



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN UNA HERRAMIENTA DE CORTE
EN EL MECANIZADO DE PIEZAS EN BRONCE FOSFOROSO**

Godoy Rayner
Maza Argenis

Naguanagua, Octubre de 2009



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN UNA HERRAMIENTA DE CORTE EN EL MECANIZADO DE PIEZAS EN BRONCE FOSFOROSO

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para
optar al título de Ingeniero Mecánico*

Tutor académico:
Ing. MSc. Luis Sidorovas

Autores:
Godoy Rayner
Maza Argenis

Naguanagua, Octubre de 2009



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN UNA HERRAMIENTA DE CORTE EN EL MECANIZADO DE PIEZAS EN BRONCE FOSFOROSO

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para
optar al título de Ingeniero Mecánico*

Autores:

Godoy Rayner

Maza Argenis

Naguanagua, Octubre de 2009



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pregrado titulada **“EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN UNA HERRAMIENTA DE CORTE EN EL MECANIZADO DE PIEZAS EN BRONCE FOSFOROSO”**, presentada por los bachilleres: **Godoy Rayner** y **Maza Argenis**, portadores de la Cédula de Identidad N°: **15.258.651** y **16.340.480**, respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Prof. Tutor, *Ing. MSc. Luis Sidorovas*
Presidente del jurado

Prof. Jurado1, *Ing. MSc. PhD*
Miembro del jurado

Prof. Jurado2, *Ing. MSc. PhD*
Miembro del jurado

En Naguanagua Octubre de 2009

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
COORDINACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO

SINÓPSIS DEL PROYECTO DE GRADO

TÍTULO DEL TRABAJO:

“EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN UNA HERRAMIENTA DE CORTE EN EL MECANIZADO DE PIEZAS EN BRONCE FOSFOROSO”

FECHA DE APROBACION DEL TG2: 15/02/08.

FECHA DE EXP. FINAL: 30/10/09.

FECHA DE ENTREGA DE EJEMPLARES DEFINITIVOS A DIRECCIÓN DE ESCUELA DE ING. MECÁNICA: 30/10/09.

SINÓPSIS:

En el presente trabajo de investigación se evaluó la vida útil de una herramienta de corte, mediante una operación de cilindrado externo, este proceso consistió en el mecanizado de un material específico (Bronce Fosforoso), seguido por la respectiva medición del desgaste de flanco, considerando un criterio de desgaste para filo de herramienta de 0,3 mm, al alcanzar el criterio establecido, se dió por terminada la vida útil de la herramienta, lo que conllevó a realizar una operación de reafilado. Sin embargo se tomó la consideración de disminuir el criterio de desgaste a 0,17 mm, debido a que el costo del material no fue sustentable y era muy prolongada la vida útil de la herramienta de corte para un $VB=0.3$, el objetivo de la investigación es evaluar la vida útil de una herramienta de corte al mecanizar piezas en bronce fosforoso, esto se logra mediante la aplicación de la ecuación de Taylor, tomando los datos experimentales obtenidos de los ensayos. Al culminar y analizar los resultados, se obtuvo que para valores mayores de velocidades, avances y profundidades la vida útil de la herramienta de corte fue menos sensible, mientras que para valores menores de estas variables, la vida útil de la herramienta de corte se prolongó.

CÉDULA DE IDENTIDAD

ESTUDIANTES

FIRMA

15.258.651

NOMBRES

Rayner Godoy

16.340.480

Argenis Maza

FIRMA

PROFESOR GUÍA: Luis Sidorovas

JURADO: _____

JURADO: _____

DEDICATORIA

Este trabajo y este logro se lo dedico primordialmente a mi Madre y Padre por darme la vida y el ser.

A mi abuela (Lita) donde quiera que estés sé que estas orgullosa (todo esto es para ti, Bendición), me encantaría que estuvieses aquí; lo estas!

A mi familia (Abuelos, Madre, Padre, Hermano, Tios, Tias, Primos, etc.) por estar siempre allí, de mí lado cada vez que los necesito y cuando no también.

A la Sra. Ingrid Castillo por ser más que una amiga una madre también, a su hija Vanessa Soto por ser ese empuje, ese pilar que siempre estuvo en el inicio, durante y al final de mi carrera.

A Dios...

Argenis M. Maza Q.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo y como tributo especial a mis padres por darme la vida y permitirme cosechar triunfos que son importantes para mi y mis seres queridos.

A mis hermanos, que siempre estuvieron allí cuando los necesité, en las buenas y en las malas, aún siguen estando allí, los quiero mucho!

A toda mi familia en general, amigos, que siempre han estado al pendiente de mis avances a lo largo de toda mi carrera.

A Dios...

Rayner Godoy.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios todo poderoso por estar donde estoy y por hacer cada día de mi vida un sueño; ¿Por qué? Porque con el simple hecho de despertar día a día, cualquier cosa positiva es posible. Gracias Sr!

A mi familia entera (Abuelos, Madre, Padre, Hermano, Tíos y primos.) todo el apoyo, cariño, bendiciones y confianza que me han brindado y pusieron en mí. Gracias Sr!

A todas aquellas personas que directa u/o indirectamente han hecho de este sueño y meta que un día comencé se vea materializado y se haga realidad. Gracias Sr!

A esta casa de estudio (Universidad de Carabobo y Profesores de la escuela de Ing. Mecánica) porque sin sus enseñanzas, formación académica y práctica y mi empeño y perseverancia no sería lo que hoy en día estoy por cumplir una de mis tantas metas trazadas en mi camino y en mi plan de vida. Gracias Sr!

A mi tutor Luis Sidorovas. Gracias Sr!

Al Grupo Phoenix (Vasos Venezolanos) por todo el apoyo y confianza brindada. Gracias Sr!

Sinceramente gracias a todos: amigos, compañeros de estudio, familia, profesores, compañeros de trabajo, etc. Gracias Sr!

Argenis M. Maza Q.

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada a Dios mi señor, por darme la oportunidad de vivir y hacer cosas como estas, permitirme desarrollarme como profesional y como persona.

A mi familia, sin ustedes nada de esto sería posible, siempre apoyándome y queriendo lo mejor para mi, muchas gracias!

A todos mis amigos y compañeros de estudio, que a lo largo de todos estos años nos ayudamos mutuamente, para lograr nuestras metas, sería injusto mencionarlos porque son muchos, ustedes saben quienes son muchas gracias por estar allí.

A mi amigo José Miguel De Órnelas, cuantas veces nos aclaraste dudas y nos sacaste de apuros desinteresadamente, gracias amigo.

A nuestro tutor Luis Sidorovas, por su apoyo, muchas gracias.

Muchas gracias a todos, lo que hicieron esto posible al brindarme su confianza y apoyo.

Rayner Godoy.



ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO I	
1. El Problema	6
1.1 Planteamiento del problema	6
1.2 Formulación del problema	7
1.3 Objetivos de la investigación	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 Justificación	8
1.5 Delimitaciones de la investigación	8
1.6 Limitaciones de la investigación	9
CAPITULO II	
2. Marco teórico	11
2.1 Antecedentes	11
2.2. Bases teóricas.	14
2.2.1 El proceso de mecanizado.	14
2.2.1.1 El torno.	16
2.2.1.2 El torneado.	16
2.2.2 Tipos de tornos.	16
2.2.2.1 Torno paralelo.	17
2.2.3 Estructura del torno.	18
2.2.3.1 Bancada.	18
2.2.3.2 Cabezal Fijo.	18
2.2.3.3 Contrapunto.	18
2.2.3.4 Carros Portaherramientas.	18
2.2.4 Equipo auxiliar.	19
2.2.4.1 Plato de sujeción de garras.	19
2.2.4.2 Centros.	20



2.2.4.3 Perno de arrastre.	20
2.2.4.4 Soportes.	21
2.2.4.5 Portaherramientas.	21
2.2.5 Herramientas de torneado.	22
2.2.5.1 Movimiento de corte.	22
2.2.5.2 Movimiento de avance.	22
2.2.5.3 Profundidad de pasada.	23
2.2.5.4 Nonios de los carros.	23
2.2.6 Operaciones de torneado.	24
2.2.6.1 Cilindrado.	24
2.2.7 Factores que influyen en el proceso de mecanizado.	25
2.2.8 Factores que influyen en las condiciones tecnológicas del torneado.	26
2.2.8.1 Diseño y limitaciones de la pieza.	26
2.2.8.2 Operaciones de torneado a realizar.	27
2.2.8.3 Estabilidad y condiciones de mecanizado.	27
2.2.8.4 Disponibilidad y selección del tipo de torno.	27
2.2.8.5 Material de la pieza.	27
2.2.8.6 Disponibilidad de herramientas.	27
2.2.8.7 Aspectos económicos del mecanizado.	27
2.2.9 Formación de viruta.	28
2.2.10 Tipos de viruta.	28
2.2.10.1 Viruta discontinua.	28
2.2.10.2 Viruta continua.	29
2.2.10.3 Viruta continua con borde acumulado.	29
2.2.11 Maquinabilidad.	29
2.2.12 Partes, elementos y ángulos de las herramientas de corte.	31
2.2.13 Clasificación de herramientas de corte según la clase de trabajo a ejecutar.	32
2.2.14 Materiales para las herramientas.	32
2.2.15 Desgaste y afilado de las herramientas.	33



2.2.16 Vida de la herramienta.	36
2.2.16.1 Desgaste de la herramienta.	37
2.2.16.2 Criterios para la vida de la herramienta en producción.	38
2.2.17 Mecanismos de desgaste en una herramienta de corte.	39
2.2.18 Comportamiento del desgaste de una herramienta de corte a través del tiempo.	41
2.2.19 Ecuación de Taylor.	43
2.2.20 Efecto de los ángulos en la vida de la herramienta de corte.	44
2.2.20.1 Los ángulos de ataque o de desprendimiento (γ).	45
2.2.20.2 Ángulo de inclinación lateral.	45
2.2.20.3 Ángulo superior de inclinación.	46
2.2.20.4 Ángulo de incidencia (α).	46
2.2.20.5 Radio de punta.	46
2.2.21 Nomenclatura de las herramientas de corte.	47
2.2.22 Bronce.	48
2.2.22.1 Cómo se obtiene el bronce.	49
2.2.22.2 Propiedades mecánicas y físicas del bronce.	50
2.2.23 Principales aleaciones.	51
2.2.23.1 Tipos básicos.	51
2.2.23.1.1 Bronce Arsenical.	52
2.2.23.1.2 Bronce de Laminación.	52
2.2.23.1.3 Bronce Sol.	52
2.2.23.1.4 Bronce Rojo.	53
2.2.23.1.5 Bronce al Plomo.	53
2.2.23.1.6 Bronce Fosforoso.	53
2.2.24 Descripción general del bronce fosforoso.	53
CAPITULO III	
3. Marco metodológico.	56
3.1 Tipo de investigación.	56
3.2 Equipos, materiales y herramientas.	57
3.2.1 Equipos.	57



3.2.1.1 Torno.	57
3.2.1.2 Perfilómetro.	58
3.2.2 El material.	58
3.2.3 Herramienta de corte.	59
3.2.4 Cilindrado del Material.	59
3.3 Selección de los parámetros en el proceso de torneado.	59
3.3.1 Avance (f).	60
3.3.2 Velocidad de Corte (V).	61
3.3.3 Profundidad de Corte (d).	63
3.4 Diseño experimental.	64
3.5 Descripción de los ensayos experimentales para la obtención de los datos.	64
3.5.1 Medición de desgaste de la herramienta de corte.	66
3.5.2 Diagrama de procedimiento.	69
3.6 Técnica de procesamiento y análisis de datos.	70
CAPITULO IV	
4. Desarrollo del trabajo.	71
4.1 Influencia de los parámetros de corte en el desgaste de flanco.	72
4.2 Vida de la herramienta de corte (HSS).	82
4.3 Interpretación de los resultados obtenidos.	93
CAPITULO V	
Conclusiones	96
Recomendaciones	96
Referencias bibliográficas	97
ANEXOS	
Certificado de calidad Bronce Fosforoso SAE40	



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Torno paralelo.	17
Fig. 2.2 Estructura del torno.	19
Fig. 2.3 Tipos de platos para tornos: a) Plato de cuatro mordazas independientes; b) Plato universal de tres mordazas.	20
Fig. 2.4 Portaherramientas.	21
Fig. 2.5 Nonios de los carros de un torno paralelo.	23
Fig. 2.6 Esquema de torneado cilíndrico	25
Fig. 2.7 Desgaste de cráter y flanco.	41
Fig. 2.8 Desgaste de la herramienta en función del tiempo.	42
Fig. 2.9 Efecto de la velocidad de corte sobre el desgaste en el flanco.	43
Fig. 2.10 Nomenclatura de las Herramientas de Corte.	48
Fig. 3.1 Torno "MISAL HERON KNI8"	57
Fig. 3.2 Perfilómetro PJ2500 MITUTOYO	58
Fig. 3.3 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d=2,5$ mm (Fuente propia 2009).	66
Fig. 4.1 Operación de cilindrado.	72
Fig. 4.2 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d= 1,5$ mm.	73
Fig. 4.3 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d= 2$ mm.	74
Fig. 4.4 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d= 2,5$ mm.	75
Fig. 4.5 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d= 1,5$ mm.	76
Fig. 4.6 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d= 2$ mm.	77
Fig. 4.7 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d= 2,5$ mm.	78
Fig. 4.8 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d= 1,5$ mm.	79
Fig. 4.9 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d= 2$ mm.	80
Fig. 4.10 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d= 2,5$ mm.	81
Fig. 4.11 Grafica logarítmica de vida útil del filo de la herramienta para f_1 , d_1 ; f_1 , d_2 y f_1 , d_3 . (Fuente propia).	89
Fig. 4.12 Grafica logarítmica de vida útil del filo de la herramienta para f_2 , d_1 ; f_2 , d_2 y f_2 , d_3 . (Fuente propia).	90
Fig. 4.13 Grafica logarítmica de vida útil del filo de la herramienta para f_3 , d_1 ; f_3 , d_2 y f_3 , d_3 . (Fuente propia).	91



Fig. 4.14 Comportamiento de "n" y "C" en función de f (rev/mm) y d (mm). 92
(Fuente propia).



INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Parámetros e influencia y relación de los factores que influyen en el proceso de mecanizado.	26
Tabla 2.2. Características mecánicas del bronce.	50
Tabla 2.3. Propiedades físicas.	51
Tabla 2.4. Propiedades mecánicas.	51
Tabla 2.5. Características generales del bronce fosforoso.	54
Tabla 3.1. Composición química única (%) del material utilizado.	59
Tabla 3.2. Valor para el primer nivel de los ensayos.	61
Tabla 3.3. Valor para el segundo nivel de los ensayos.	62
Tabla 3.4. Valor para el tercer nivel de los ensayos.	63
Tabla 3.5. Tabla de valores de las variables utilizadas en los ensayos.	58
Tabla 3.6. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 2,5$ mm para un criterio de desgaste de flanco de 0,3 mm.	65
Tabla 4.1. Tabla de especificaciones material, herramienta y ángulo de ataque.	72
Tabla 4.2. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d = 1,5$ mm.	73
Tabla 4.3. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d = 2$ mm.	74
Tabla 4.4. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d = 2,5$ mm.	75
Tabla 4.5. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 1,5$ mm.	76
Tabla 4.6. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 2$ mm.	77
Tabla 4.7. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 2,5$ mm.	78
Tabla 4.8. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 1,5$ mm.	79
Tabla 4.9. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 2$ mm.	80



Tabla 4.10. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 2,5$ mm.	81
Tabla 4.11. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d = 1,5$ mm.	83
Tabla 4.12. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 2$ mm.	83
Tabla 4.13. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 2,5$ mm.	84
Tabla 4.14. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 1,5$ mm	85
Tabla 4.15. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 2$ mm	85
Tabla 4.16. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 2,5$ mm	86
Tabla 4.17. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 1,5$ mm	87
Tabla 4.18. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 2$ mm	87
Tabla 4.19. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 2,5$ mm	88
Tabla 4.20. Valores de “n” y “C” para cada profundidad [d (mm)] y avance [f (mm/rev).]	



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló con la finalidad de evaluar la influencia de la vida útil en una herramienta de corte cuando se mecanizan piezas en bronce fosforoso; el proceso de mecanizado depende de muchas variables, estas pueden provenir de diferentes fuentes tales como: máquina herramienta, pieza de trabajo, herramienta de corte, geometría de la herramienta, condiciones de corte, operario y otras, que influyen en el resultado del proceso.

Al seleccionar apropiadamente los parámetros de corte y la geometría de la herramienta se logró mejores resultados en el mecanizado y una vida útil de la herramienta de corte más larga.

La utilización racional de los recursos es una condición indispensable de cualquier proceso productivo que pretenda insertarse, con un mínimo de competitividad, en la economía contemporánea. En este sentido, los procesos de corte de metales, no son la excepción, sino la regla, dentro de la manufactura moderna.

Prácticamente desde sus orígenes, el estudio científico del maquinado se ha centrado en lograr procesos de arranque de virutas cada vez más eficientes, que requieran menores tiempos de elaboración y cuyos costos sean tan bajos como se pueda.

Al analizar la literatura especializada, se evidencia que en la práctica productiva existe la siguiente situación problemática, la selección de regímenes de corte se basa en el uso de tablas o manuales especializados, los cuales no ofrecen realmente parámetros óptimos sino sólo valores de tanteo, que no se adecuan siempre a las variadas condiciones de trabajo.



