal para un proceso de torneado.



Figura 4.3 VIRUTA TIPO 6,9

Caso contrario que sucedió en el inserto TNMG160404PF4215 obteniendo una viruta más larga y en forma espiral (ver figura 4.4).



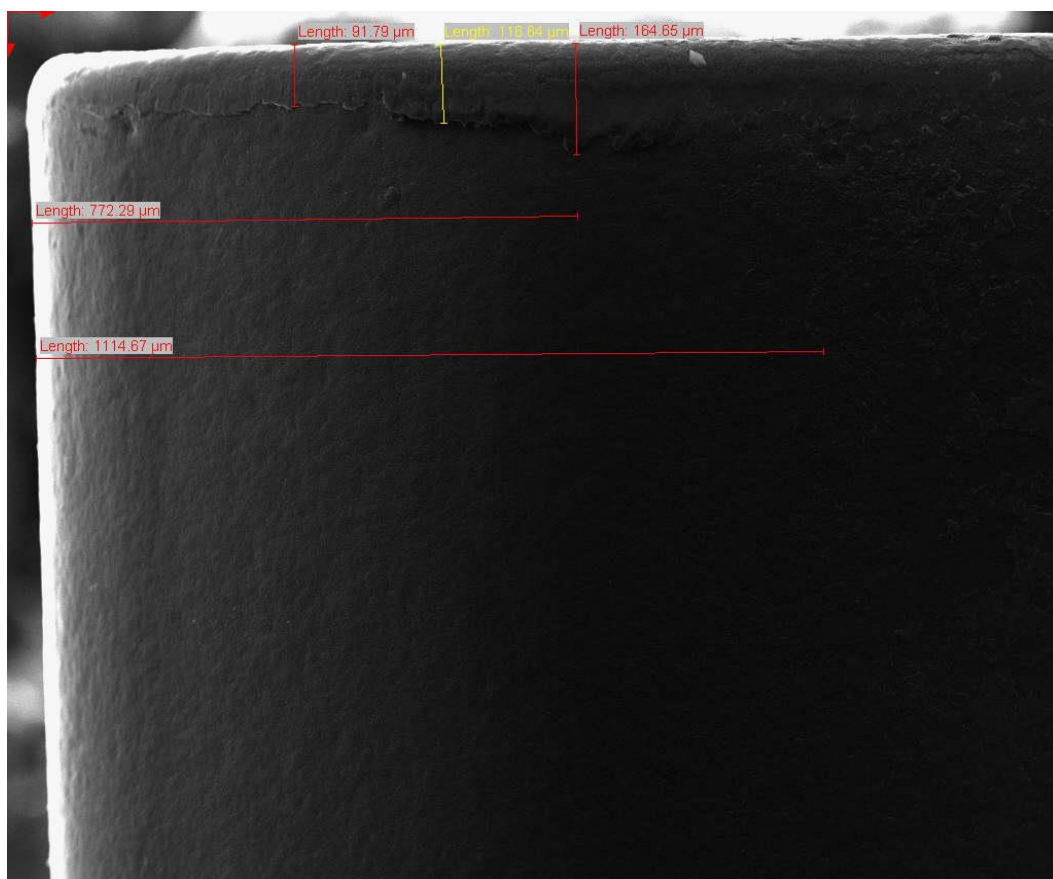
Figura 4.4 VIRUTA TIPO ESPIRAL

4.5. Comportamiento de los Insertos Utilizados.

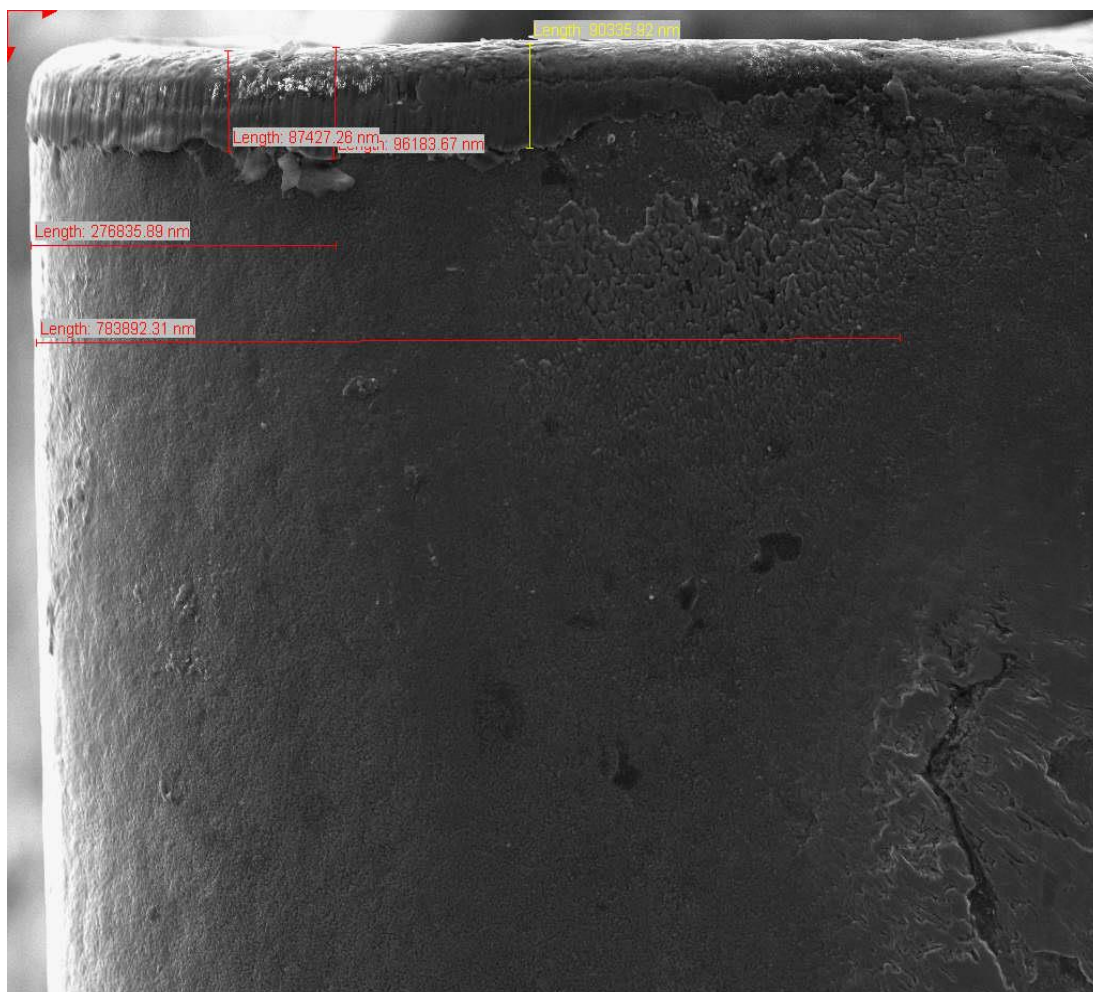
Al seleccionar los insertos se trata de tomar en cuenta todos los parámetros existentes en este proceso de mecanización, por lo cual se escogió en base al catálogo de SANDVIK y la norma, por lo cual el comportamiento del inserto con el material fue el esperado.

Lo que se pudo observar fue que el inserto TNMG160404PF4215 tuvo un desgaste menos progresivo que el del inserto TNMG160408PM4225.

Como se puede observar en la primera pasada con este inserto TNMG160408PM4225 (ver figura 4.5) se obtuvo un desgaste menor que al del inserto TNMG160404PF4215 (ver figura 4.6) y esto se mantenía constante en cada una de las pasadas, esto se puede observar en los anexos en donde se encuentran los desgaste progresivos.



**Figura 4.5 DESGASTE DE FLANCO EN INSERTO
TNMG160408PM4225**