Por otro lado, las técnicas tradicionales de optimización de procesos de corte toman como función objetivo bien el tiempo de maquinado, asumiendo que éste es proporcional al costo de producción; o bien el propio costo, pero considerando sólo producciones en serie o masivas, en las cuales las máquinas herramientas están ocupadas todo el tiempo laboral.

Como es sabido, este no es siempre el caso de los talleres de maquinado (y, en general, en los países en vías de desarrollo), en la cual la fabricación se limita, muchas veces, a piezas de repuesto en pequeñas series o en producciones individuales. Naturalmente esto provoca que el tiempo de maquinado deje de jugar el papel determinante que le asignen en la mayor parte de la literatura especializada.

Otro factor que perjudica la selección de regímenes de corte adecuados, en la industria nacional, es que las recomendaciones de los fabricantes de herramientas de corte plantean que el gasto de herramientas es sólo una pequeña fracción del costo total de fabricación, lo cual es razonablemente cierto sólo si el trabajo de la máquina herramienta ocupa toda la jornada laboral, y si los salarios y el precio de la electricidad son altos, comparados con el precio de las herramientas de corte. En caso contrario el costo de las herramientas crece en importancia (Sandvik, 1994).

A todo lo anterior hay que sumarle que los modelos utilizados para relacionar variables como la vida útil de la herramienta y los parámetros del régimen de corte, en la metodología de determinación de regímenes de corte (y, por tanto de su optimización), son, comúnmente, expresiones matemáticas sencillas, obtenidas a partir de regresiones estadísticas, como la Ley de Taylor y otras similares.

Sin embargo, en la actualidad, la introducción de nuevos tipos de materiales para las herramientas, tales como el nitruro de boro cúbico policristalino (PCBN), las cerámicas revestidas y los carburos de granulometría pequeña han hecho que la



interpretación clásica de los mecanismos de desgaste deje de tener una validez absoluta. Además, en el corte de metales ferrosos y no ferrosos endurecidos a altas velocidades, el incremento en la temperatura de la zona de corte, comúnmente excede al límite de estabilidad térmica del material de corte, causando una drástica reducción de la vida útil de la herramienta de corte.



EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.

Actualmente la globalización es un estímulo a la producción masiva de artículos que son colocados en cualquier parte del mundo; por lo que las empresas cada vez más productivas, disminuyen los costos de fabricación, garantizando la calidad del producto. Para colocar los productos en el mercado global se requiere cumplir con las especificaciones de diseño y competir con precios. Por lo que las empresas están orientadas a la mejora continua de sus procesos para ser más competitivos.

En el caso de las empresas metalmecánicas y de manufactura por procesos de mecanizados, ambas se enfocan en la disminución de sus costos operativos en diversos aspectos como lo son: Materiales, Mano de Obra, Maquinarias e Insumos Consumibles. Siendo los tres primeros tangibles a los incrementos por inflación; en el caso de los Insumos Consumibles se consigue minimizarlos mediante las buenas prácticas de manufactura, el uso adecuado de la energía, recursos materiales y de los consumibles. Dentro de los consumibles en los procesos de mecanizado se encuentran las herramientas de corte, las cuales en función de su vida útil pueden incidir en los costos de los procesos de fabricación. El buen uso de las herramientas de corte permitirá fabricar un número de piezas, dentro de las cuales se obtendrá el costo unitario de cada una de ellas. Para determinar el número de piezas estándar que se pueden fabricar con una herramienta se necesita evaluar la vida útil de la misma en un proceso de fabricación. En la presente investigación se referirá a las piezas cuyo material será el bronce fosforoso, debido a la alta maquinabilidad y resistencia del bronce fosforoso, dentro de las cuales se pueden mencionar como ejemplo: bocinas, aros para compresores, engranes.



Este trabajo de investigación estudiará el comportamiento de la herramienta de corte en el mecanizado de metales con relación a su vida útil, con la finalidad de obtener información acerca de su durabilidad, para esto se necesita hacer los ensayos que faciliten representar tal comportamiento de la herramienta en relación con la vida útil de la misma y obtener un mejor rendimiento para lograr un incremento en la productividad e incidir directamente en la reducción de los costos de los procesos de fabricación.

1.2 Formulación del problema.

¿Se requiere evaluar la vida útil de la herramienta de corte en mecanizado de piezas en bronce fosforoso?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Evaluar la vida útil de la herramienta de corte cuando se mecanizan piezas de bronce fosforoso, para mejorar la productividad en el proceso.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Estudiar los procesos de mecanizado de piezas en bronce fosforoso.
2. Determinar los parámetros que influyen en los procesos de mecanizado de piezas en bronce fosforoso.
3. Evaluar la vida útil de las herramientas de corte en el mecanizado de bronce fosforoso.



1.4 Justificación.

La situación actual del ámbito empresarial amerita mantener una constante competitividad a nivel laboral e industrial, donde la exigencia hacia la productividad se hace cada vez más alta debido a la oferta y demanda existente dentro del mercado metalmecánico, esto trae como consecuencia que los procesos mecánicos o de mecanizado de piezas incrementen su nivel de producción con menos recursos, la importancia de evaluar la vida útil de una herramienta de corte, es con el fin de lograr una mayor efectividad en la elaboración de piezas en un proceso de mecanizado. Esta investigación pretende evaluar la vida útil de la herramienta de corte y mejorar la productividad del proceso de fabricación, a su vez se obtendrán datos sobre el efecto del bronce fosforoso sobre dicha herramienta. La importancia de esta investigación se evidencia por la alta demanda de piezas, que respondiendo a las especificaciones solicitadas por el trabajo que van a realizar se requieren con este material, como por ejemplo: como bocinas, bujes, engranes.

1.5 Delimitaciones de la investigación.

La investigación se basará en el estudio de la vida útil de la herramienta de acero rápido (HSS). El material de las piezas de mecanizado fue de una aleación de bronce fosforoso (Bronce Estándar). Se realizarán los ensayos adecuados para obtener la información necesaria acerca de la vida útil de dicha herramienta de corte en el mecanizado de piezas.



1.6 Limitación de la investigación.

Considerar las diferentes variables que inciden en el desarrollo de la presente investigación se hacen relevantes las mencionadas a continuación:

- Dificultad de la obtención de la materia prima (Bronce fosforoso) ya que no son muchos los proveedores en la región central del país.



MARCO TEÓRICO

Al evaluar la vida útil de una herramienta de acero rápido se debe tomar en cuenta una serie de variables y parámetros de corte que permitan deducir los factores que influyen en esta investigación; de la revisión bibliográfica se presentan los siguientes antecedentes que servirán de guía u orientación para el desarrollo de esta investigación.

2.1 Antecedentes.

2.1.1 García, Ángel y González, Ramón. (2000): " Evaluación de la vida de la herramienta en un proceso de torneado convencional, para el mecanizado de las aleaciones de aluminio comercial". Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo.

Este trabajo tiene como objetivo investigar la influencia de las variables de corte en la vida de la herramienta, así mismo obtener las condiciones de corte más favorables para un par de herramienta-material de trabajo. Además se observa el comportamiento del filo de la herramienta para diferentes combinaciones de los factores estudiados el realizar operaciones de cilindrado en el tomo. Entre los resultados más sobresalientes se tienen:

- A medida que se aumenta la velocidad de corte disminuye la capacidad de corte de la herramienta.
- El trabajo específico de corte disminuye a medida que el avance aumenta.
- Se observa que una variación individual de cada una de las variables de corte tiene una influencia en el desgaste de la herramienta, y al variar dos o tres simultáneamente implican un aumento en el desgaste de la herramienta.



- La influencia de la profundidad de corte desempeña un papel análogo al del avance.

2.1.2 Córdoba Charles y Surmay Jean. (2005). Presentaron el trabajo especial de grado titulado: “Influencia de las variables de mecanizado en torneado de piezas automotrices (Disco de frenos).” Cuyos objetivos eran:

- Estudiar la influencia de las variables de mecanizado en torneado y acabado superficial de las pistas de disco de freno.
- Establecer las variables que influyen en el acabado de piezas mecanizadas (disco de frenos).
- Analizar la influencia de la dureza en el mecanizado de piezas.
- Optimizar las variables de mecanizado para un adecuado acabado superficial de las piezas, de acuerdo a los rasgos de dureza de las piezas.
- Determinar la causa de acabado superficial irregular (Vibración) en los discos.
- Determinar la vida útil de la herramienta de corte.

Obteniendo los siguientes resultados:

- En el proceso de mecanizado de pistas de discos de freno, existen diversas variables que influyen como lo son: 1) la dureza resultante variable del proceso de fundición, donde no es un proceso con un buen control de calidad en el procesamiento y selección de la materia prima, donde se comprueba el uso de chatarra y así no buena data estadística de estudio de la dureza, 2) la geometría de la herramienta cuyo radio de punta es grande para tal mecanizado, produciendo surcos más anchos en las pistas lo que representa mayor rugosidad, 3) una profundidad de corte alta (2,45mm) que representa mayores esfuerzos al corte por mayor material que arrancar, 4) avance de la herramienta y velocidad de giro no constantes para el mecanizado según



modelos, 5) fuerzas de corte desiguales en las mordazas al mecanizar cada una de las caras del disco y desajustes en la sujeción de las piezas a mecanizar.

- El sistema de control de calidad de la dureza no es óptimo debido a la mala selección de la materia prima y no tener el control de producción de los discos, ya que en cada producción de discos (coladas) existen variaciones de la dureza en coladas de un mismo modelo que varían entre 197 y 241 HB. El estudio de la pruebas de mecanizado de esta investigación fue realizado en función a una dureza promedio de 217 HB.

2.1.3 Contreras, Francisco. (2003). “Evaluación de la herramienta cuando se tornea aleaciones de aluminio de alto silicio”. Trabajo de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo.

Este trabajo tuvo como finalidad estudiar la influencia de las variables de corte y la geometría de la herramienta de dicho instrumento. Se buscó establecer las condiciones de corte más favorables en un proceso de mecanizado con herramientas de HSS aleaciones de Aluminio.

Los objetivos a cumplir en dicho trabajo son:

- Medir el desgaste del filo de la herramienta de acero rápido, al mecanizar la aleación de alto contenido de silicio, manteniendo las condiciones de corte constantes.
- Medir la formación de cráter en la cara de ataque de la herramienta manteniendo las condiciones de corte constantes, cuando se tornea una aleación de aluminio de alto silicio.
- Medir el desgaste de la herramienta en función de la geometría de la herramienta.



- Evaluar la vida de la herramienta en función de la velocidad de corte, si se mantienen constantes la profundidad de corte y el avance.

Entre las conclusiones más relevantes que se llegaron en la investigación se tienen:

- La velocidad de corte, el avance y la profundidad de corte tienen un efecto directo en el desgaste de la herramienta, cuando se incrementan independientemente y se mantienen los demás parámetros de corte constantes, a medida que estos aumentan, el desgaste aumenta, esto se observó para las dos aleaciones.
- En este estudio no se observó desgaste de cráter en ninguno de las dos aleaciones de aluminio, para la evaluación de este objetivo se utilizaron los mismos parámetros de corte que se usaron para evaluar el desgaste de bisel. "
- A bajas velocidades de corte se produce lo que se conoce como acumulación de borde, lo que implica la adherencia de viruta de material en el filo de la herramienta.
- A medida que aumenta el ángulo de ataque aumenta la vida de la herramienta, posiblemente debido a que existe menos superficie de contacto entre la herramienta y el material, y la presión ejercida por la viruta es menor, el criterio de desgastes se alcanza en mayor cantidad de tiempo, cuando la herramienta posee 10° en el ángulo de ataque y se aplican las condiciones de menor exigencias, esto sucede en las dos aleaciones.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1 El proceso de mecanizado.

Es un proceso de manufactura en el cual se usa una herramienta de corte para remover material de una pieza de trabajo, de tal manera que el material remanente sea



la forma de la parte deseada. La acción predominante de corte involucra la deformación cortante del material de trabajo para formar una viruta; de donde queda expuesta una nueva superficie.

El mecanizado es uno de los procesos más importantes de manufactura, la revolución industrial y el crecimiento de las economías basadas en la manufactura de todo el mundo se pueden describir en gran parte por el desarrollo de varias operaciones de mecanizado; las siguientes razones explican la importancia de las razones del mecanizado desde el punto de vista comercial y tecnológico:

- El mecanizado se puede aplicar a una amplia variedad de materiales de trabajo, prácticamente todos los metales sólidos se pueden maquinar.
- Los plásticos y los compuestos plásticos se pueden cortar también por maquinado; los cerámicos presentan dificultades debido a su alta dureza y fragilidad. Sin embargo la mayoría de los cerámicos se pueden cortar exitosamente mediante procesos de maquinados abrasivos.
- Este se puede usar para cualquier forma geométrica regular, como superficies planas, agujeros redondos y cilindros. Combinando varias operaciones de maquinado en secuencia se pueden producir formas de complejidad y variedad ilimitada.
- Se pueden producir dimensiones con tolerancias muy estrechas de menos de 0,0001 pulgadas (0.025mm). Es más preciso que muchos otros procesos.
- Es capaz de crear acabados superficiales muy pulidos que pueden llegar a ser mejores que 0,4 μm . Algunos procesos abrasivos pueden lograr mejores acabados aún.



Debido a sus características el mecanizado se realiza después de otros procesos de manufacturas como fundición o deformación volumétrica (por ejemplo: forjado y estirado de barras). Otros procesos crean la forma general de la parte y el maquinado produce la geometría final, las dimensiones y el acabado. [Groover, 1997].

2.2.1.1 El torno.

El torno básico usado para torneado y operaciones afines en un torno mecánico. Es una máquina herramienta muy versátil y se utiliza ampliamente en producción baja y media. El término “máquina” se originó en el tiempo en que estos mecanismos eran movidos por máquinas de vapor.

2.2.1.2 El torneado.

El torneado es un proceso de maquinado en el cual una herramienta de corte de punta sencilla remueve material de la superficie de una pieza de trabajo cilíndrica en rotación. La herramienta de corte avanza linealmente y en una dirección paralela al eje de rotación. El torneado se lleva a cabo tradicionalmente en una máquina herramienta llamada torno, la cual suministra la potencia para tornear la parte a una velocidad de rotación determinada con avance de la herramienta de corte y profundidad de corte especificados. [Groover, 1.997]

2.2.2 Tipos de tornos.

Actualmente se utilizan en las industrias de mecanizados los siguientes tipos de tornos que dependen de la cantidad de piezas a mecanizar por serie, de la complejidad y de la envergadura de las piezas.

A continuación se mencionan una serie de tornos utilizados en la industria metalmeccánica:

- Torno paralelo.
- Torno coprador.
- Torno revólver.
- Torno automático.
- Torno Vertical.
- Torno CNC.

2.2.2.1 Torno paralelo.

El torno paralelo o mecánico es el tipo de torno que evolucionó partiendo de los tornos antiguos cuando se le fueron incorporando nuevos equipamientos que lograron convertirlo en una de las máquinas herramienta más importante que han existido. Sin embargo, en la actualidad este tipo de torno está quedando relegado a realizar tareas poco importantes, a utilizarse en los talleres de aprendices y en los talleres de mantenimiento para realizar trabajos puntuales o especiales.



Fig. 2.1 Torno paralelo (Millán, 2006)



2.2.3 Estructura del torno.

El torno tiene cuatro componentes principales:

2.2.3.1 Bancada.

Sirve de soporte para las otras unidades del torno. En su parte superior lleva unas guías por las que se desplaza el cabezal móvil o contrapunto y el carro principal.

2.2.3.2 Cabezal Fijo.

Contiene los engranajes o poleas que impulsan la pieza de trabajo y las unidades de avance. Incluye el motor, el husillo, el selector de velocidad, el selector de unidad de avance y el selector de sentido de avance. Además sirve para soporte y rotación de la pieza de trabajo que se apoya en el husillo.

2.2.3.3 Contrapunto.

El contrapunto es el elemento que se utiliza para servir de apoyo y poder colocar las piezas que son torneadas entre puntos, así como otros elementos tales como portabrocas o brocas para hacer taladros en el centro de los ejes. Este contrapunto puede moverse y fijarse en diversas posiciones a lo largo de la bancada.

2.2.3.4 Carros Portaherramientas.

Es el que produce los movimientos de avance y profundidad de pasada y del carro transversal, que se desliza transversalmente sobre el carro principal. En los tornos paralelos hay además un carro superior orientable, formado a su vez por tres

piezas: la base, el carro principal y el porta herramientas. Su base está apoyada sobre una plataforma giratoria para orientarlo en cualquier dirección.

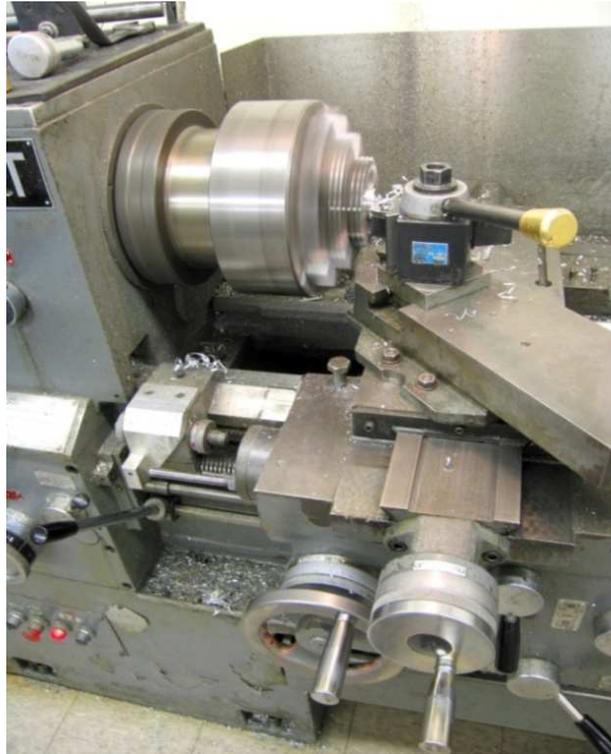


Fig. 2.2 Estructura del torno (Millán, 2006)

2.2.4 Equipo auxiliar.

Se requieren ciertos accesorios, como sujetadores para la pieza de trabajo, soportes y portaherramientas. Algunos accesorios comunes incluyen:

2.2.4.1 Plato de sujeción de garras.

Los platos se utilizan para sostener partes grandes con formas irregulares. Se montan o se atornillan en el husillo para formar un montaje rígido.

Los platos comúnmente utilizados se pueden clasificar como platos de tres mordazas autocentrantes o platos de cuatro mordazas independientes. En un plato de tres mordazas, todas ellas se cierran juntas, accionadas por la ranura espiral cortadas en la cara del disco plano, denominado espiral. Los platos de cuatro mordazas se accionan mediante un tornillo de rosca cuadrada independiente y cada mordaza se mueve por separado. En la Fig. 2.3 se muestran los diferentes tipos de platos.



Fig. 2.3a



Fig. 2.3b

Fig. 2.3 Tipos de platos para tornos: a) Plato de cuatro mordazas independientes; b) Plato universal de tres mordazas. (Fuente propia, 2009).

2.2.4.2 Centros.

Son aquellos que soportan la pieza de trabajo en el cabezal y en la contrapunta.

2.2.4.3 Perno de arrastre.

Se fija en el plato de torno y en la pieza de trabajo y le transmite el movimiento a la pieza cuando está montada entre centros.

2.2.4.4 Soportes.

Los soportes se pueden clasificar en dos principales categorías: a) soporte fijo de tres mordazas o soportes permanentes, y b) soporte móvil o luneta móvil. Cuando piezas largas y esbeltas de trabajo se someten a una operación de torneado, se doblan y forman en voladizo contra la presión de la herramienta de corte, lo que hace que la pieza de trabajo se doble y tenga dimensiones desequilibradas. El soporte de tres mordazas se sujeta a la bancada del torno y soporta la barra. El soporte móvil se fija en el carro y se desliza con la herramienta.

2.2.4.5 Portaherramientas.

Se utiliza para sostener varias herramientas y sujetadores de herramientas de corte para crear condiciones convenientes de trabajo. Consta de un tornillo (para apretar el sujetador de herramientas), un anillo en la parte inferior y una sección rectangular una parte superior plana, en la Fig. 2.4 se muestra un ejemplo de un portaherramientas.

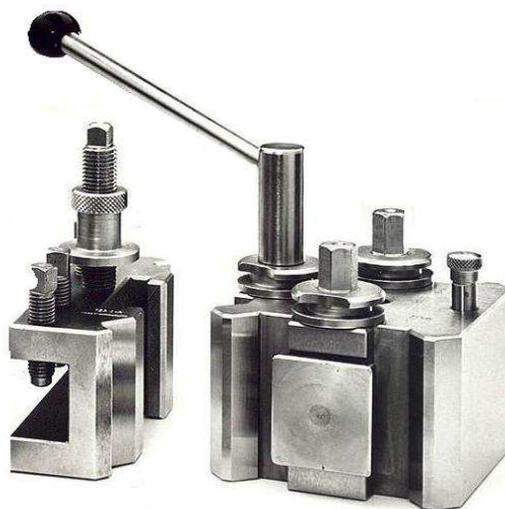


Fig. 2.4 Portaherramientas (Millán, 2006)



2.2.5 Herramientas de torneado.

2.2.5.1 Movimiento de corte.

Por lo general se imparte a la pieza que gira rotacionalmente sobre su eje principal. Este movimiento lo imprime un motor eléctrico que transmite su giro al husillo principal mediante un sistema de poleas o engranajes. El husillo principal tiene acoplado a su extremo distintos sistemas de sujeción (platos de garras, pinzas, mandrinos auxiliares u otros), los cuales sujetan la pieza a mecanizar. Los tornos tradicionales tienen una gama de velocidades fija de giro, sin embargo los tornos modernos de Control Numérico la velocidad de giro del cabezal es variable y programable y se adapta a las condiciones óptimas que el mecanizado permite.

2.2.5.2 Movimiento de avance.

Es el movimiento de la herramienta de corte en la dirección del eje de la pieza que se está trabajando. En combinación con el giro impartido al husillo, determina el espacio recorrido por la herramienta por cada vuelta que da la pieza. Este movimiento también puede no ser paralelo al eje de la bancada del torno, produciendo un movimiento de conicidad durante el desbaste de la pieza. En ese caso se gira el carro principal, ajustando en una escala graduada el ángulo requerido, que será la mitad de la conicidad deseada. Los tornos convencionales tienen una gama fija de avances, mientras que los tornos de Control Numérico los avances son programables de acuerdo a las condiciones óptimas de mecanizado y los desplazamientos en vacío se realizan a gran velocidad.

2.2.5.3 Profundidad de pasada.

Es el movimiento de la herramienta de corte que determina la profundidad de material arrancado en cada pasada. La cantidad de material factible de ser arrancada depende del perfil del útil de corte usado, el tipo de material mecanizado, la velocidad de corte, potencia de la máquina, avance, etc.

2.2.5.4 Nonios de los carros.

Para regular el trabajo de torneado los carros del torno llevan incorporado unos nonios en forma de tambor graduado, donde cada división indica el desplazamiento que tiene el carro, ya sea el longitudinal, el transversal. La medida se va conformando de forma manual por el operador de la máquina por lo que se requiere que sea una persona muy experta quien lo manipule si se trata de conseguir dimensiones con tolerancias muy estrechas. Los tornos de control numérico ya no llevan nonios sino que las dimensiones de la pieza se introducen en el programa y estas se consiguen automáticamente, ver Fig. 2.5 nonios de los carros de un torno paralelo.



Fig. 2.5 Nonios de los carros de un torno paralelo. (Fuente propia 2009)



2.2.6 Operaciones de torneado.

Entre las operaciones de torneado más resaltantes tenemos:

- Cilindrado.
- Refrentado.
- Ranurado.
- Roscado en el torno.
- Roscado en torno paralelo.
- Moleteado.
- Torneado de conos.
- Torneado esférico.
- Segado o tronzado.
- Chaflanado.
- Mecanizado de excéntricas.
- Mecanizado de espirales.
- Mecanizado de caras planas.
- Taladrado.

2.2.6.1 Cilindrado.

Esta operación consiste en la mecanización exterior a la que se somete a las piezas que tienen mecanizados cilíndricos. Para poder efectuar esta operación, con el carro transversal se regula la profundidad de pasada y, por tanto, el diámetro del cilindro, y con el carro paralelo se regula la longitud del cilindro. El carro avanza de forma manual o automática de acuerdo al avance de trabajo deseado. En este procedimiento, el acabado superficial y la tolerancia que se obtenga puede ser un factor de gran relevancia. Para asegurar calidad al cilindrado el torno tiene que tener bien ajustada su alineación y concentricidad entre puntas. En la Fig. 2.6 se observa el proceso de cilindrado.

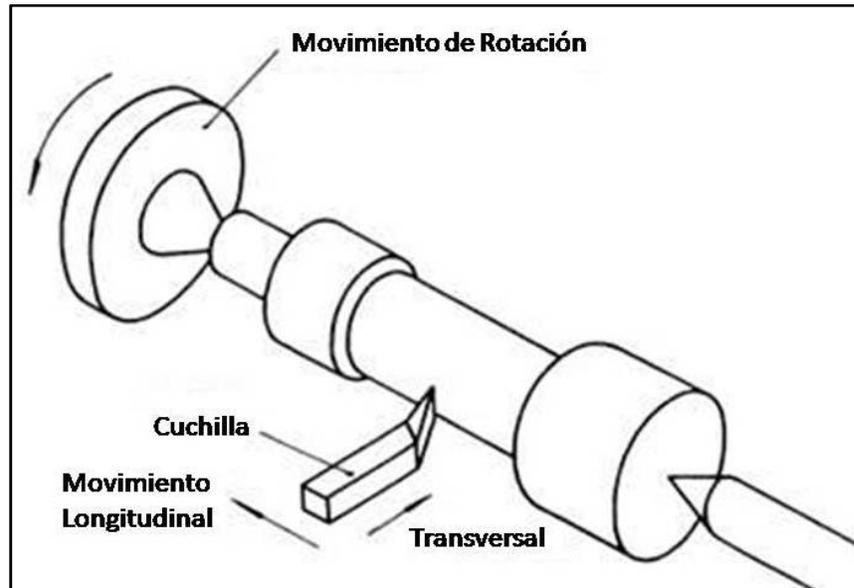


Fig. 2.6 Esquema de torneado cilíndrico. (Millán, 2006)

2.2.7 Factores que influyen en el proceso de mecanizado.

En la Tabla 2.1 se observa los factores que influyen en el proceso de corte. Para apreciar el contenido de esta tabla, se identifica las variables independientes esenciales en el proceso de corte: a) material y recubrimiento de la herramienta; b) forma, acabado superficial y filo de la herramienta; c) material y condiciones de la pieza de trabajo; d) avance, velocidad y profundidad de corte; e) fluidos de corte; f) características de la máquina herramienta y g) sujeciones y soportes de la pieza de trabajo.

Las variables dependientes en el corte son aquellas a las que afectan los cambios en las variables independientes indicados en el párrafo anterior, e incluyen: a) tipo de viruta producida, b) fuerza y energía disipada durante el corte c) elevación de temperatura en la pieza de trabajo, la herramienta y la viruta, d) desgaste y falla de la herramienta y e) acabado superficial e integridad de la superficie de la pieza de trabajo. [Kalpakjian-Schmid, 2008].



Tabla 2.1. Parámetros e influencia y relación de los factores que influyen en el proceso de mecanizado.

Parámetro	Influencia y relación
Velocidad, profundidad, fluidos y ángulos de corte.	Fuerzas, potencia, elevación de temperatura, vida útil de la herramienta, tipo de viruta, acabado e integridad superficial.
Ángulos de la herramienta	Fuerzas, potencia, elevación de temperatura, vida útil de la herramienta, tipo de viruta, acabado e integridad superficial. Influencia en la dirección de flujo de la viruta, resistencia al desgaste y astillado de la herramienta.
Viruta continua	Buen acabado superficial, fuerzas estables de corte, indeseable, en particular en la maquinaria automatizada.
Viruta de borde acumulado o recrecido.	Acabado e integridad superficial deficientes; si es delgado y estable el borde acumulado puede proteger las superficies de la herramienta.
Viruta discontinua	Deseable para facilitar la disposición de la viruta; fuerzas fluctuantes de corte; puede afectar el acabado superficial y provocar vibración y traqueteo.
Elevación de la temperatura.	Influye en la vida útil de la herramienta, en particular en la caracterización y en la precisión dimensional de la pieza de trabajo.
Desgaste de la herramienta	Influye en el acabado e integridad superficial, la precisión dimensional, la elevación de la temperatura, las fuerzas y la potencia.
Maquinabilidad	Relacionada con la vida útil de la herramienta, el acabado superficial, las fuerzas y la potencia y el tipo de viruta.

Fuente: (Kalpakjian, 2008.)

2.2.8 Factores que influyen en las condiciones tecnológicas del torneado.

2.2.8.1 Diseño y limitaciones de la pieza.

Tamaño, tolerancias del torneado, tendencia a vibraciones, sistemas de sujeción, acabado superficial, etc.



2.2.8.2 Operaciones de torneado a realizar.

Cilindrados exteriores o interiores, refrentados, ranurados, desbaste, acabados, optimización para realizar varias operaciones de forma simultánea, etc.

2.2.8.3 Estabilidad y condiciones de mecanizado.

Cortes interrumpidos, voladizo de la pieza, forma y estado de la pieza, estado, potencia y accionamiento de la máquina, etc.

2.2.8.4 Disponibilidad y selección del tipo de torno.

Posibilidad de automatizar el mecanizado, poder realizar varias operaciones de forma simultánea, serie de piezas a mecanizar, calidad y cantidad del refrigerante.

2.2.8.5 Material de la pieza.

Dureza, estado, resistencia, maquinabilidad, barra, fundición, forja, mecanizado en seco o con refrigerante, etc.

2.2.8.6 Disponibilidad de herramientas.

Calidad de las herramientas, sistema de sujeción de la herramienta, acceso al distribuidor de herramientas, servicio técnico de herramientas, asesoramiento técnico.

2.2.8.7 Aspectos económicos del mecanizado.

Optimización del mecanizado, duración de la herramienta, precio de la herramienta, precio del tiempo de mecanizado.



2.2.9 Formación de viruta.

El torneado ha evolucionado tanto que ya no se trata tan solo de arrancar material a gran velocidad, sino que los parámetros que componen el proceso tienen que estar estrechamente controlados para asegurar los resultados finales de economía, calidad y precisión. En particular, la forma de tratar la viruta se ha convertido en un proceso complejo, donde intervienen todos los componentes tecnológicos del mecanizado, para que pueda tener el tamaño y la forma que no perturbe el proceso de trabajo. Si no fuera así se acumularían rápidamente masas de virutas largas y fibrosas en el área de mecanizado que formarían madejas enmarañadas e incontrolables. La forma que toma la viruta se debe principalmente al material que se está cortando y puede ser tanto dúctil como quebradiza y frágil. El avance con el que se trabaje y la profundidad de pasada suelen determinar en gran medida la forma de viruta. Cuando no bastan estas variables para controlar la forma de la viruta hay que recurrir a elegir una herramienta que lleve incorporado un rompe virutas eficaz.

2.2.10 Tipos de viruta.

2.2.10.1 Viruta discontinua.

Las virutas discontinuas o segmentadas se originan cuando se cortan metales frágiles, como el hierro colado o fundido y bronce duro, e incluso cuando se cortan metales dúctiles en deficientes condiciones de corte.

Las condiciones que favorecen la producción de la viruta discontinua son:

- Material de trabajo frágil.
- Un ángulo de ataque pequeño en la herramienta de corte.
- Grosor grande de viruta (avance burdo o grueso).



- Baja velocidad de corte.
- Vibración excesiva de la máquina.

2.2.10.2 Viruta continua.

Es una tira continua de metal producida cuando el flujo del metal adyacente a la cara de la herramienta, no es retardada mucho por un borde acumulado o por fricción en la intercara viruta-herramienta. La viruta continua se considera ideal para una acción de corte eficiente, ya que resulta en mejores acabados superficiales. Cuando se cortan materiales dúctiles, el flujo plástico del metal ocurre en el metal deformado que desliza sobre gran cantidad de planos cristalográficos. A diferencia de la viruta discontinua no ocurren fracturas o rupturas debido a la naturaleza dúctil del metal.

2.2.10.3 Viruta continua con borde acumulado.

El acero para máquinas de bajo carbono y muchos aceros de aleación de alto carbono, cuando se cortan con una velocidad de corte baja y una herramienta de acero de alta velocidad sin el uso de líquidos para corte generalmente producen una viruta de tipo continuo con borde acumulado. El metal frente a la herramienta de corte es comprimido y forma una viruta que comienza a fluir por sobre la intercala viruta-herramienta. [Krar-Check, 2002]

2.2.11 Maquinabilidad.

La maquinabilidad de un material se define como la propiedad de un material que determine la facilidad o dificultad con la que se puede maquinar, dada un conjunto de condiciones, por lo general en términos de cuatro factores:



1. El acabado superficial y la integridad superficial de la parte maquinada.
2. La vida útil de la herramienta.
3. La fuerza y potencia requeridas.
4. El nivel de dificultad de control de la viruta.

Entonces una buena maquinabilidad indica un buen acabado superficial y una buena integridad superficial, una larga vida útil de la herramienta y bajos requerimientos de fuerza y potencia. Por lo que se refiere al control de la viruta, y como se estableció antes en relación con las virutas continuas, las virutas largas, delgadas, filamentosas y rizadas pueden interferir de manera severa en la operación y zona de corte. Por ejemplo para aleaciones de cobre como el latón se puede mecanizar sin problemas debido a la adición de plomo, sin embargo se debe considerar la toxicidad del plomo. [Kalpakjian-Schmid, 2008].

Los criterios sobre maquinabilidad dependen de muchos factores, como la máquina herramienta que se utiliza, sus características, el material de trabajo y las condiciones de corte. También depende de las preferencias del usuario por una operación en particular, algunos de los criterios sugeridos para evaluar la maquinabilidad son:

- A menudo se menciona un índice de maquinabilidad, que es una clasificación promedio dada en comparación con un material de referencia: para aceros, un acero, un acero Bessemer B1112 de maquinado libre, muy similar al actual AISI 1212; para aleaciones con base de cobre, un latón al plomo de maquinado libre, y para aleaciones de aluminio, el aluminio 7075-T6. Se basa en la velocidad de corte al torneado para una vida útil de la herramienta de 60 minutos.
- Una medida más cuantitativa es la vida de la herramienta hasta la falla total por agrietamiento bajo condiciones específicas. Las especificaciones se basan



en la velocidad de corte para una vida de la herramienta dada en minutos o segundos, o como el volumen del material removido para un criterio dado de la vida de la herramienta.