**Figura 4.6 DESGASTE DE FLANCO EN INSERTO
TNMG160404PF4215**

En la quinta pasada con el inserto TNMG160408PM4225, se sufrió un pequeño percance el cual se asume fue por el desgaste que tenía la cuchilla, y a una falla mecánica del torno el cual se detuvo e hizo que el inserto se rompiera completamente (ver figura 4.7) sin haber llegado

al límite de desgaste que es de 0,3, con el cual se podría decir que un inserto no es óptimo para condiciones de trabajos ideales.

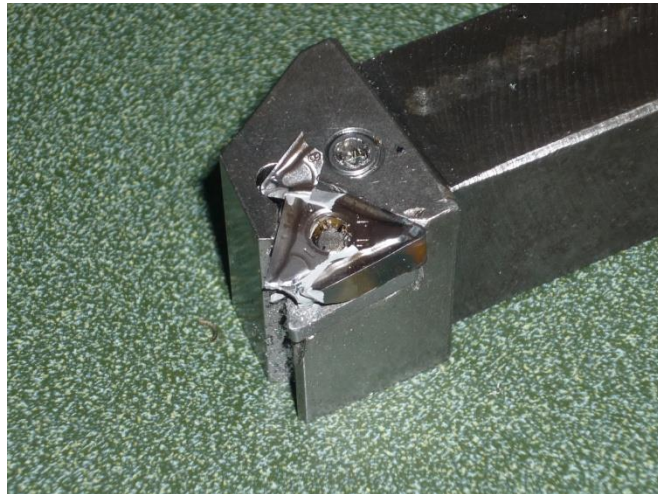


Figura 4.7 ROTURA DEL INSERTO

Caso totalmente diferente con el inserto TNMG160404PF4215 con el cual se logró realizar todas las pasadas antes prevista pero sin llegar al límite de desgaste, por el cual en ambos casos se procedió a utilizar el método de extrapolación para obtener un tiempo aproximado para el desgaste de 0,3 mm.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En la tesina realizada lo primordial fue encontrar el tiempo de vida útil de los insertos utilizados en el proceso de torneado, para lo cual se realizaron diferentes experimentaciones y cálculos a fin de lograr el objetivo, de los cuales se obtiene las siguientes conclusiones y recomendaciones.

5.1. Conclusiones.

- El tiempo de vida útil de un inserto no se refiere al tiempo en que el inserto ya no sirve, sino es el tiempo en el cual el inserto trabaja en condiciones ideales de corte, esto significa obtener el acabado

superficial esperado, no producir imperfecciones en el material durante el proceso de mecanizado entre otras.

- El tiempo de vida útil de un inserto depende de los parámetros de corte, ya que en la experimentación se pudo demostrar que este tiempo aumenta o disminuye dependiendo como se varíen la velocidad de corte, avance y profundidad.
- El tiempo de vida útil de un inserto puede aumentar o disminuir dependiendo de la lubricación que se tenga en el proceso de torneado esto quiere decir que si tiene buena lubricación, este tiempo de vida aumentará debido a que se tendrá menos fricción entre material e inserto.
- De acuerdo a la experimentación se puede decir que se obtiene mayor tiempo de vida útil en el inserto TNMG160404PF4215 a diferencia del inserto TNMG160408PF4225, esto se debe al recubrimiento que posee dicho inserto y su mayor dureza.

- Por condiciones de trabajo se puede concluir que si se desea tener un buen acabado superficial y un proceso de torneado excelente sin complicaciones como demasiada fricción entre el material y el inserto, se recomienda trabajar con el TNMG160404PF4215 porque este dio mejores resultados durante la experimentación y no presentó fallas como fisuras durante cada una de las pasadas.
- Se puede concluir que se obtiene mejor tipo de viruta en el trabajo de torneado al utilizar un menor avance, lo cual queda demostrado con las gráficas 4.3 y 4.4 en la que se observa mejor viruta, en la gráfica 4.3 perteneciente al inserto TNMG160404PF4215 pudiendo observar que su avance promedio es: 0,15 mm/rev. el cual es menor al del inserto TNMG160408PM4225 cuyo promedio es: 0,3 mm/rev.
- Con esta tesina se puede concluir que se aporta a la sociedad una mejor utilización de estos insertos puesto que hay datos importantes al momento de analizar que inserto conviene utilizar dependiendo el trabajo que se desea, e involucrarlos con los

diferentes parámetros de torneado y ver cuánto tiempo de vida útil se obtiene para dicho inserto.

- Según los datos obtenidos en la experimentación, se puede concluir que hay un mayor tiempo de vida útil si se trabaja con el avance y profundidad recomendado por el fabricante sin importar como varíe la velocidad de corte:

Para el inserto TNMG160404PF4215 hay un avance de 0,15 mm/rev. y una profundidad de 0,4 mm.

Para el inserto TNMG160408PM4225 hay un avance de 0,3 mm/rev. y una profundidad de 3 mm.

- Según estos datos se puede concluir que a manera que hay un menor diámetro del eje a mecanizar no se obtiene una adecuada utilización del inserto esto se debe a la menor estabilidad que presenta el inserto disminuyendo así su tiempo de vida útil.
- El trabajar dos filos de corte de cada inserto con los mismos parámetros muestra claramente que cualquier factor puede incidir en la forma de desgaste que va sufrir la herramienta, pero su tiempo de vida útil va ser relativamente igual, como se puede

observar en las gráficas superpuestas de cada inserto en el capítulo 3.

- En este proceso de experimentación se pudo observar que el tipo de calidad superficial del material no varía en forma exagerada para cada inserto teniendo en ambos casos un buen acabado, pero se podría concluir que es mejor en el inserto TNMG160404PF4215 puesto que se trabajo con un avance menor lo que lo mejora en relación al otro inserto.

5.2. Recomendaciones.

- Realizar la selección del inserto correctamente tomando en cuenta todos los parámetros que influirán en este proceso de mecanizado para obtener los mejores resultados.
- Para trabajos en los cuales se busca simplemente buen acabado superficial es más favorable utilizar el inserto TNMG160408PF4225 a diferencia del TNMG160404PF4215 que

es un poco más costoso y más duro el cual permite trabajar con mayor presiones sin ninguna complicación.

- Verificar que todos los parámetros del torno estén acorde a los valores deseados para evitar errores, y obtener el tiempo de mecanización y los resultados esperados.
- Tener cada filo de corte bien diferenciado de los demás para evitar errores futuros.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. NORMA ANSI/ASME B94.55M 1985

[2].SANDVICK, CATÁLOGO SOBRE HERRAMIENTAS DE CORTE PARA PROCESOS DE TORNEADO GENERAL.

[3].GROOVER, M.(1997).FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA. MEXICO. PEARSON EDUCACION.

[4]. HANDBOOK DE MATERIALES

[5]. MECANIZACIÓN POR ARRANQUE DE VIRUTA – BIBLIOTECA FIMCP

[6].IVAN BOHMAN, CATÁLOGO DE MATERIALES ESPECIALES

[7]. INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA UNIDAD DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DEL LEMAT-FIMCP-ESPOL.