- Otra medida es el desgaste de la herramienta. Éste se puede relacionar con el desgaste gradual de la cara del flanco o con el desarrollo de del cráter. Se da como el cambio en la dimensión de la pieza maquinada debido al desgaste por tiempo unitario para una velocidad de corte y alimentación determinadas, o como el tiempo necesario para desarrollar un desgaste estándar del campo del flanco. En otros casos se especifica la profundidad del cráter.
- Otra medida cuantitativa es el acabado superficial que se produce a velocidades y alimentaciones de corte estandarizadas.
- Otras clasificaciones se basan en la fuerza de corte, en la potencia, la temperatura o en la formación de viruta.
- Como maquinabilidad es una propiedad del sistema, todas las partes de éste deben definirse si se van a obtener datos reproducibles y relevantes. Los principios de esas pruebas se definen en la norma ISO Standard 3685-1993, “prueba de la vida de la herramienta con herramientas de torneado de un solo punto”. La evaluación se basa en el desgaste de la herramienta. El desgaste se presenta como una función del tiempo cuando se prueba a una sola velocidad, y como curvas de desgaste de la herramienta – tiempo (o constantes de Taylor) cuando se ensaya a varias velocidades. La evaluación completa es lenta y costosa. Algunas pruebas abreviadas también están disponibles, aunque su validez suele ser limitada.

2.2.12 Partes, elementos y ángulos de las herramientas de corte.

La cuchilla consta del cuerpo (mango o vástago) y de la *cabeza* (la parte cortante). El mango sirve para sujetar la cuchilla en el portátil del torno. En la cabeza de la cuchilla se diferencian los siguientes elementos. Cara de desprendimiento, por la



cual se mueve la viruta. Caras de incidencia, principal y auxiliar dirigidas hacia la pieza que se trabaja.

Filos cortantes principal, formado por la intersección de la cara de desprendimiento y la principal de incidencia, y el filo auxiliar, formado por la intersección de la cara de desprendimiento y la auxiliar de incidencia. El vértice, de la cuchilla o sea, el punto de conjugación de los filos cortantes principal y auxiliar; puede ser agudo, redondeado o cortado. Para garantizar la capacidad de corte necesaria de la herramienta, obtener la precisión y calidad de acabado requeridas de las superficies de la pieza y también una alta productividad del trabajo, es imprescindible la elección acertada de la geometría de la cuchilla; es decir, la dimensión de los ángulos de la cabeza de la cuchilla. Se diferencian los ángulos en el plano y los ángulos fundamentales de la cuchilla (ángulos de la cuña de trabajo).

2.2.13 Clasificación de herramientas de corte según la clase de trabajo a ejecutar:

- Recta para Cilindrar.
- Acodada para Cilindrar.
- De Tope.
- De Refrentar (para caras).
- De Tronzar.
- De Acanalar.
- De Perfilar.
- De Roscar.
- De Tope para Mandrilar.

2.2.14 Materiales para las herramientas.

La selección de los materiales que se utilizaran en las herramientas de corte para una aplicación en particular es uno de los factores más importantes en las operaciones de maquinado, como lo es la selección del material para moldes y matrices (dados) en los procesos de formado y moldeado. [Kalpakjian-Schmid, 2008].



Se pueden usar los tres (3) modos de falla de la herramienta para identificar algunas de las propiedades importantes que deben poseer los materiales para las herramientas:

1. *Tenacidad*. Para evitar las fallas por fractura, el material de la herramienta debe tener alta tenacidad. La tenacidad es la capacidad de absorber energía sin que falle el material. Se caracteriza generalmente por una combinación de resistencia y ductilidad del material.
2. *Dureza en caliente*. Es la capacidad del material para retener su dureza a altas temperaturas. Esta es necesaria debido al ambiente de altas temperaturas en que opera la herramienta.
3. *Resistencia al desgaste*. La dureza es la propiedad más importante que se necesita para resistir el desgaste abrasivo. Todos los materiales para herramientas de corte deben ser duros. Sin embargo, la resistencia al desgaste en el corte de metales no solamente depende de la dureza de la herramienta, sino también de otros mecanismos de desgaste. El acabado superficial de la herramienta (superficial mas lisa significa coeficiente de fricción más bajo), la composición química de la herramienta y de los materiales de trabajo, y el uso de un fluido para corte son otras características que afectan la resistencia al desgaste. [Groover, 1.997].

2.2.15 Desgaste y afilado de las herramientas.

Como resultado del rozamiento de la viruta con la cara de desprendimiento de la cuchilla y de las caras de incidencia de la misma con la superficie de la pieza a trabajar, se desgasta la parte de trabajo de la herramienta de corte. La herramienta de corte desgastada se reafila.



Para el afilado de las herramientas de corte se usa la máquina afiladora-rectificadora. Para garantizar una posición estable de las herramientas de corte que se afila, en la máquina se encuentra un dispositivo especial llamado apoya manos al afilar la herramienta de corte es necesario presionar ligeramente la superficie que se afila contra la muela en rotación y, para que el desgaste de esta última sea más uniforme y la superficie que se afila resulte plana, la herramienta de corte se debe desplazar continuamente a lo largo de la superficie de trabajo de la muela.

Se afilan primeramente las caras principales y auxiliares de incidencia, a continuación la cara de desprendimiento y el vértice de la herramienta de corte. Después del afilado se efectúa el afinado de la herramienta de corte, consistente en el esmerilado de las caras de desprendimiento a incidencia en una parte estrecha a lo largo del borde cortante, lo que garantiza la rectificación del filo y la elevación de la durabilidad de la herramienta de corte. La geometría de la herramienta de corte después del afilado se comprueba con plantillas especiales, transportadores de ángulos y otros instrumentos.

El afilado de las herramientas de corte lo tienen que realizar solamente aquellos trabajadores que conozcan las instrucciones sobre la técnica de seguridad. Para trabajar con la máquina afiladora hay que observar los siguientes requisitos de seguridad:

- Antes de comenzar el afilado de la herramienta hay que asegurarse del buen estado de todos los mecanismos y dispositivos de la máquina, incluso de la cubierta protectora de la muela y el sentido correcto de rotación de la misma (la muela debe girar hacia la herramienta de corte); comprobar la colocación correcta del apoya manos: la holgura entre la cara de trabajo de la muela y el extremo del apoya manos no debe exceder de 3 mm.



- Se permite una nueva colocación del apoyo manos solamente después de que la muela esté parada por completo; se prohíbe trabajar en una máquina de afilar sin apoyo manos ni cubierta protectora; durante el afilado se debe cerrar la zona del afilado instalando una pantalla protectora transparente o ponerse gafas protectoras.

Es imprescindible observar las siguientes reglas para el uso de las herramientas de corte:

- Antes de conectar el avance, es necesario apartar la herramienta de corte de la pieza, lo cual protege el borde de corte contra el desmoronamiento. Se recomienda afilar periódicamente la herramienta de corte con una barra abrasiva de grano fino directamente en el portaherramientas, lo que alarga la duración de servicio de la herramienta de corte.
- Se prohíbe dejar que el borde de incidencia de la herramienta de corte se desgaste considerablemente, es necesario reafilar esta última antes de que comience a destruirse el borde de corte, o sea, con una anchura de la parte desgastada de la cara de incidencia principal de la herramienta de corte de 1 a 1,5 mm.
- Se prohíbe emplear las herramientas de corte como guarniciones, la herramienta de corte de aleación dura se debe entregar al almacén, cuando la plaquita de aleación dura se ha separado del mango. Se prohíbe colocar las herramientas de corte sin orden (en montón) en la caja para las herramientas.



2.2.16 Vida de la herramienta.

En todo proceso de manufactura tiene que haber un equilibrio entre el volumen de producción y los costos de producción, es por esto que un tema de mucha importancia es el desgaste y duración de la herramienta bajo las distintas condiciones de trabajo. La vida útil de la herramienta Se define como la longitud de tiempo de corte en el cual se puede utilizar la herramienta. Una forma de definir la vida de la herramienta consiste en permitir su operación hasta que ocurra una falla catastrófica; sin embargo en producción es inconveniente usar una herramienta hasta que ocurra esta falla, debido a las dificultades que acarrea el reafilado de la herramienta y a los problemas que ocasiona a la calidad de las partes de trabajo. Como una alternativa se puede seleccionar un nivel de desgaste como criterio de la vida de la herramienta y reemplazarla cuando el desgaste alcance su nivel. Un criterio conveniente de la vida de la herramienta es un cierto valor de desgaste del flanco o superficie de incidencia, como 0.05mm, esto se puede observar más adelante en la grafica de la Fig. 2.9 donde se ilustra como línea horizontal. Cuando cada una de las tres (3) curvas de desgaste intercepta la línea se define que la vida de las herramientas correspondientes ha terminado. Si los puntos de intersección se proyectan sobre el eje del tiempo se pueden identificar los valores de la vida de la herramienta. [Groover, 1.997].

Hay tres formas posibles de falla en una herramienta de corte en maquinado.

1. *Falla por fractura.* Este modo ocurre cuando la fuerza de corte se hace excesiva en la punta de la herramienta, causando una falla repentina por fractura.
2. *Falla por temperatura.* Esta falla ocurre cuando la temperatura de corte es demasiado alta para el material de la herramienta, causando ablandamiento en la punta, deformación plástica y pérdida del filo en el borde.



3. *Desgaste gradual.* El desgaste gradual del borde cortante ocasiona pérdida de la forma de la herramienta, reducción en la eficiencia del corte, desgaste acelerado y falla final de la herramienta, a la falla por temperatura.

2.2.16.1 Desgaste de la herramienta

El desgaste gradual ocurre en dos lugares principales de la herramienta de corte: en la parte superior de la superficie de ataque y en el flanco o superficie de incidencia. Por tanto, se pueden distinguir dos tipos principales de desgaste de la herramienta de corte: 1) desgaste de cráter y 2) desgaste del flanco. El desgaste de cráter es una sección cóncava de la superficie. Los altos esfuerzos y temperaturas caracterizan a la interfase de contacto herramienta-viruta y contribuyen a la acción de desgaste. El cráter puede medirse ya sea por su profundidad o por su área. El desgaste del flanco o superficie de incidencia de la herramienta, Resulta del rozamiento entre la recién creada superficie de trabajo y la cara del flanco adyacente al borde del corte. El desgaste del flanco se mide por el ancho de la banda de desgaste, FW. A esta banda se le llama frecuentemente la banda de desgaste.

Se pueden identificar varias características del desgaste del flanco. En primer lugar, aparece frecuentemente un desgaste extremo en el flanco sobre el filo de corte en el sitio que corresponde a la superficie original de la parte de trabajo. A éste se le llama muesca de desgaste, y ocurre porque la superficie original de trabajo es más dura y más abrasiva que el material interno. El endurecimiento por trabajo es provocado por el estirado en frío o por maquinados previos, así como por partículas de arena en la superficie de la fundición o por otras razones. El desgaste del radio de la nariz es la segunda región de desgaste del flanco que puede identificarse y conduce a la terminación del borde del corte. [Groover, 1.997].



2.2.16.2 Criterios para la vida de la herramienta en producción.

Aunque el desgaste del flanco es el criterio de la vida de la herramienta en el análisis de la ecuación de Taylor, este criterio no es práctico en una fábrica a causa de las dificultades y el tiempo requerido para medir el desgaste del flanco. A continuación se presentan ocho (8) criterios para determinar la vida útil de la herramienta durante las operaciones de maquinado, pero en alguno de ellos tienen carácter subjetivo:

1. La falla completa del borde cortante (por fractura, por temperatura o por desgaste).
2. La inspección visual por el operador de la máquina del desgaste del flanco (o desgaste del cráter) sin microscopio. Este criterio se limita al juicio y habilidad del operador para observar el desgaste de la herramienta a simple vista.
3. La prueba al tacto del borde o filo cortante (con la uña) por el operador.
4. Los cambios en el sonido emitido por la operación, a juicio del operador.
5. La viruta se vuelve más larga, enmarañada y más difícil de eliminar.
6. Degradación del acabado superficial en el trabajo.
7. Mayor consumo de potencia medido por un vatímetro conectado a la máquina de herramienta.
8. Conteo de las piezas de trabajo. Se capacita al operador para que cambie la herramienta después de un número específico de partes maquinadas. Tiempo acumulado de corte, el cual es similar a la cuenta de partes del número anterior, excepto que se registra la longitud de tiempo que ha trabajado la herramienta. Esto es posible en las máquinas herramientas controladas por computadoras, la cual se programa para registrar el tiempo total de corte de cada herramienta. [Groover, 1.997].



La vida de la herramienta de corte afecta la elección de herramientas, de las condiciones del proceso, de la economía de la operación y de la posibilidad de automatización y control por computadora. No es posible dar una definición simple de la vida de la herramienta de corte: ésta se debe especificar con la adecuada consideración a los objetivos del proceso. Así, en las operaciones de terminado la calidad superficial y la precisión dimensional son las más importantes; en el desbaste, se puede tolerar un deterioro mayor de la calidad superficial y de la precisión dimensional, a cambio de una alta tasa de remoción del metal; un límite absoluto se alcanza cuando las fuerzas de corte se incrementan hasta valores suficientemente altos para causar la fractura de la herramienta de corte.

Todas estas consideraciones se traducen en algunos valores fácilmente medibles. Muy frecuentemente, el desgaste del flanco VB ó $VB_{m\acute{a}x}$ se especifica como el final de la vida útil de la herramienta. Otros criterios incluyen un desgaste específico de cráter, pérdida total del filo o de la nariz de la herramienta, o desgaste total de volumen (flanco y cráter). La vida de la herramienta de corte se considera como el tiempo (en minutos) que le toma alcanzar el criterio específico de desgaste bajo determinadas condiciones del proceso (velocidad, avance, profundidad del corte), aunque para la producción en masa en líneas de transferencia es necesaria que la vida de la herramienta sea de horas.

2.2.17 Mecanismos de desgaste en una herramienta de corte.

La vida de las herramientas de corte puede terminar por varias causas, pero éstas pueden separarse en dos grupos principales:

- a) El desgaste progresivo de la herramienta.
- b) Fallas mecánicas que lleven a la herramienta a un final prematuro.



El desgaste progresivo de la herramienta de corte se puede producir de tres maneras distintas:

- **Desgaste por abrasión:** Ocurre cuando partículas duras del material de trabajo rayan y remueven pequeñas porciones de las herramientas de corte desgastándolas. Esta acción abrasiva ocurre tanto en el desgaste del flanco como en el desgaste en el cráter, pero ocurre predominantemente en el desgaste en el flanco.
- **Desgaste por adhesión:** Como en la zona de corte se produce una alta temperatura, el material de corte y la herramienta de corte se sueldan debido a la presión y al calor, y a medida que la viruta fluye se rompen pequeñas partículas de la herramienta y al separarse, parte de la herramienta de corte se desprende desgastándose.
- **Desgaste por difusión:** Se produce a partir del aumento de temperatura de la herramienta de corte, con lo que se produce una difusión entre las redes cristalinas de la pieza y la herramienta, debilitando la superficie de la herramienta de corte debido a que esta queda agotada por los átomos que imparten su dureza. Se cree que este mecanismo es la causa principal del desgaste en cráter.
- **Deformación plástica:** La deformación plástica del borde cortante debido a las fuerzas de corte que actúan sobre él y las altas temperaturas hace que la herramienta de corte sea más vulnerable a la abrasión en su superficie. [Pereira, 2006].

El desgaste se puede observar en dos regiones de la herramienta de corte, la cara o cráter y el flanco, estos desgastes se pueden visualizar en la Fig. 2.7 Desgaste de cráter y flanco.

Las fallas mecánicas se pueden producir en cualquier momento, y ocurren cuando la fuerza de corte se hace excesiva en la punta de la herramienta de corte, causando una falla repentina, debe existir por lo tanto precaución ante el hecho de usar inadecuadamente un avance o una profundidad de corte demasiado grande, pues al ocurrir una falla de este tipo, la herramienta de corte será inútil inmediatamente, y su costo no es nada de despreciable.