ANEXOS

Anexo A: Parámetros Inserto 4225

Filo 1 Superior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro		
							N° Orden		
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:				
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte									
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta			
4225	1	100 mm	95,1	300 mm	140 mm	Altura	Distancia		
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:					
0,3 mm/rev		3 mm		345 m/min					
Varios									
Valores de Prueba									
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones
			VBc (mm)	VBc max. Zona	mm	1)	KT (mm)		
0	-	-	-	-			-		-
1	0,172	95,1	0,123	B	0,135			6,9	819,17 rpm
2	0,278	80,2	0,138	B	0,149			6,9	1170,84 rpm
3	0,196	72,2	0,156	B	0,164			6,9	1512 rpm
4	0,191	62,2	0,168	B	0,171			6,9	2185,18 rpm
5	0,165	54,5	0,174	B	0,18			6,9	2978 rpm
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			1 min						
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_		

Filo 2 Superior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro			
							N° Orden			
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:					
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte										
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta				
4225	2	100 mm	94,8	300 mm	140 mm	Altura	Distancia			
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:						
0,3 mm/rev		3 mm		345 m/min						
Varios										
Valores de Prueba										
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones	
			VBc (mm)	VBc max.		1)	KT (mm)			1)
				Zona	mm					
0	-	-	-	-			-		-	
1	1,1	94,8	0,119	B	0,139			6,9	0,1 mm/rev	
2	0,378	77,2	0,142	B	0,157			6,9	0,378 mm/rev	
3	0,178	69,2	0,167	B	0,183			6,9	0,178 mm/rev	
4	0,16	64	0,182	B	0,191			6,9	0,16 mm/rev	
5	0,142	54,5	0,198	B	0,201			6,9	0,142 mm/rev	
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			1,958							
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_			

Filo 3 Superior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro			
							N° Orden			
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:					
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte										
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta				
4225	3	100 mm	92,7 mm	300 mm	140 mm	Altura	Distancia			
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:						
0,3 mm/rev		3 mm		345 m/min						
Varios										
Valores de Prueba										
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones	
			VBc (mm)	VBc max.		1)	KT (mm)			1)
				Zona	mm					
0	-	-	-	-			-		-	
1	0,172	92,7	0,081	B	0,087			6,9	0,5 mm	
2	0,278	83,2	0,106	B	0,177			6,9	1,7 mm	
3	0,196	66,7	0,157	B	0,18			6,9	2,75 mm	
4	0,191	57,6	0,183	B	0,185			6,9	3,87 mm	
5										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			0,837 min							
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_			

Filo 1 Inferior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro			
							N° Orden			
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:					
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte										
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta				
4225	1 inferior	100 mm	92,2 mm	300 mm	140 mm	Altura	Distancia			
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:						
0,3 mm/rev		3 mm		345 mm/min						
Varios										
Valores de Prueba										
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones	
			VBc (mm)	VBc max.		1)	KT (mm)			1)
				Zona	mm					
0	-	-	-	-			-		-	
1	1,425	92,2	0,104	B	0,116			6,9	845 rpm	
2	0,288	77,3	0,123	B	0,148			6,9	1214,7 rpm	
3	0,187	64,5	0,157	B	0,17			6,9	1702,58 rpm	
4	0,184	61,5	0,182	B	0,185			6,9	2210,05 rpm	
5	0,126	58,7	0,189	B	0,191			6,9	2339,38 rpm	
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			2,21 min							
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_			

Filo 3 Inferior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro			
							N° Orden			
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:					
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte										
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta				
4225	3 inferior	100 mm	83 mm	300 mm	140 mm	Altura	Distancia			
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:						
0,3 mm/rev		3 mm		345 m/min						
Varios										
Valores de Prueba										
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones	
			VBc (mm)	VBc max.		1)	KT (mm)			1)
				Zona	mm					
0	-	-	-	-			-		-	
1	1,106	83	0,08	B	0,084			6,9	0,5 mm	
2	0,224	81,6	0,95	B	0,132			6,9	1,7 mm	
3	0,339	61,7	0,141	B	0,144			6,9	2,75 mm	
4	0,198	59,7	0,153	B	0,156			6,9	3,87 mm	
5										
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			1,867 min							
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 B: Parámetro inserto 4215

Filo 1 Superior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro		
							N° Orden		
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:				
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte									
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta			
4215	1	100 mm	90,8 mm	300 mm	140 mm	Altura	Distancia		
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:					
0,3 mm/rev		3 mm		515 m/min					
Varios									
Valores de Prueba									
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones
			VBc (mm)	VBc max. Zona	mm	1)	KT (mm)		
0	-	-	-	-			-		-
1	0,358	90,8	0,08	B	0,084			Espiral	1542,47 rpm
2	0,375	87,8	0,91	B	0,099			Espiral	1381,78 rpm
3	0,268	76,5	0,104	B	0,114			Espiral	1685,16 rpm
4	0,241	61,6	0,123	B	0,13			Espiral	2325,21 rpm
5	0,167	53,8	0,141	B	0,151			Espiral	3372,42 rpm
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			1,409 min						
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_		