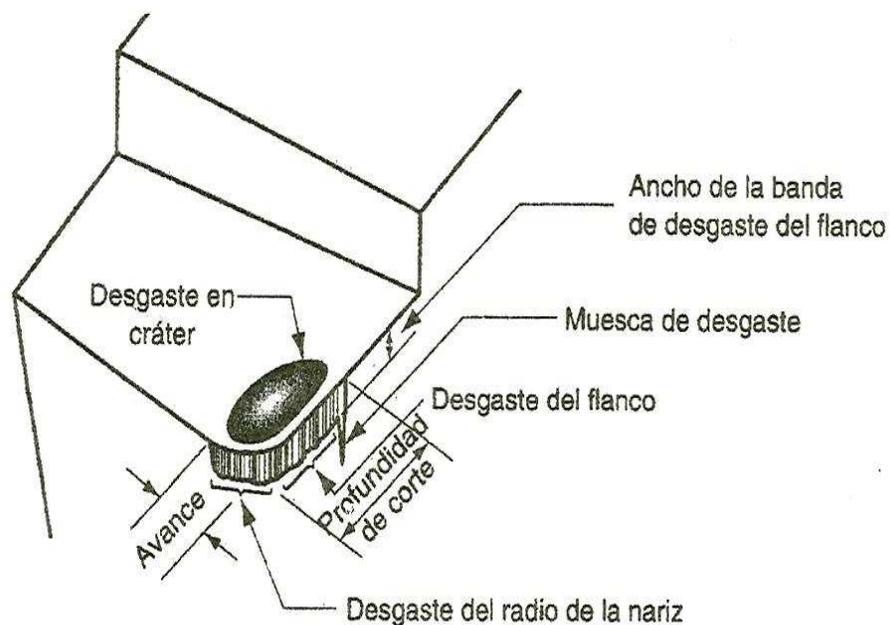


Fig. 2.7 Desgaste de cráter y flanco (Groover, 1.997)

2.2.18 Comportamiento del desgaste de una herramienta de corte a través del tiempo.

Las fallas por fractura y altas temperaturas dan como resultado una pérdida prematura de la herramienta de corte, de forma catastrófica, mientras que en el desgaste el comportamiento es gradual, en este caso se pueden distinguir tres períodos de desgaste en la vida de una herramienta de corte:

- *Fractura inicial o periodo de rompimiento*, en el cual el borde cortante afilado se desgasta rápidamente al entrar en uso. Esto ocurre en los primeros minutos de corte.
- *Desgaste progresivo uniforme u estable*, en esta etapa el desgaste es gradual y constante.
- *Fractura rápida*, el desgaste progresa a una tasa creciente debido al daño acumulado se incrementa notablemente la temperatura y la eficiencia del proceso de mecanizado se reduce.

Estas zonas son específicas para cada material a mecanizar y de acuerdo a los parámetros de corte utilizados, los tres períodos se muestran en la figura 2.8.

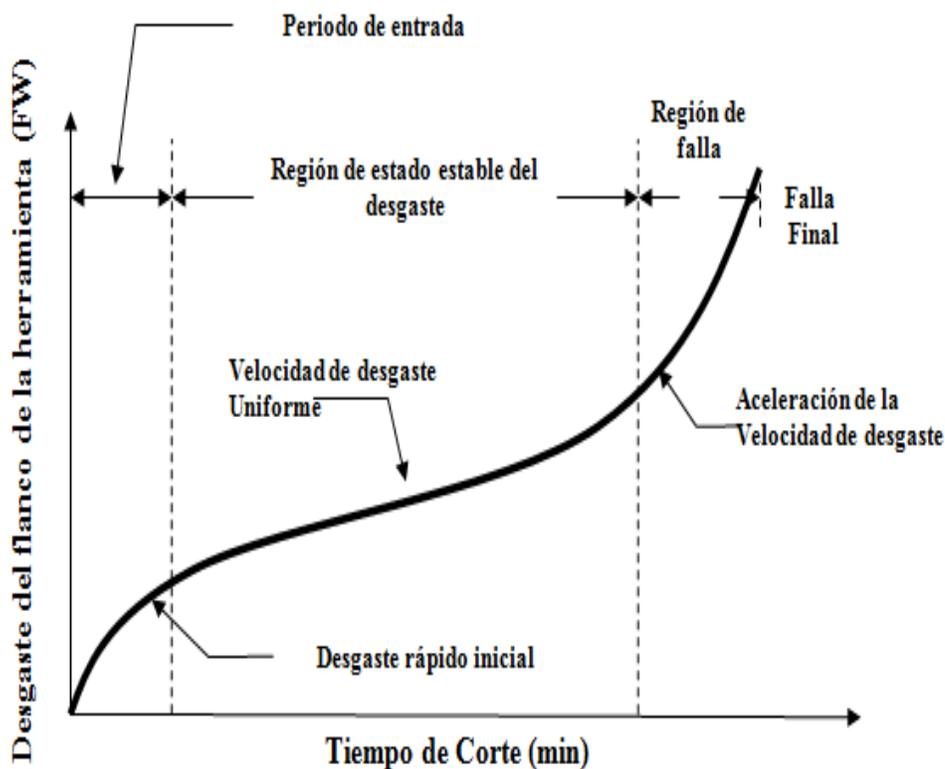


Fig. 2.8. Desgaste de la herramienta en función del tiempo. [Groover, 1.997].

Aunque la tasa de desgaste de la herramienta de corte depende de muchos parámetros como el avance, la profundidad de corte, el material a mecanizar y la velocidad de corte, esta última es la más significativa de las cuatro. Al incrementarse la velocidad de corte se incrementa la velocidad de desgaste, alcanzándose un mismo nivel de desgaste en menos tiempo. La vida útil de la herramienta de corte debe limitarse entonces hasta cierto punto antes de que ocurra la falla catastrófica de la misma. En la figura 2.9 se observa cuanto es el incremento de la vida útil de una herramienta de corte cuando se disminuye la velocidad de corte.

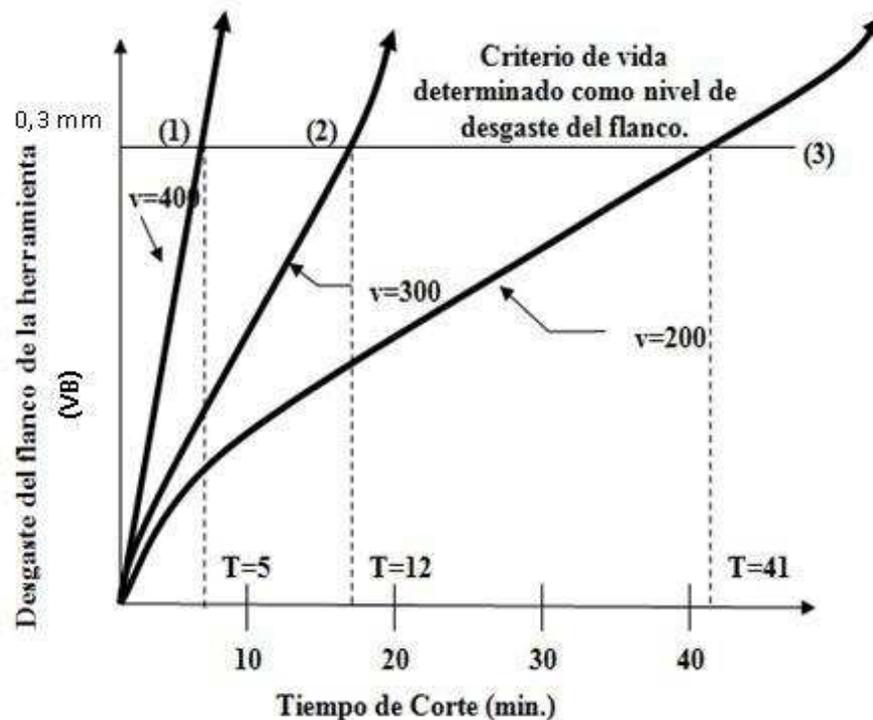


Fig. 2.9. Efecto de la velocidad de corte sobre el desgaste en el flanco. [Groover, 1.997].

Existen normas que marcan estándares en los criterios de desgaste para herramientas de acero rápido, sin embargo estas solo sirven de guía o referencia al momento de evaluar la vida útil de las herramientas, como por ejemplo la norma ISO 3685-1993, la cual indica que el criterio de desgaste para una herramienta de corte de acero rápido se ubica por el orden de los 0,3 mm, sin embargo esta misma norma hace referencia que los criterios se ajustan al aspecto económico y duración de los



ensayos, por lo cual se puede aumentar o disminuir el criterio de desgaste según sea el caso específico

2.2.19 Ecuación de Taylor.

Si los valores de la vida de la herramienta de corte para las tres curvas de desgaste de la figura 2.10 se trazan en una gráfica Log-Log de velocidad de corte contra la vida de la herramienta, la relación resultante es una línea recta el descubrimiento de esta relación fue en 1900 y se le acredita a F. W. Taylor se puede expresar en forma de ecuación y se llama la ecuación de Taylor para la vida útil de la herramienta de corte:

$$VT^n = C$$

Donde V = a la velocidad de corte (pies/min) o (m/min); T = vida de la herramienta (min); n y C son parámetros cuyos valores que dependen del avance, de la profundidad de corte, del material de corte, de la herramienta (material en particular) y del criterio usado para la vida útil de la herramienta de corte. El valor de n depende del material de la herramienta, mientras que C depende más del material de trabajo y de las condiciones de corte.

La ecuación de Taylor establece básicamente que las velocidades de corte más altas traen como consecuencia una vida útil más corta de la herramienta de corte. (Groover, 1.997)

2.2.20 Efecto de los ángulos en la vida de la herramienta de corte.

En general, puede decirse que en condiciones de cortes deficientes, las que se caracterizan por energías específicas de corte y temperaturas elevadas, el desgaste de



la herramienta es grande. Un aumento en el ángulo de inclinación (de desprendimiento) generalmente conduce a un mejoramiento en las condiciones de corte, por lo que se esperaría un aumento en la duración del filo de la herramienta. Sin embargo, cuando el ángulo de inclinación es grande, el filo es mecánicamente débil, lo que resulta en un desgaste mayor por unidad de tiempo y en una duración más corta de la herramienta, también disminuye la capacidad de disipación de calor en la pieza de trabajo. En compensación, para un conjunto fijo de condiciones de corte, existe un valor óptimo de ángulo de inclinación que aumenta la duración de la herramienta de corte.

2.2.20.1 Los ángulos de ataque o de desprendimiento (γ).

Se usan para permitir la salida de la viruta, estos ángulos son el de desprendimiento trasero y el de inclinación lateral, estos se encuentran en la cara de la herramienta de corte y poseen una pendiente hacia atrás y en alejamiento de las aristas cortantes. La inclinación del ángulo influye en la compresión del material delante de la herramienta de corte, también se ve su efecto en la zona de cizallamiento y en la formación de la viruta.

2.2.20.2 Ángulo de inclinación lateral.

Es el ángulo en la cara de la herramienta de corte con una pendiente hacia atrás desde la arista de corte lateral. Este ángulo se mide en un plano paralelo a la dirección del avance o perpendicular con el extremo de la herramienta de corte, este ángulo determina la forma como la viruta se desprende de la pieza de trabajo y se aleja de la arista de corte. A medida que este ángulo aumenta, la arista de corte es más propensa a la rotura, porque tiene menos apoyo, los ángulos de inclinación lateral grandes son buenos para cortar materiales dúctiles, sus características permiten ángulos más grandes y mayores velocidades de corte, para los materiales más duros



se reduce el ángulo porque la arista cortante necesita más apoyo. Con los ángulos de inclinación lateral negativos, la cara de la herramienta de corte tiene la pendiente hacia la arista cortante, da apoyo y fuerza a la arista cortante, pero se necesita más fuerza para el corte.

2.2.20.3 Ángulo superior de inclinación.

Es la pendiente de la cara de la herramienta de corte desde la nariz hacia atrás en la herramienta de corte, es un medio adicional para guiar la viruta. Debe tener el mínimo para dar más apoyo a la arista cortante. Un ángulo pequeño de inclinación permite mejor disipación de calor, comúnmente esta entre los 5° y 10° . Los materiales quebradizos requieren un ángulo muy pequeño, cualquiera que sea el material de trabajo el ángulo debe ser muy pequeño, el ángulo superior de inclinación es negativo cuando la inclinación es hacia la nariz de la herramienta, este tipo de ángulo obliga a la viruta a doblarse y a romperse en un momento dado.

2.2.20.4 Ángulo de incidencia (α).

Esta debajo de la arista de corte para poder penetrar en la pieza de trabajo. Evitan la frotación de la herramienta de corte contra el material de trabajo durante el corte, deben ser lo más pequeño posible, para apoyar la arista cortante. Los ángulos de 6° a 8° suelen ser suficientes para evitar la fricción, el ángulo de corte depende del diseño de la herramienta de corte y del material de trabajo, los ángulos grandes de corte disminuyen la transferencia de calor y pueden ocasionar traqueteo, el cual puede causar falla y acabados ásperos de la superficie. Para materiales dúctiles y blandos se aumentan los ángulos de corte. Los ángulos de corte grandes necesitan afilado constante.



2.2.20.5 Radio de punta.

Es un ligero redondeo en la punta de la herramienta de corte. La nariz y el radio de la herramienta es donde se cruzan la arista de corte de extremo y las laterales. El radio de nariz es usado para mejorar el acabado superficial y reforzar la herramienta de corte, a mayor tamaño del radio mayor es la resistencia de la herramienta de corte, debido a que existe una mayor superficie de contacto entre la pieza y la herramienta de corte, con un radio grande se reduce la presión contra la herramienta, ya que es proporcional a la superficie de contacto.

2.2.21 Nomenclatura de las herramientas de corte.

Las herramientas de corte utilizadas en un torno por lo general son de punta simple y aunque la forma de la punta se modifica para diversas aplicaciones, se aplica la misma nomenclatura para todas las herramientas de corte.

- La base es la superficie inferior del cuerpo de la herramienta.
- El filo (o arista cortante) es el borde frontal del buril, que realiza el corte.
- La cara es la superficie superior contra la que empuja la viruta conforme se separe de la pieza de trabajo.
- El flanco es la superficie lateral de la herramienta adyacente y situada debajo de la arista afilada.
- La punta es el extremo filoso de la herramienta de corte, formado en la unión del flanco y la superficie frontal.
- El radio de punta (o nariz) es la curvatura de la punta; el tamaño del acabado para desbaste, se utiliza un radio de punta pequeño. [de aproximadamente 1/64 pulgada (0,32mm)]. Se usa un radio mayor [de aproximadamente 1/16 a 1/8 pulgadas (1,5mm a 3mm)] para los cortes de acabado.

- La cabeza cortante es el extremo de la herramienta (buril) con afilado para hacer el corte.
- El cuerpo o vástago es el soporte del extremo cortador, y es la parte sujeta por el porta buril o portaherramientas. (Krar / Check, 2002).

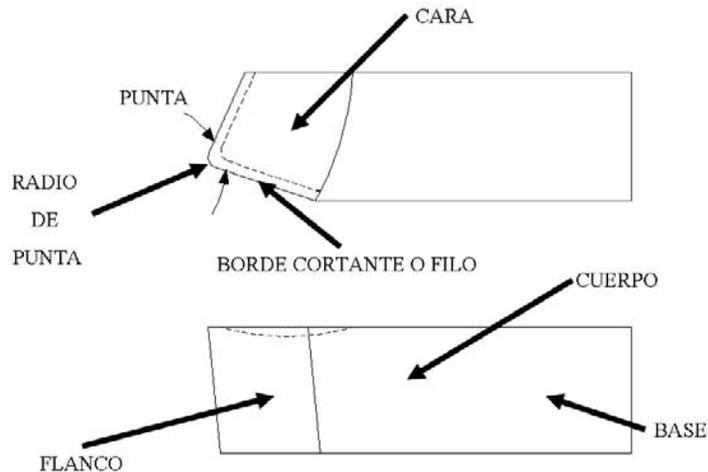


Fig. 2.10. Nomenclatura de las Herramientas de Corte. (Groover, 1.997)

2.2.22 Bronce

Es el nombre con el que se denomina toda una serie de aleaciones metálicas que tienen como base el cobre, combinado con un 3 a 20 por ciento de estaño y proporciones variables de otros metales como zinc, aluminio, antimonio, o fósforo. Los elementos con características de dureza superiores al cobre permiten mejorar sus propiedades mecánicas.

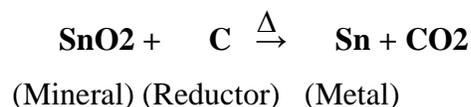
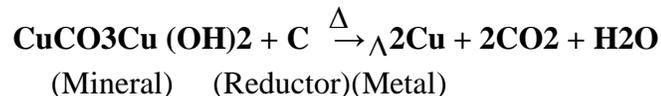
Las aleaciones constituidas en forma preponderante por cobre y zinc se denominan latón: sin embargo, teniendo en cuenta que la composición moderna por lo general incluye tanto zinc como estaño, la diferencia exacta entre ambos nombres no está bien determinada, especialmente en el lenguaje coloquial. Fue la primera aleación de importancia obtenida por el hombre, definiendo el período prehistórico conocido como Edad de bronce. Sus aplicaciones incluyen partes mecánicas



resistentes al roce y a la corrosión, instrumentos musicales de buena calidad como campanas, gongs, saxofones, y se la utiliza así mismo para fabricar cuerdas de pianos, arpas y guitarras.

2.2.22.1 Cómo se obtiene el bronce.

El bronce, la aleación metálica que marcó el final del neolítico, se obtiene a partir de una mezcla de cobre con un 8 por ciento de estaño. La transformación se produce a temperaturas elevadas. El cobre funde a 1078 °C y el estaño a 232 °C; pero a partir de 800 °C se obtiene una disolución metálica-líquida con una temperatura óptima de colada cercana a los 1200 °C. Partiendo de los minerales, el proceso de reducción es como sigue:



Teniendo en cuenta las masas molares y la estequiometría de la reacción química, si mezclamos 1 mol de malaquita (mineral oxidado: $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$. % Cu = 57,0%.) (221 gramos) con un mol de carbono (12 gramos de carbón), obtendremos unos dos moles de cobre (126 gramos). Para alearlo al 8 por ciento, necesitaremos 10 g de estaño. Los obtendremos reduciendo 0,1 moles de casiterita (15 gramos) con 0,1 moles de carbono (1,2 gramos de carbón). En la práctica, puede reducirse ligeramente la cantidad de carbón necesaria trabajando en un crisol de grafito.