Filo 3 Superior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro		
							N° Orden		
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:				
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte									
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta			
4215	3	100 mm	89,5	300 mm	140 mm	Altura	Distancia		
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:					
0,3 mm/rev		3 mm		515 m/min					
Varios									
Valores de Prueba									
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones
			VBc (mm)	VBc max. Zona	VBc max. mm	1)	KT (mm)		
0	-	-	-	-			-		-
1	1,003	89,5	0,058	B	0,061			Espiral	0,07 mm/rev
2	0,329	87,4	0,065	B	0,07			Espiral	0,3 mm/rev
3	0,18	75,3	0,072	B	0,072			Espiral	0,19 mm/rev
4	0,242	61	0,078	B	0,08			Espiral	0,24 mm/rev
5	0,102	53,2	0,83	B	0,085			Espiral	0,3 mm/rev
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			1,856 min						
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_		

Filo 1 Inferior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro			
							N° Orden			
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:					
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte										
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta				
4215	1 inferior	100 mm	89,8 mm	300 mm	140 mm	Altura	Distancia			
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:						
0,3 mm/rev		3 mm		515 m/min						
Varios										
Valores de Prueba										
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones	
			VBc (mm)	VBc max.		1)	KT (mm)			1)
				Zona	mm					
0	-	-	-	-			-		-	
1	0,295	89,8	0,061	B	0,064			Espiral	0,3 mm	
2	0,264	77,3	0,068	B	0,071			Espiral	0,6 mm	
3	0,22	75,1	0,084	B	0,098			Espiral	0,9 mm	
4	0,234	60,5	0,103	B	0,108			Espiral	1,2 mm	
5	0,168	52,8	0,112	B	0,115			Espiral	1,5 mm	
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			1,181 min							
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_			

Filo 2 Inferior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro			
							N° Orden			
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:					
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte										
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta				
4215	1 inferior	100 mm	89,5 mm	300 mm	140 mm	Altura	Distancia			
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:						
0,3 mm/rev		3 mm		515 m/min						
Varios										
Valores de Prueba										
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones	
			VBc (mm)	VBc max.		1)	KT (mm)			1)
				Zona	mm					
0	-	-	-	-			-		-	
1	0,47	89,5	0,067	B	0,071			Espiral	1066,96 rpm	
2	0,364	87	0,072	B	0,074			Espiral	1395 rpm	
3	0,259	74,3	0,075	B	0,075			Espiral	1735 rpm	
4	0,232	53,3	0,081	B	0,083			Espiral	2687,41 rpm	
5	0,168	51,6	0,089	B	0,091			Espiral	353,68 rpm	
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			1,493 min							
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_			

Filo 3 Inferior

ESPOL		Desgaste VBc, KT vs. Tiempo de Mecanización					N° Registro			
							N° Orden			
Fecha:		Ordenado por:			Realizado por:					
Prueba de Barras, Herramientas y Datos de Corte										
N° Inserto:	N° Filo:	Diámetro en bruto	Diámetro antes de maquinado	Longitud de la pieza de trabajo	Zona maquinada	Rompeviruta				
4215	1 inferior	100 mm	89,1 mm	300 mm	140 mm	Altura	Distancia			
Avance f:		Profundidad de Corte a:		Velocidad de Corte:						
0,3 mm/rev		3 mm		515 m/min						
Varios										
Valores de Prueba										
N° Medición	Tiempo t (min)	Diámetro D (mm)	Desgaste de Flanco			Cráter		Forma de la viruta	Observaciones	
			VBc (mm)	VBc max.		1)	KT (mm)			1)
				Zona	mm					
0	-	-	-	-			-		-	
1	0,295	89,1	0,049	B	0,052			Espiral	0,3 mm	
2	0,559	77	0,085	B	0,091			Espiral	0,6 mm	
3	0,779	74	0,092	B	0,094			Espiral	0,9 mm	
4	1,013	59	0,098	B	0,103			Espiral	1,2 mm	
5	1,181	50,5	0,105	B	0,11			Espiral	1,5 mm	
Tiempo Total Hasta el Desgaste:			3,827 min							
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: Código de programación para el proceso de torneado

```
M03 S 819.17;  
G00 U- 3;  
G01 W- 140 F 0.3;  
G00 W 140;  
M30
```