2.2.22.2 Propiedades mecánicas y físicas del bronce.

A continuación se presentan algunas de las propiedades más importantes para una aleación promedio 89 % cobre y 11 % estaño

Tabla 2.2. Características mecánicas del bronce.

Estado	Composición	Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	Límite elástico (kg/mm ²)	Alargamiento %
Laminado blando	94% Cu-6% Sn	38-45	-	60-70
Laminado duro	94% Cu-6% Sn	60-85	-	4-6
Fundido	89% Cu-11% Sn	26	14	16
Fundido	87% Cu-13% Sn	25	17	3
Fundido	84% Cu-16% Sn	25	20	1.4
Fundido	86% Cu-12% Sn 2% Zn	20	-	5
Fundido	93% Cu-4% Sn 1% Pb-2% Zn	20	-	25
Fundido	85% Cu-5% Sn 5% Pb-5% Zn	15	-	10
Fundido	82% Cu-8% Sn 3% Pb-	15	-	6
Fundido	85% Cu-9% Sn 1% Pb-5% Zn	20	-	12
Fundido	86% Cu-10% Sn 1.5% Pb-2.5% Zn	20	-	9
Fundido	86% Cu-10% Sn 1.5% Pb-2.5% Zn	28	14	30
Fundido	80% Cu-10% Sn 10% Pb	26	13	22
Fundido	78% Cu-8% Sn 14% Pb	20	12	16
Fundido	81% Cu-18.5% Pb	7.8	3.2	6.6
Fundido	73.5% Cu-26% Pb	6.4	5	4.5

Fuente: (Hamrock, et Al, 2000).



Tabla 2.3. Propiedades físicas.

Densidad	8,90 g / cm ³ .
Punto de fusión	830 a 1020 °C
Coefficiente de temperatura	0,0006 K ⁻¹
Resistividad eléctrica	14 a 16 μOhm/cm
Coefficiente de expansión térmica	entre 20 y 100 °C > 17,00 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Conductividad térmica a 23 °C	42 a 50 W ^m ⁻¹

Fuente: (Hamrock, et Al, 2000).

Tabla 2.4. Propiedades mecánicas.

Elongación	< 65%
Dureza Brinell	70 a 200
Módulo de elasticidad	80 a 115 GPa
Resistencia a la tracción	300 a 900 MPa

Fuente: (Hamrock, et Al, 2000).

2.2.23 Principales aleaciones.

2.2.23.1 Tipos básicos.

La aleación básica de bronce contiene aproximadamente un 88 por ciento de cobre y 12 por ciento de estaño . El bronce "*alfa*" es la mezcla sólida de estaño en cobre. La aleación alfa de bronce con 4 a 5 por ciento de estaño se utiliza para acuñar monedas y para fabricar resortes, turbinas, y herramientas de corte.

En muchos países se denomina "*bronce comercial*" al latón, que contiene un 90 por ciento de cobre y 10 por ciento de zinc, pero no estaño. Es más duro que el cobre, y tiene una ductilidad similar. Se le utiliza en tornillos y alambres.



2.2.23.1.1 Bronce Arsenical.

La aleación de cobre con arsénico es el primer bronce utilizado por el hombre. Es una aleación blanquecina, muy dura y frágil. Se fabrica en una proporción de 70 por ciento de cobre y 30 por ciento de arsénico, aunque es posible fundir bronce con porcentajes de arsénico de hasta 47,5 por ciento. En estos casos, el resultado es un material gris brillante, fusible al rojo y no alterado por el agua hirviente. La simple exposición al aire del bronce arsenical produce un aspecto oscuro. Esta circunstancia, y la alta toxicidad del arsénico la convirtieron en una aleación muy poco utilizada, especialmente a partir del descubrimiento de la *alpaca*, *plata alemana* o *bronce blanco*, conocida desde tiempos antiguos en China y fabricada en Alemania desde fines del siglo XVIII.

2.2.23.1.2 Bronce de Laminación.

Tiene entre el 90 - 97 por ciento de cobre y el 3 - 10 por ciento de estaño, su peso específico es de 8.8 g/cm^3 , su temperatura de fusión es $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ y su conductividad térmica de $70 \text{ kcal/h m }^\circ\text{C}$.

2.2.23.1.3 Bronce Sol.

El denominado bronce sol (alemán; *Sonnenbronze*) es una aleación utilizada en joyería, tenaz, dúctil y muy dura, que funde a temperaturas próximas a las del cobre ($1.357 \text{ }^\circ\text{C}$) y está constituido hasta por un 60 por ciento de cobalto.



2.2.23.1.4 Bronce Rojo.

Tiene entre el 82 - 90 por ciento de cobre, entre el 4 - 12 por ciento de estaño, entre el 2 - 7 por ciento de zinc y entre el 0 - 5 por ciento de plomo, su peso específico es de 8.2 a 8.5 g/cm³ y su temperatura de fusión es 1100 °C.

2.2.23.1.5 Bronce al Plomo.

Tiene de 5 - 11 por ciento de estaño, de 18 - 22 por ciento de plomo y el resto de cobre. También se considera bronce al plomo las aleaciones que contienen del 10 - 40 por ciento de plomo y un 60 - 90 por ciento de cobre y no tengan estaño. Su peso específico es de 8.9 a 9.4 g/cm³ y su temperatura de fusión varía entre los 950 °C y los 1050 °C. Existen otros bronce especiales aleados con aluminio, níquel, etc.

2.2.23.1.6 Bronce Fosforoso.

Tiene de 10 - 20 por ciento de estaño y de 80 - 90 por ciento de cobre, sin ningún otro elemento aleado, su peso específico es de 8.8 a 8.9 g/cm³, su temperatura de fusión es 1150 °C y su conductividad térmica de 43.5 kcal/h m°C.

2.2.24 Descripción general del bronce fosforoso.

A continuación se presentan una serie de características importantes que presenta el bronce fosforoso como material no ferroso:



Tabla 2.5. Características generales del bronce fosforoso.

Propiedades Eléctricas	Coefficiente de Temperatura (K^{-1}) [0,0006-0,0007] Resistividad Eléctrica (μOhmcm) [11,0-16,0]
Propiedades Físicas	Densidad (g/cm^3) 8,9 Punto de Fusión (C) [900-1050]
Propiedades Mecánicas	Alargamiento (%) <60 Dureza Brinell [80-225] Módulo de Elasticidad (GPa) [90-120] Resistencia a la Cizalla (MPa) [250-430] Resistencia a la Tracción (MPa) [320-740]
Propiedades Térmicas	Coefficiente de Expansión Térmica @20-100C ($\times 10^{-6} K^{-1}$) 17,0 Conductividad Térmica a 23C ($\text{W m}^{-1} K^{-1}$) 50-75

Fuente: (Hamrock, et Al, 2000).



MARCO METODOLÓGICO

En toda investigación científica, se hace necesario, que los hechos estudiados, los resultados obtenidos y las evidencias significativas encontradas en relación al problema investigado, reúnan diferentes condiciones de fiabilidad, objetividad y validez; para lo cual se requiere delimitar los procedimientos de orden metodológicos a través de los cuales se intenta dar respuestas a las interrogantes y objetivos establecidos. En tal sentido se considero importante desarrollar los siguientes elementos: tipo y diseño de la investigación, equipos, materiales, herramientas y el procedimiento experimental. En este capítulo se describe la metodología necesaria para el desarrollo los objetivos planteados.

3.1 Tipo de investigación.

Es de tipo descriptiva y experimental; La investigación descriptiva, es aquella que trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Mientras que la experimental consiste en la manipulación de una (o más) variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. (Grajales, 2000).

La parte de recolección de datos experimentales se desarrolló en el laboratorio de procesos de fabricación y manufactura en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, empleando como equipo un torno paralelo, marca MISAL HERON KN18 para realizar el estudio sobre la vida útil de una herramienta de corte (HSS) al mecanizar barras de bronce fosforoso; en la cual intervendrán las siguientes variables: avance, profundidad de corte y velocidad de corte



3.2 Equipos, materiales y herramientas.

3.2.1 Equipos:

3.2.1.1 Torno.

El proceso de estudio de la vida útil de la herramienta de corte se realizó en el torno paralelo marca "MISAL HERON KN18" como se aprecia en la Fig. 2.21. Posee una longitud de bancada de 3 metros, volteo de 40 cm, velocidades de giro del husillo en un rango de 50 – 1200 rpm, precisión de posicionamiento de 0.05 mm, un rango de avance que oscilan entre 0.017 mm / Rev. hasta 1.4 mm / Rev., Un diámetro mínimo por garra de 3 mm, diámetro con garras abiertas de 250 mm, diámetro sin bancada de hasta 560 mm, diámetro interno del mandril de 50,8 mm y una potencia del motor de 3Hp.



Fig. 3.1 Torno paralelo marca MISAL HERON KN18. (Fuente propia, 2009).



3.2.1.2 Perfilómetro.

Con este instrumento de medición se apreciará el desgaste de la herramienta, el perfilómetro disponible es un “PJ 2500 MITUTOYO”. Posee mecanismos que dan el movimiento de la base en direcciones longitudinales y transversales, estos mecanismos están expresados tanto en milímetros como en pulgadas, con un aumento entre 10X y 50X, máxima longitud de pieza 123,5 mm, rango de θ de $\pm 360^\circ$, rango en XY 50 x 50 mm, ver Fig. 3.2.



Fig. 3.2 Perfilómetro .PJ 2500 Mitutoyo. (Fuente propia, 2009).

3.2.2 El material.

El material a emplear son 12 barras de bronce fosforoso de un diámetro de tres por dieciséis pulgadas de largo (3x16”), el cual serán mecanizadas con una herramienta de acero rápido (HSS), con el fin de obtener el comportamiento y vida



útil del instrumento de corte, así como también información sobre la influencia del bronce en la durabilidad de dichas herramientas.

Tabla 3.1. Composición química única (%) del material utilizado.

Material	Elementos			
	Cu	Sn	Pb	Zn
Bronce Fosforoso (SAE 40)	85,5	5	4,5	5

Fuente: certificado de calidad bronce fosforoso SAE 40. Empresa Inversiones FASBRO.

3.2.3 Herramienta de corte.

La herramienta de corte a utilizar en el desarrollo de los ensayos será de acero rápido (HSS) marca L&W Tools 1/2x6; poseerá una geometría fija; se usaran los ángulos recomendados como son: de incidencia Alpha (α), de talla o de filo Beta (β) y de ataque Gamma (γ) cuyos estándares para los aceros al carbono son (A.L. Casillas 1998):

- Ángulo de Incidencia (α): 5°
- Ángulo de filo (β): 73°
- Ángulo de ataque (γ): 12°

3.2.4 Cilindrado del Material.

Con los valores previamente seleccionados de los parámetros de corte, se realizó el cilindrado del material, con el fin de obtener los datos necesarios para estudiar el desgaste de flanco de la herramienta de corte. El proceso consistió en torneado durante intervalos de 10 minutos y desmontar la herramienta para ser objeto



de medición en el perfilometro. Esto se hizo tantas veces como fue necesario hasta que el desgaste de la cara del flanco de la herramienta de corte alcanzó el criterio de desgaste antes mencionado y seleccionado. Para obtener la totalidad de los ensayos se procedió a dividir las nueve (9) barras para cada nivel de prueba, como ejemplo para el nivel 1 comprendido por el conjunto de velocidades (V1, V2, V3) combinados con los parámetros de avance y profundidades (f1, d1) establecidos en este nivel. A medida que se cilindró, el diámetro de la pieza iba disminuyendo, por lo cual para mantener la velocidad de corte en un rango promedio de diferencia aceptable se aumentaron los valores de las rpm en el torno para cada pasada, con esto se garantizó que la velocidad de corte empleada no variara mucho para cada pasada en cada ensayo. Esta operación se repitió para todas las combinaciones de los ensayos empleados.

Por ello la adquisición de barras de 3” de diámetro para garantizar que la remoción del material cumpla con las necesidades de cada ensayo en la evaluación de la vida útil de una herramienta de corte.

3.3 Selección de parámetros en el proceso de torneado.

Los parámetros que se utilizaron en estos ensayos se establecieron tomando en cuenta las limitaciones del torno y valores recomendados en la bibliografía.

Los parámetros utilizados en los ensayos son: Avance (f), Velocidad de corte (V), y profundidad de corte (d). Para los parámetros de avance y profundidad de corte se fijaron tres (3) valores distintos y para la velocidad de corte 3 niveles diferentes por encima de los valores recomendados, esto genera una combinación entre estos valores para un total de 27 ensayos.

Las variables seleccionadas para el estudio de la vida útil serán las siguientes:



- Velocidad de Corte (V).
- Avance (f).
- Profundidad (d).

3.3.1 Avance (f).

Para la selección de los avances se tomaron en cuenta las condiciones referentes al material y limitaciones del torno, avances rápidos generan mayor desgaste en la cara del flanco de la herramienta de corte. De acuerdo a las características de la herramienta de corte, de las propiedades mecánicas y la disponibilidad de estos parámetros en la máquina (MISAL HERON KN18), se escogieron los siguientes valores (A.L. Casillas 1998):

$$f1 = 0,08 \text{ mm/rev}$$

$$f2 = 0,12 \text{ mm/rev}$$

$$f3 = 0,16 \text{ mm/rev}$$

3.3.2 Velocidad de Corte (V).

Tomando en cuenta los avances seleccionados se puede adoptar una posición de los engranajes que garanticen mantener en un rango las velocidades de corte seleccionadas, de modo que el porcentaje de error sea menor y los resultados sean aceptables. Estas velocidades se seleccionaron de acuerdo a la dureza del material. Como el bronce fosforoso es un material blando, se tomó en cuenta esta característica para asignarle valores por encima de la velocidad recomendada por la bibliografía (Pollack, 1.987).

Las velocidades elegidas son:



Tabla 3.2. Valores del primer nivel de ensayos.

	f1,d1	f1,d2	f1,d3	f2,d1	f2,d2	f2,d3	f3,d1	f3,d2	f3,d3
Dp (mm)	74,7	74,2	73,7	74,7	74,2	73,7	74,7	74,2	73,7
N (RPM)	355	355	355	355	355	355	355	355	355
Vc Real	83,31	82,75	82,20	83,31	82,75	82,20	83,31	82,75	82,20
Velocidad de corte promedio más la desviación estándar para el ensayo									
82,75 ± 0,48 m/min									

Tabla 3.3. Valores del primer nivel de ensayos.

	f1,d1	f1,d2	f1,d3	f2,d1	f2,d2	f2,d3	f3,d1	f3,d2	f3,d3
Dp mm	65,7	62,2	53,7	62,7	58,2	48,7	49,7	49,2	48,7
N RPM	530	530	610	530	610	740	740	740	740
Vc Real	109,39	103,39	102,91	104,40	111,53	113,22	115,54	114,30	113,22
Velocidad de corte promedio más la desviación estándar para el ensayo									
109,76 ± 4,96 m/min									



Tabla 3.4. Valores del primer nivel de ensayos.

	f1,d1	f1,d2	f1,d3	f2,d1	f2,d2	f2,d3	f3,d1	f3,d2	f3,d3
Dp mm	56,7	46,2	33,7	44,7	34,2	33,7	34,7	34,2	33,7
N RPM	740	915	915	915	915	1110	1110	1110	1110
Vc Real	124,84	121,31	96,87	128,49	98,31	117,52	121,01	119,26	117,52
Velocidad de corte promedio más la desviación estándar para el ensayo									
116,12 ± 11,07 m/min									

Por lo tanto a velocidad de corte constante se tiene:

$$V1 = 82,75 \text{ m/min} ; V2 = 109,76 \text{ m/min};$$

$$V3 = 116,12 \text{ m/min}$$

3.3.3 Profundidad de Corte (d).

Se seleccionaron valores constantes de profundidad de corte para los tres (3) niveles distintos de velocidades y avances, estos valores son los siguientes:

$$d1 = 1,5 \text{ mm}; d2 = 2 \text{ mm}$$

$$d3 = 2,5 \text{ mm}$$



Tabla 3.5. Tabla de valores de las variables utilizadas en los ensayos.

Variables	Niveles	Valores
Velocidad de corte (m/min)	1	82,75
	2	109,76
	3	116,12
Avance (mm/rev)	1	0,08
	2	0,12
	3	0,16
Profundidad (mm)	1	1,5
	2	2
	3	2,5

Fuente: propia, 2009.

3.4 Diseño experimental.

El diseño experimental consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente). El diseño de investigación experimental es netamente explicativo, por cuanto su propósito es demostrar que los cambios en la variable dependiente fueron causados por la variable independiente. Es decir, se pretende establecer con precisión una relación causa-efecto. (Grajales G, 2000).



3.5 Descripción de los ensayos experimentales para la obtención de los datos.

En función de las referencias disponibles en la bibliografía consultada (Pollack, 1987), se seleccionaron los valores iniciales de los parámetros de corte para la evaluación de la vida útil de la herramienta de corte, para el mecanizado de un material específico (Bronce Fosforoso) con estos valores ($V = 40$ m/min., $d = 2,5$ mm y $f = 0,03$ mm/rev). Se realizó un periodo de vida útil de mecanizado de la herramienta de corte de acero rápido (HSS), donde se observó que la vida útil para esta herramienta de corte en el mecanizado de bronce fosforoso tiene una larga duración.