Anexo D: Programa para graficar Desgaste de Flanco vs. Tiempo de Mecanización

Inserto 4215

Filo 1 Superior:

```
X= [0 0.519 1.098 1.572 1.916 2.154 2.889 3.5];  
  
Y=[0 0.094 0.099 0.114 0.113 0.1167 0.182 0.3045];  
  
t=0:0.1:3.5;  
  
s=spline(X, Y, t)  
  
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

Grid on

Filo 3 Superior:

X= [0 0.295 0.559 0.779 1.03 1.181 2.5 3.5];

Y=[0 0.064 0.071 0.098 0.108 0.115 0.15 0.3045];

t=0:0.1:3.5;

s=spline(X, Y, t)

Plot(X, Y,'rx', t, s)

Grid on

Filo 1 Inferior:

X= [0 0.47 0.834 1.093 1.325 1.493 2.234 2.853 4];

Y= [0 0.071 0.0746 0.0749 0.0832 0.0916 0.099 0.122 0.3088];

t=0:0.1:4;

s=spline(X, Y, t)

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

```
Grid on
```

Filo 3 Inferior:

```
X= [0 0.295 0.559 0.779 1.013 1.181 1.99 2.591 3.6]
```

```
Y= [0 0.051 0.091 0.094 0.103 0.11 0.123 0.131 0.3145]
```

```
t=0:0.1:3.6;
```

```
s=spline(X, Y, t)
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

```
Grid on
```

Anexo E: Programa para graficar Desgaste de Flanco vs. Tiempo de Mecanización

Inserto 4225

Filo 1 Superior:

X= [0 0.17 0.448 0.644 0.835 1 1.22 3.5]

Y= [0 0.135 0.149 0.164 0.171 0.18 0.195 0.3045]

t=0:0.1:3.5;

s=spline(X, Y, t)

Plot(X, Y,'rx', t, s)

Grid on

Filo 2 Superior:

X= [0 1.1 1.478 1.656 1.816 1.958]

Y= [0 0.139 0.157 0.183 0.191 0.201]

t=0:0.1:2;

s=spline(X, Y, t)

Plot(X, Y,'rx', t, s)

Grid on

Filo 3 Superior:

```
X= [0 0.25 0.53 0.9 1.080 1.24 1.44 2];
```

```
Y= [0 0.043 0.087 0.177 0.18 0.185 0.191 0.321];
```

```
t=0:0.1:2;
```

```
s=spline(X, Y, t)
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

Grid on

Filo 1 Inferior:

```
X= [0 1.425 1.713 1.9 2.084 2.21 2.8];
```

```
Y= [0 0.116 0.148 0.17 0.185 0.191 0.3040];
```

```
t=0:0.1:2.8;
```

```
s=spline(X, Y, t)
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

Grid on

Filo 3 Inferior:

X= [0 0.5 0.85 1.106 1.4 1.669 1.867 2.6];

Y= [0 0.043 0.0688 0.084 0.122 0.144 0.156 0.3091];

t=0:0.1:2.6;

s=spline(X, Y, t);

Plot(X, Y,'rx', t, s)

Grid on

Anexo F: Programa para graficar Desgaste de Flanco vs. Tiempo de Mecanización graficas superpuestas.

Inserto 4225 .

Filo 1 Superior e Inferior.

```
X= [0 0.17 0.448 0.644 0.835 1 1.22 1.8];
```

```
Y= [0 0.135 0.149 0.164 0.171 0.18 0.195 0.327];
```

```
t=0:0.1:1.8;
```

```
s=spline(X, Y, t)
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

Hold on

```
X= [0 1.425 1.713 1.9 2.084 2.21 2.8];
```

```
Y= [0 0.116 0.148 0.17 0.185 0.191 0.3040];
```

```
t=0:0.1:2.8;
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

Filo 3 Superior e Inferior

```
X= [0 0.25 0.53 0.9 1.080 1.24 1.44 2];
```

```
Y= [0 0.043 0.087 0.177 0.18 0.185 0.191 0.321];
```

```
t=0:0.1:2;
```

```
s=spline(X, Y, t)
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

```
Grid on
```

```
Hold on
```

```
X= [0 0.5 0.85 1.106 1.4 1.669 1.867 2.6];
```

```
Y= [0 0.043 0.0688 0.084 0.122 0.144 0.156 0.3091];
```

```
t=0:0.1:2.6;
```

```
s=spline(X, Y, t);
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

Anexo G: Programa para graficar Desgaste de Flanco vs. Tiempo de Mecanización graficas superpuestas

Inserto 4215

Filo 1 Superior y Filo 2 Inferior

```
X= [0 0.519 1.098 1.572 1.916 2.154 2.889 3.5];
```

```
Y= [0 0.094 0.099 0.114 0.113 0.1167 0.182 0.3045];
```

```
t=0:0.1:3.5;
```

```
s=spline(X, Y, t)
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

```
Grid on
```

```
Hold on
```

```
X= [0 0.47 0.834 1.093 1.325 1.493 2.234 2.853 4];
```

```
Y= [0 0.071 0.0746 0.0749 0.0832 0.0916 0.099 0.122 0.3088];
```

```
t=0:0.1:4;
```

```
s=spline(X, Y, t)
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

Filo 1 Inferior y Filo 3 Inferior

```
X= [0 0.295 0.559 0.779 1.03 1.181 1.823 2.43 3.3];
```

```
Y= [0 0.064 0.071 0.098 0.108 0.115 0.135 0.15 0.3143];
```

```
t=0:0.1:3.3;
```

```
s=spline(X, Y, t)
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

```
Grid on
```

```
Hold on
```

```
X= [0 0.295 0.559 0.779 1.013 1.181 1.99 2.591 3.6];
```

```
Y= [0 0.051 0.091 0.094 0.103 0.11 0.123 0.131 0.3145];
```

```
t=0:0.1:3.6;
```

```
s=spline(X, Y, t)
```

```
Plot(X, Y,'rx', t, s)
```

Anexo H: Grafica Velocidad de Corte y Tiempo de Mecanización

Inserto 4215

Filo 1 Superior

```
x= [300 345 405 450 570];
```

```
y= [0.358 0.30 0.248 0.211 0.147];
```

```
Loglog(x, y,'-bo')
```

Grid on

Anexo I: Programa de extrapolación

Inserto 4225

Filo 1 Superior

```
x=[0.1:0.1:3];  
y=[0.09914 0.1439 0.1543 0.1502 0.1509 0.1601 0.1672 0.17 0.1738 0.18  
0.1872 0.1938 0.1986];  
h=0.1;  
for i=1:1:25  
f(i)=(0.1241*x(i))+0.0658;  
end  
tiempo=0;  
desgatse=0;  
i=13;  
j=13;  
m=j;  
tiempo_desgast=[0 0];  
while y(j)<= 0.3
```

```

m=m+1;
y(m)=y(i)+[(h/12)*[23*f(i)-16*f(i-1)+5*f(i-2)]];
desgaste=y(m);
Tiempo=(i+1)* 0.1;
i=i+1;
tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]
y(j)=desgaste;
end

```

Filo 2 Superior

```

x=[0.1:0.1:5];
y=[0.04565 0.08107 0.1075 0.1261 0.1381 0.1447 0.1471 0.1466 0.1442 0.1413
0.139 0.1385 0.1411 0.148 0.1602 0.1759 0.1866 0.1905 0.195 0.2079];
h=0.1;
for i=1:1:25
f(i)=(0.1031*x(i))+0.0076;
end
tiempo=0;
desgastse=0;
i=20;

```



```

j=20;

m=j;

tiempo_desgast=[0 0];

while y(j)<= 0.3

    m=m+1;

    y(m)=y(i)+[(h/12)*[23*f(i)-16*f(i-1)+5*f(i-2)]];

    desgaste=y(m);

    Tiempo=(i+1)* 0.1;

    i=i+1;

    tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]

    y(j)=desgaste;

end

```

Filo 3 Superior

```

x=[0.1:0.1:3];

y=[0.02134 0.03658 0.04919 0.06262 0.08033 0.01052 0.1341 0.1603 0.177

0.1806 0.1801 0.1832 0.1878 0.1909 0.1892 ];

h=0.1;

for i=1:1:25

f(i)=(0.1414*x(i))+0.0144;

```

```

end

tiempo=0;

desgast=0;

i=15;

j=15;

m=j;

tiempo_desgast=[0 0];

while y(j)<= 0.3

    m=m+1;

    y(m)=y(i)+[(h/12)*[23*f(i)-16*f(i-1)+5*f(i-2)]];

    desgaste=y(m);

    Tiempo=(i+1)* 0.1;

    i=i+1;

    tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]

    y(j)=desgaste;

end

```

Filo 1 inferior

```

x=[0.1:0.1:6];
y=[0.007976 0.01573 0.0233 0.03082 0.03828 0.04576 0.05331 0.06101 0.0689
0.7706 0.08553 0.09438 0.1037 0.1135 0.1238 0.1348 0.1464 0.1586 0.17
0.1791 0.1859 0.1906 0.1935];
h=0.1;
for i=1:1:40
f(i)=(0.0881*x(i))-0.002;
end
tiempo=0;
desgatse=0;
i=23;
j=23;
m=j;
tiempo_desgast=[0 0];
while y(j)<= 0.3
    m=m+1;
    y(m)=y(i)+[(h/12)*[23*f(i)-16*f(i-1)+5*f(i-2)]];
    desgaste=y(m);
    Tiempo=(i+1)* 0.1;
    i=i+1;

```

```

    tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]

    y(j)=desgaste;

end

```

Filo 3 Inferior

```

x=[0.1:0.1:4];

y=[0.005287 0.01301 0.02239 0.03264 0.043 0.05268 0.0609 0.06689 0.07002
0.07323 0.08306 0.1036 0.1265 0.1407 0.1452 0.1447 0.1441 0.1482 0.1619
0.19];

h=0.1;

for i=1:1:25

f(i)=(0.0862*x(i))+0.0002;

end

tiempo=0;

desgastse=0;

i=20;

j=20;

m=j;

tiempo_desgast=[0 0];

while y(j)<= 0.3

```

```

m=m+1;

y(m)=y(i)+[(h/12)*[23*f(i)-16*f(i-1)+5*f(i-2)]];

desgaste=y(m);