En relación a la evaluación de la vida útil de una herramienta de corte, se procedió a la disminución del criterio de desgaste, tomando como referencia la norma ISO 3685-1993, en el requerimiento de cada exigencia de trabajo, especialmente en las piezas fabricadas en con bronce fosforoso (bocinas, engranajes, camisas de ejes, puntos de lubricación, etc.) debido a que estas necesitan tener un mecanizado limpio y con un acabado superficial preciso y óptimo, mientras que hay otras piezas que no lo ameritan ya que cada operación de trabajo tiene su condición particular y esta puede o no variar dependiendo del tipo de actividad a realizar.

Por otro lado se presentó la dificultad de la obtención del bronce fosforoso, debido a que este solo se obtenía mediante grandes empresas o industrias que necesitaran el material, como a mayor criterio de desgaste se necesita mayor número de material, se decidió basándose en la literatura, exigencias del acabado de piezas, disminuir el criterio de desgaste, lo que conllevó a la utilización de 9 barras para los ensayos efectivos o finales, mientras que 3 barras fueron utilizadas para los ensayos preliminares que definieron los parámetros y las condiciones de trabajo empleadas en la elaboración del estudio de la vida útil de una herramienta de corte.



Se decidió bajar el criterio de desgaste tomando en consideración aspectos económicos y de duración de las pruebas, aún y cuando la norma usada como referencia indica que para herramientas de acero rápido el criterio de desgaste recomendado es de 0,3 mm, esta también hace alusión a la posibilidad de aumentar o disminuir dicho criterio según sean los requerimientos, es este caso se decidió tomar un criterio de desgaste menor (0,17 mm) para garantizar la realización de todas las pruebas con el material que se tuvo a disposición.

En la Fig. 3.3 se muestra el tiempo de vida útil para la herramienta de corte utilizando los parámetros más críticos, los cuales son $V_3 = 116,12$ m/min; $f = 0,16$ mm/rev; $d = 2,5$ mm, para un criterio de desgaste de 0,3 mm. Se tomó como referencia esta gráfica para disminuir el criterio de desgaste como condición de trabajo.

3.5.1 Medición de desgaste de la herramienta de corte.

Una vez que se mecanizó durante espacios determinados de tiempo, se procedió a la medición del desgaste en la cara del flanco, este, al cruzar el criterio de desgaste se dió por finalizada la vida de la herramienta de corte por lo que se reafiló la herramienta de corte para continuar con otro ensayo. En total se hicieron 27 ensayos de desgaste de flanco obteniendo datos para tabulación y realización de los distintos cálculos.



Tabla 3.6. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,16 \text{ mm/rev}$ y $d = 2,5 \text{ mm}$ para un criterio de desgaste de flanco de $0,3 \text{ mm}$.

Tiempo	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
VB	0	0,097	0,181	0,254	0,277	0,283	0,289	0,292	0,296	0,303

Gráfico de Referencia

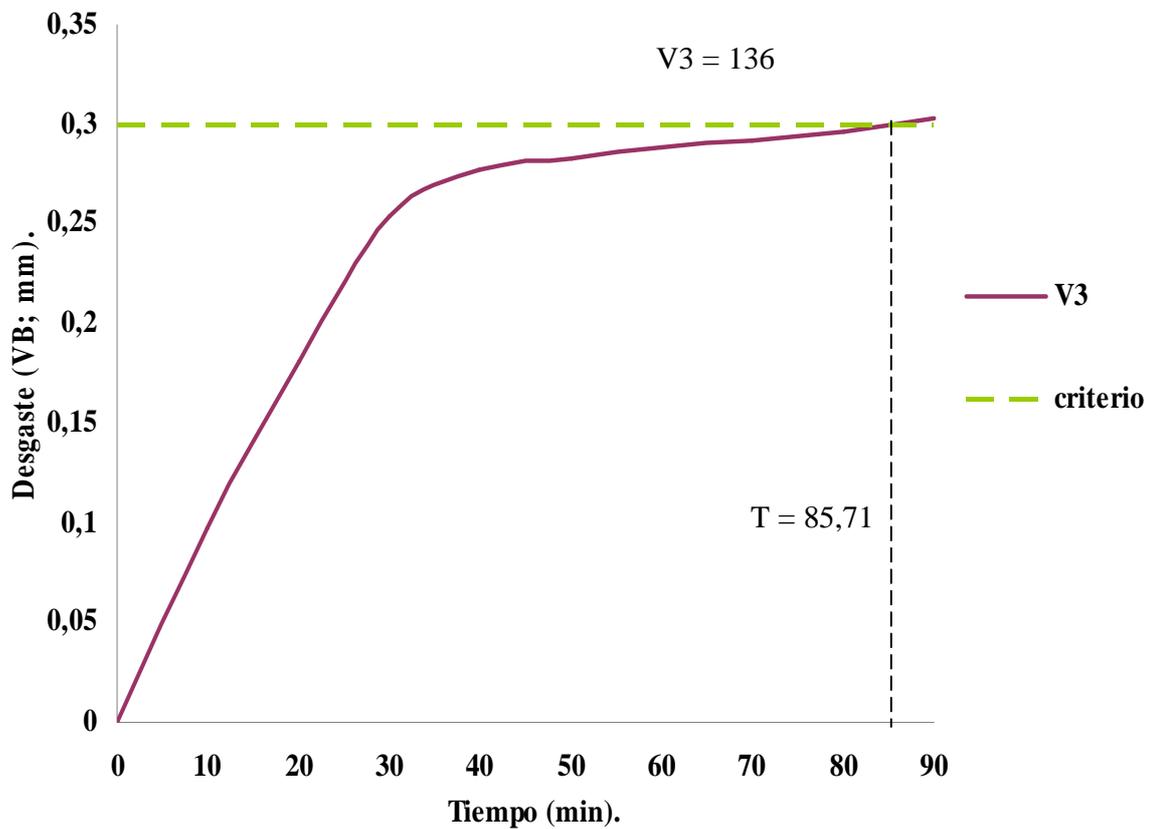


Fig. 3.3 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,16 \text{ mm/rev}$ y $d = 2,5 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).

A continuación se presenta la secuencia de los pasos de cómo se realizó el plan de trabajo.

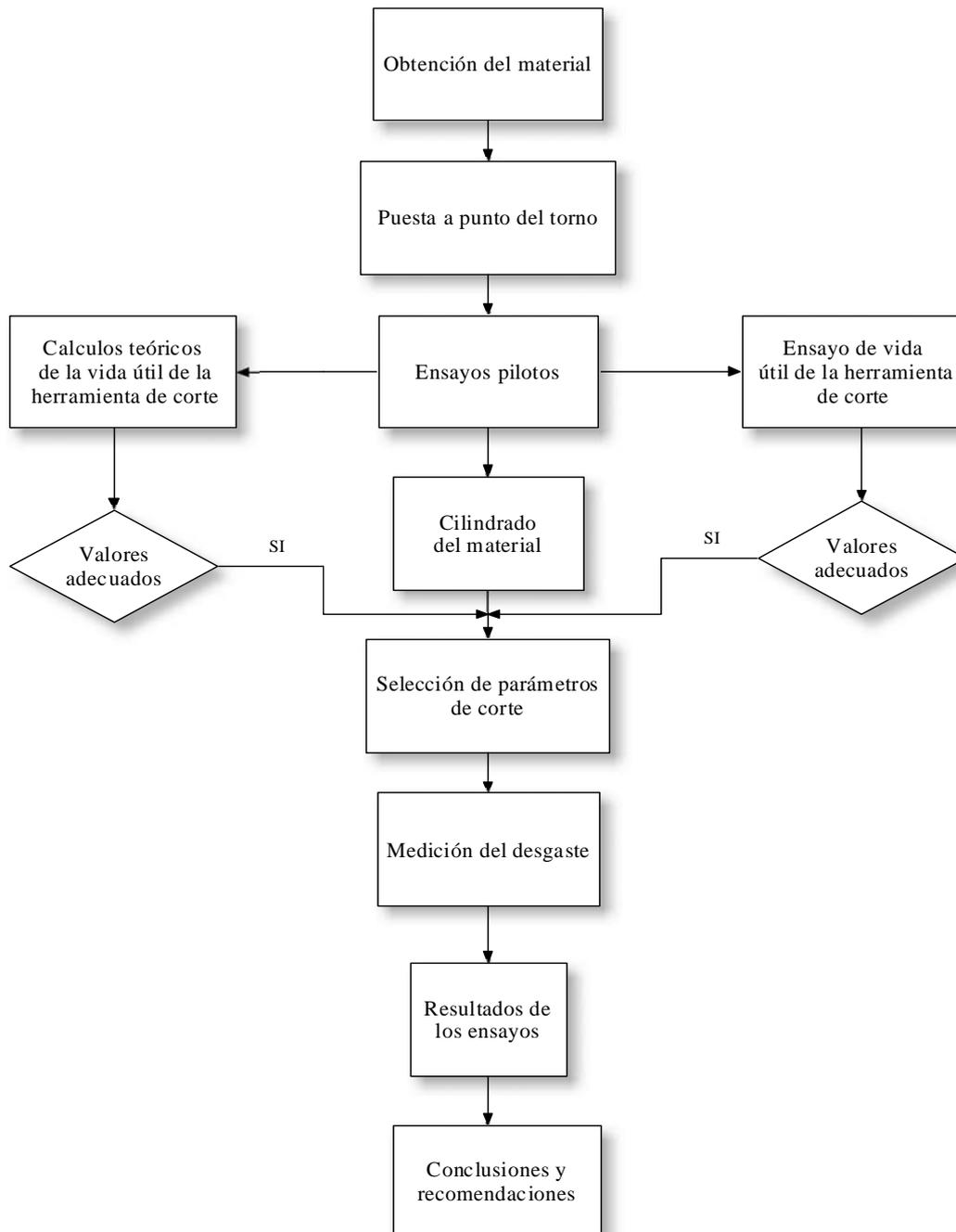


- I. Obtención de los materiales a ensayar (Bronce fosforoso y Herramienta de corte).
- II. Puesta a punto del torno, revisión de estado.
- III. Realización de ensayos pilotos que permitieron establecer los parámetros adecuados para ensayar la vida útil de la herramienta de corte.
- IV. Selección de los parámetros de corte adecuados tomando en cuenta la bibliografía y disposición del torno.

- V. Se inspeccionó el estado del filo nuevo o de las caras de la herramienta de corte (HSS) antes del inicio de cada prueba, lo cual sirvió de referencia en posteriores mediciones del desgaste del flanco, debido a que se hizo a partir del filo original de corte.
- VI. Se le asignaron valores iniciales al experimento tomando en cuenta el criterio de desgaste de la herramienta de corte (HSS) previamente establecido.
- VII. Se ensaya la vida de la herramienta de corte en los diferentes procesos de cilindrado a diferentes niveles de los parámetros de corte
- VIII. Se realiza la respectiva tabulación de los datos arrojados por el experimento.



3.5.2 Diagrama de procedimiento.





3.6 Técnica de procesamiento y análisis de datos.

Se refiere a las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan a fin de obtener una representación de los mismos, en este caso se habla de gráficos y tablas. El procesamiento de datos se realizara mediante gráficos para medir la influencia de cada uno de los valores estudiados en los diferentes ensayos; mientras que el análisis se hará de manera individual y general a través de la interpretación de los gráficos



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presenta de forma gráfica y detallada los resultados obtenidos de todas las pruebas y ensayos realizados para el desarrollo del trabajo de grado, mostrando la influencia de las variables de corte y la geometría de la herramienta en la formación del desgaste de filo de la misma; en el mecanizado de bronce fosforoso (SAE 40). Con estos datos que se presentan se podrá evaluar de forma general la vida útil de la herramienta de corte.

Las gráficas que se muestran a continuación, describen el comportamiento del desgaste de una herramienta de corte, en función del tiempo. Para obtener estas gráficas, se realizó una serie de ensayos experimentales con diferentes parámetros de corte como variables entre los cuales tenemos: Velocidad (V), avance (f) y profundidad de corte (d). La metodología para la recolección de los datos, se basó en la medición del desgaste del filo de la herramienta de corte en el instrumento denominado perfilómetro, esto se hizo considerando intervalos de tiempo de diez (10) minutos hasta conseguir que el desgaste alcanzara el criterio seleccionado; al obtener todos los datos de cada una de las mediciones, se procedió a realizar las curvas correspondientes para cada nivel de velocidad, comparando los puntos de desgaste medidos con el tiempo en que se cumplió el criterio de desgaste seleccionado en cada uno de los ensayos.

Estos gráficos definen el tiempo de vida útil de la herramienta de corte para cada uno de los parámetros en estudio, al tomar los diferentes datos experimentales, se garantiza una mejor aproximación de los resultados, los gráficos señalan la vida útil de la herramienta de corte, cuando corta la línea punteada denominada criterio de desgaste, se origina un punto el cual se conoce como el tiempo (min) que dura el filo



de la herramienta de corte y con esto se conoce el punto donde se debe reafilar, para evitar malos acabados en el material.

Cuando se comparan estos gráficos, se observa similitud en su comportamiento, es decir, a medida que aumenta la velocidad la vida útil se hace más corta, esto se ve reflejado, cuando la línea de la velocidad V_1 se intersecta con el criterio de desgaste en un punto más lejano a las otras velocidades en estudio. Esto ocurre en los diferentes ensayos realizados, sin embargo el tiempo de vida útil se hace más corto cuando los parámetros de corte van aumentando, todas estas condiciones se muestran y se pueden analizar en las diferentes gráficas realizadas por cada uno de los parámetros de corte establecidos.

4.1 Influencia de los parámetros de corte en el desgaste de flanco.

Tabla 4.1. Tabla de especificaciones material, herramienta y ángulo de ataque.

Material	Bronce fosforoso (SAE 40)
Herramienta	Acero rápido marca L&W Tools 1/2x6
Angulo de ataque	12°

Fuente: propia, 2009.



Fig. 4.1 Operación de cilindrado. (Fuente propia,2009).



Tabla 4.2. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,08 \text{ mm/rev}$ y $d = 1,5 \text{ mm}$

Tiempo (min).	Desgaste (mm).		
	Velocidades (m/min).		
	V1	V2	V3
	$82,75 \pm 0,48$	$109,76 \pm 4,96$	$116,12 \pm 11,07$
0	0	0	0
10	0,113	0,126	0,133
20	0,139	0,151	0,159
30	0,151	0,175	0,179
40	0,167		x
50	0,176	x	x

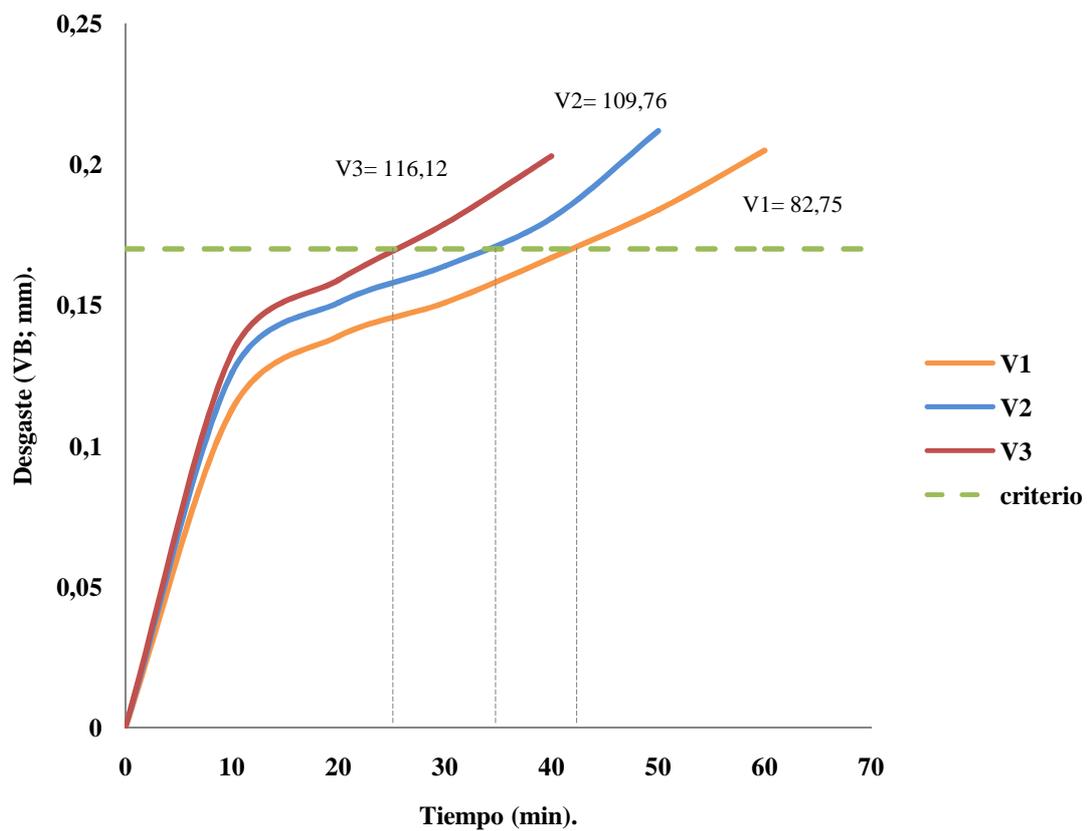


Fig. 4.2 Gráfico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,08 \text{ mm/rev}$ y $d = 1,5 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).