Tiempo=(i+1)* 0.1;

i=i+1;

tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]

y(j)=desgaste;

end

```

Inserto 4215

Filo 1 Superior

```

x=[0.1:0.1:8];

y=[0.03117 0.05511 0.07277 0.08507 0.09293 0.09729 0.09907 0.09921
0.09863 0.09826 0.09903 0.01016 0.1052 0.1092 0.1125 0.1143 0.1144 0.1136
0.113 0.1134 0.1152 0.1183 0.1229 0.129 0.1366 0.1458 0.1567 0.1693 0.1837
0.1998];

h=0.1;

for i=1:1:40

f(i)=(0.056*x(i))+0.0274;

```

```

end

tiempo=0;

desgastse=0;

i=30;

j=30;

m=j;

tiempo_desgast=[0 0];

while y(j)<= 0.3

    m=m+1;

    y(m)=y(i)+[(h/12)*[23*f(i)-16*f(i-1)+5*f(i-2)]];

    desgaste=y(m);

    Tiempo=(i+1)* 0.1;

    i=i+1;

    tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]

    y(j)=desgaste;

end

```

Filo 3 Superior

```

x=[0.1:0.1:4];

```

```

y=[0.003154 0.007579 0.01306 0.01926 0.02604 0.0331 0.04022 0.04714
0.05363 0.05943 0.06431 0.06801 0.0703 0.07106 0.07156 0.07362 0.0774
0.08245 0.08842 0.09507 0.1022 0.1095 0.1167 0.1237 0.1302 ];

h=0.1;

for i=1:1:25

f(i)=(0.0475*x(i))+0.00034;

end

tiempo=0;

desgatse=0;

i=25;

j=25;

m=j;

tiempo_desgast=[0 0];

while y(j)<= 0.3

    m=m+1;

    y(m)=y(i)+[(h/12)*[23*f(i)-16*f(i-1)+5*f(i-2)]];

    desgaste=y(m);

    Tiempo=(i+1)* 0.1;

    i=i+1;

    tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]

```

```
y(j)=desgaste;  
end
```

Filo 1 Inferior

```
x=[0.1:0.1:10];  
y=[0.03724 0.05665 0.06419 0.6583 0.06754 0.07513 0.08845 0.09984 0.1049  
0.1072 0.1109 0.1159 0.1204 0.1242 0.1274 0.1301 0.1324 0.1345 0.1365  
0.1385 0.1407 0.143 0.1457 0.1489];  
h=0.1;  
for i=1:1:50  
f(i)=(0.0503*x(i))+0.0404;  
end  
tiempo=0;  
desgaste=0;  
i=24;  
j=24;  
m=j;  
tiempo_desgast=[0 0];  
while y(j)<= 0.3  
m=m+1;
```



```

y(m)=y(i)+[(h/12)*[(23*f(i))-(16*f(i-1))+(5*f(i-2))]];
desgaste=y(m);
Tiempo=(i+1)* 0.1;
i=i+1;
tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]
y(j)=desgaste;
end

```

Filo 2 Inferior

```

x=[0.1:0.1:8];
y=[0.0253 0.04431 0.0579 0.06693 0.07227 0.07479 0.07537 0.07486 0.07414
0.07396 0.07503 0.0778 0.08199 0.08707 0.0919 0.09538 0.09755 0.09871
0.09914 0.09913 0.09897 0.09893 0.09931 0.1004 0.1025 0.1058 0.1108];
h=0.1;
for i=1:1:50
f(i)=(0.0357*x(i))+0.0327;
end
tiempo=0;
desgaste=0;
i=27;

```

```

j=27;

m=j;

tiempo_desgast=[0 0];

while y(j)<= 0.3

    m=m+1;

    y(m)=y(i)+[(h/12)*[23*f(i)-16*f(i-1)+5*f(i-2)]];

    desgaste=y(m);

    Tiempo=(i+1)* 0.1;

    i=i+1;

    tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]

    y(j)=desgaste;

end

```

Filo 3 Inferior

```

x=[0.1:0.1:9];

y=[0.01348 0.03183 0.052 0.07095 0.0856 0.09302 0.09404 0.09427 0.09732
0.1017 0.1055 0.1081 0.1097 0.1104 0.1106 0.1105 0.1102 0.11 0.1101 0.1107
.1121 0.1144 0.118 0.1229 0.1294 0.1378];

h=0.1;

for i=1:1:60

```

```

f(i)=(0.0425*x(i))+0.0439;

end

tiempo=0;

desgatse=0;

i=26;

j=26;

m=j;

tiempo_desgast=[0 0];

while y(j)<= 0.3

    m=m+1;

    y(m)=y(i)+[(h/12)*[23*f(i)-16*f(i-1)+5*f(i-2)]];

    desgaste=y(m);

    Tiempo=(i+1)* 0.1;

    i=i+1;

    tiempo_desgaste=[Tiempo desgaste]

    y(j)=desgaste;

end

```