Tabla 4.3. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,08 \text{ mm/rev}$ y $d = 2 \text{ mm}$

Tiempo (min).	Desgaste (mm).		
	Velocidades (m/min).		
	V1	V2	V3
	$82,75 \pm 0,48$	$109,76 \pm 4,96$	$116,12 \pm 11,07$
0	0	0	0
10	0,127	0,133	0,141
20	0,148	0,156	0,166
30	0,158	0,1835	0,18
40	0,17	x	x
50	0,181	x	x

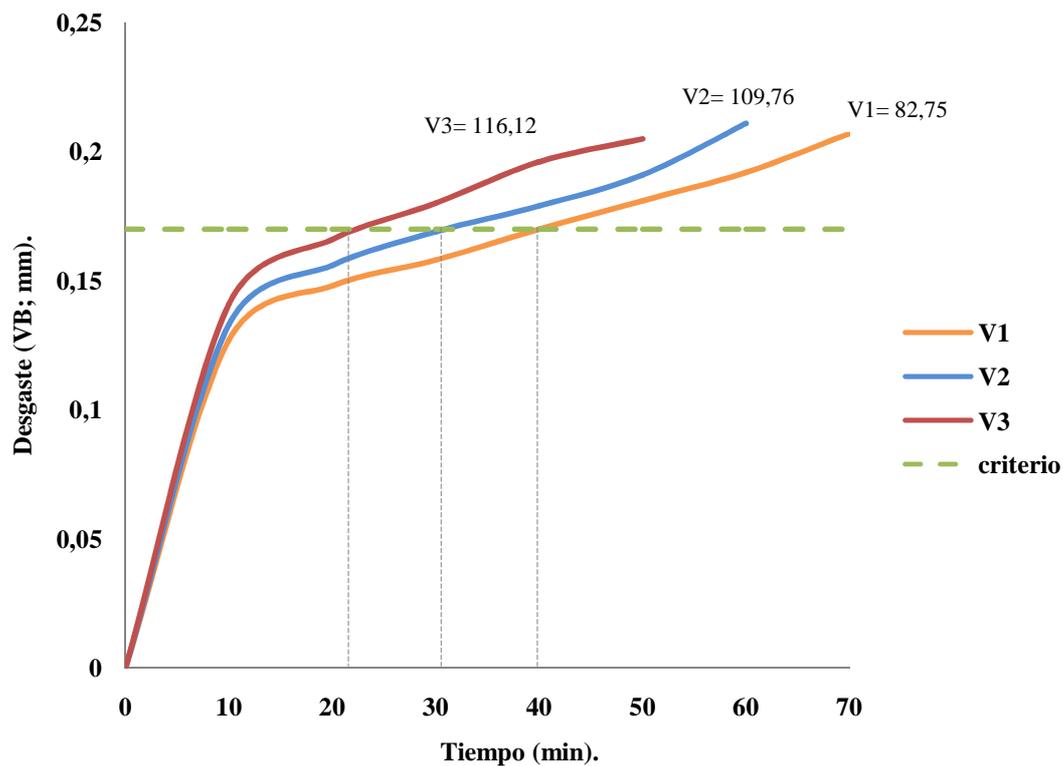


Fig. 4.3 Grafico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,08 \text{ mm/rev}$ y $d = 2 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).



Tabla 4.4. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,08 \text{ mm/rev}$ y $d = 2,5 \text{ mm}$

Tiempo (min).	Desgaste (mm).		
	Velocidades (m/min).		
	V1	V2	V3
	$82,75 \pm 0,48$	$109,76 \pm 4,96$	$116,12 \pm 11,07$
0	0	0	0
10	0,123	0,13	0,136
20	0,147	0,156	0,164
30	0,163	0,171	0,183
40	0,184	x	x

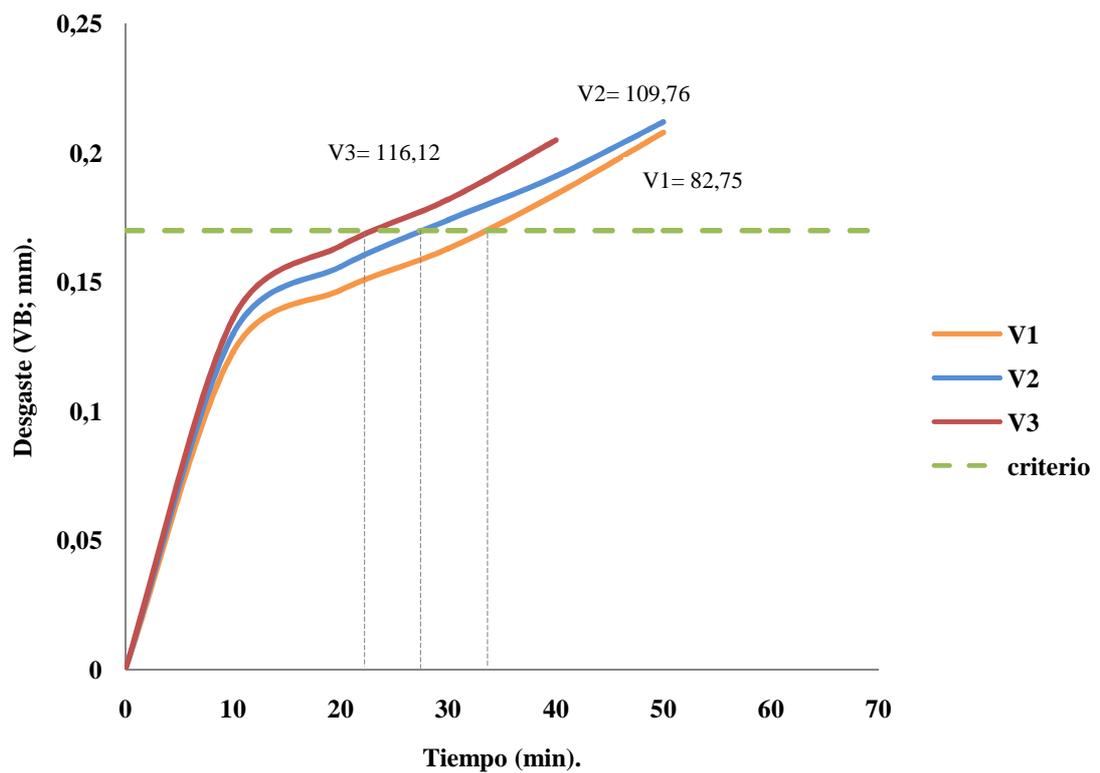


Fig. 4.4 Gráfico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,08 \text{ mm/rev}$ y $d = 2,5 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).



Tabla 4.5. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,12 \text{ mm/rev}$ y $d = 1,5 \text{ mm}$

Tiempo (min).	Desgaste (mm).		
	Velocidades (m/min).		
	V1	V2	V3
	$82,75 \pm 0,48$	$109,76 \pm 4,96$	$116,12 \pm 11,07$
0	0	0	0
10	0,121	0,126	0,13
20	0,143	0,147	0,162
30	0,159	0,20	0,199
40	0,175	x	x

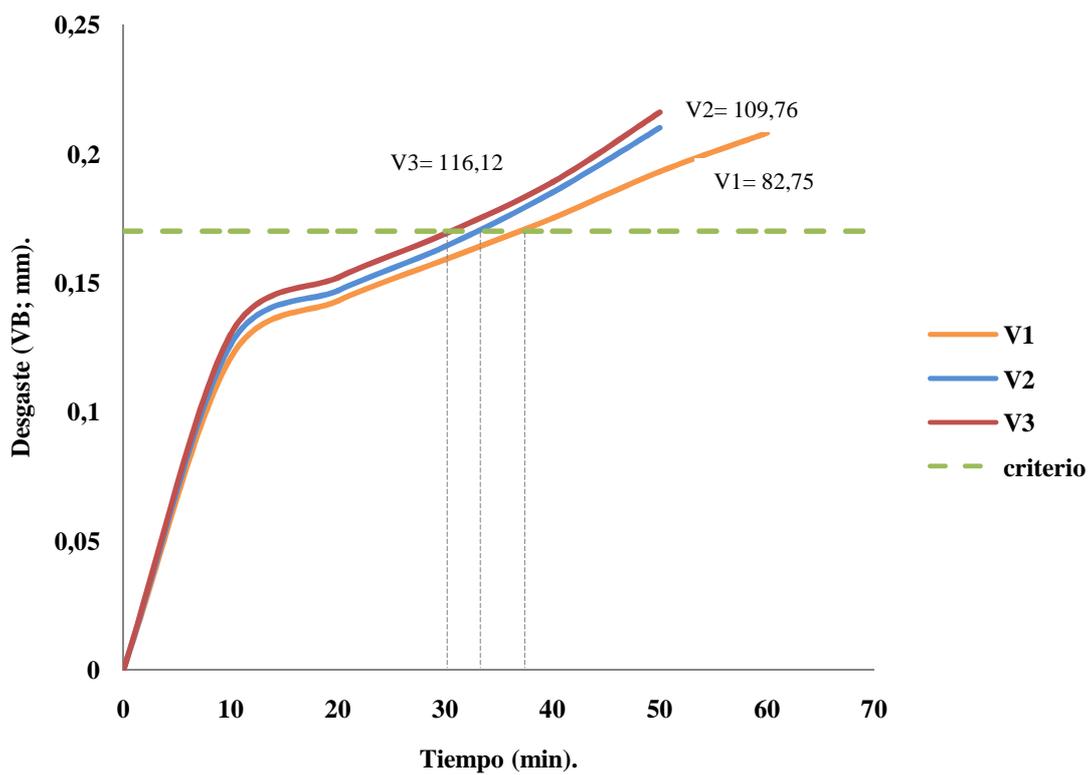


Fig. 4.5 Gráfico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,12 \text{ mm/rev}$ y $d = 1,5 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).



Tabla 4.6. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,12 \text{ mm/rev}$ y $d = 2 \text{ mm}$

Tiempo (min).	Desgaste (mm).		
	Velocidades (m/min).		
	V1	V2	V3
	$82,75 \pm 0,48$	$109,76 \pm 4,96$	$116,12 \pm 11,07$
0	0	0	0
10	0,127	0,131	0,134
20	0,152	0,157	0,172
30	0,163	0,235	x
40	0,173	x	x

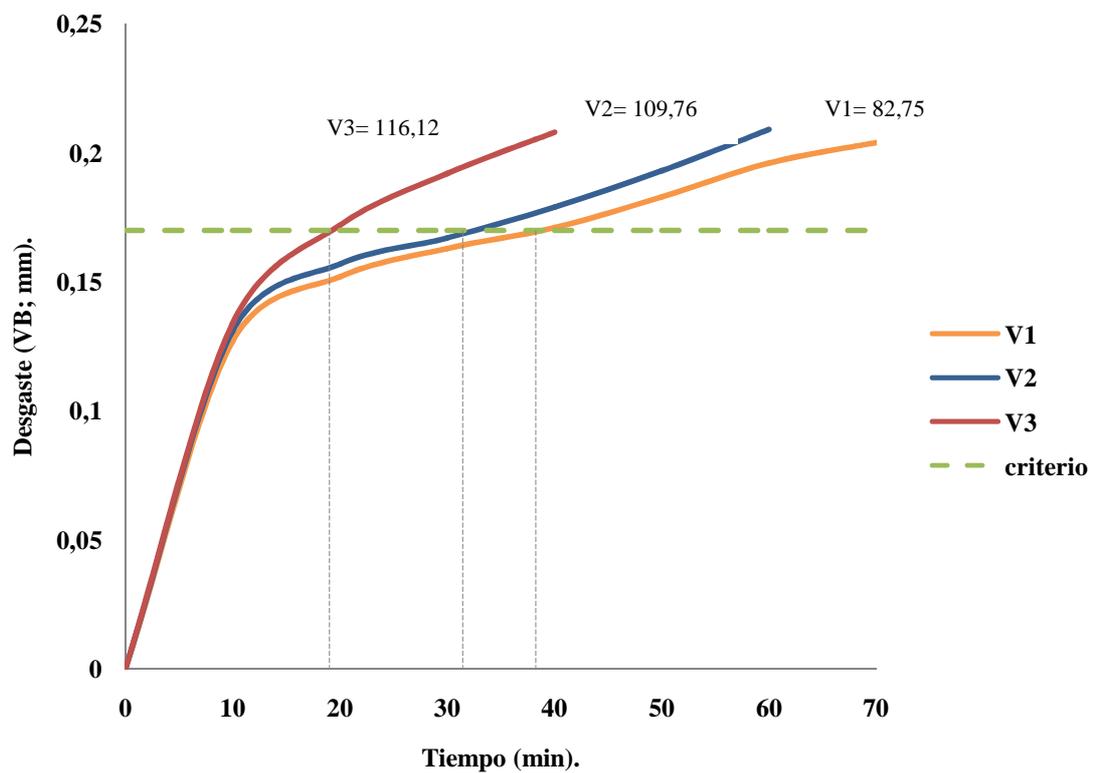


Fig. 4.6 Gráfico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,12 \text{ mm/rev}$ y $d = 2 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).



Tabla 4.7. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,12 \text{ mm/rev}$ y $d = 2,5 \text{ mm}$

Tiempo (min).	Desgaste (mm).		
	Velocidades (m/min).		
	V1	V2	V3
	$82,75 \pm 0,48$	$109,76 \pm 4,96$	$116,12 \pm 11,07$
0	0	0	0
10	0,129	0,134	0,143
20	0,15	0,159	0,173
30	0,163	0,2572	x
40	0,175	x	x

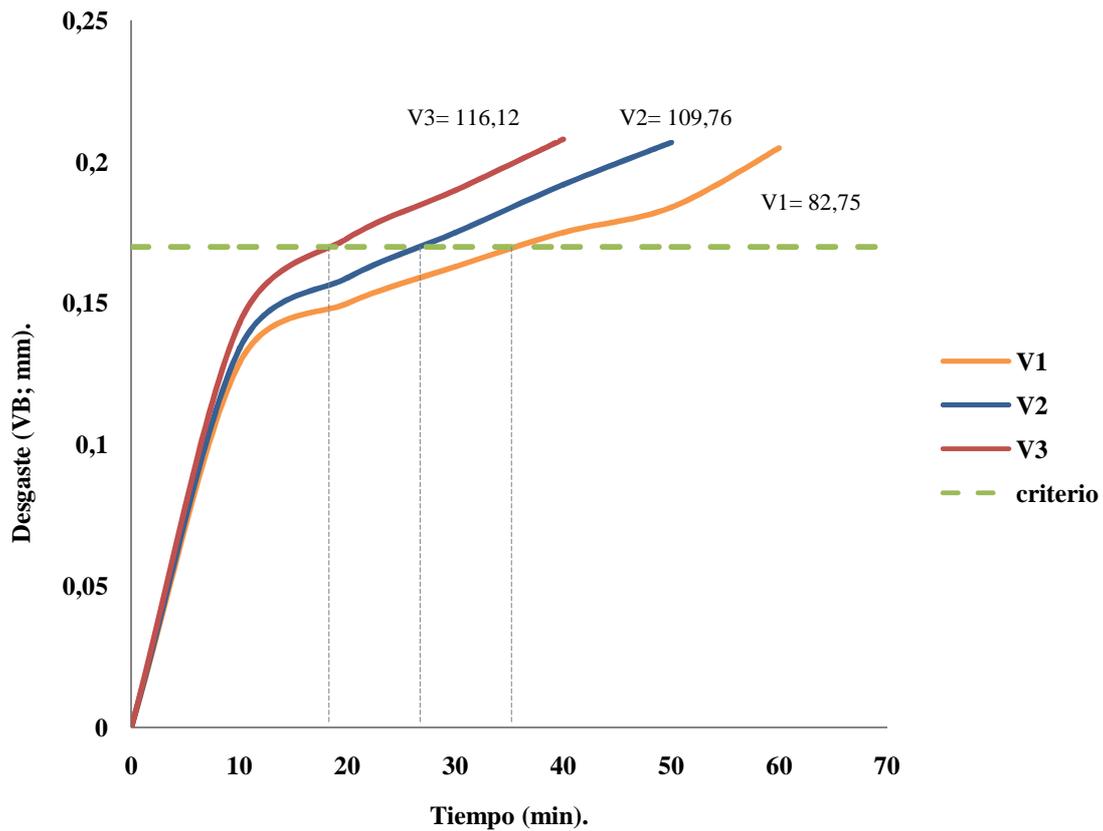


Fig. 4.7. Gráfico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,12 \text{ mm/rev}$ y $d = 2,5 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).



Tabla 4.8. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,16 \text{ mm/rev}$ y $d = 1,5 \text{ mm}$

Tiempo (min).	Desgaste (mm).		
	Velocidades (m/min).		
	V1	V2	V3
	$82,75 \pm 0,48$	$109,76 \pm 4,96$	$116,12 \pm 11,07$
0	0	0	0
10	0,121	0,13	0,158
20	0,151	0,158	0,167
30	0,161	0,181	0,177
40	0,169	x	x
50	0,175	x	x

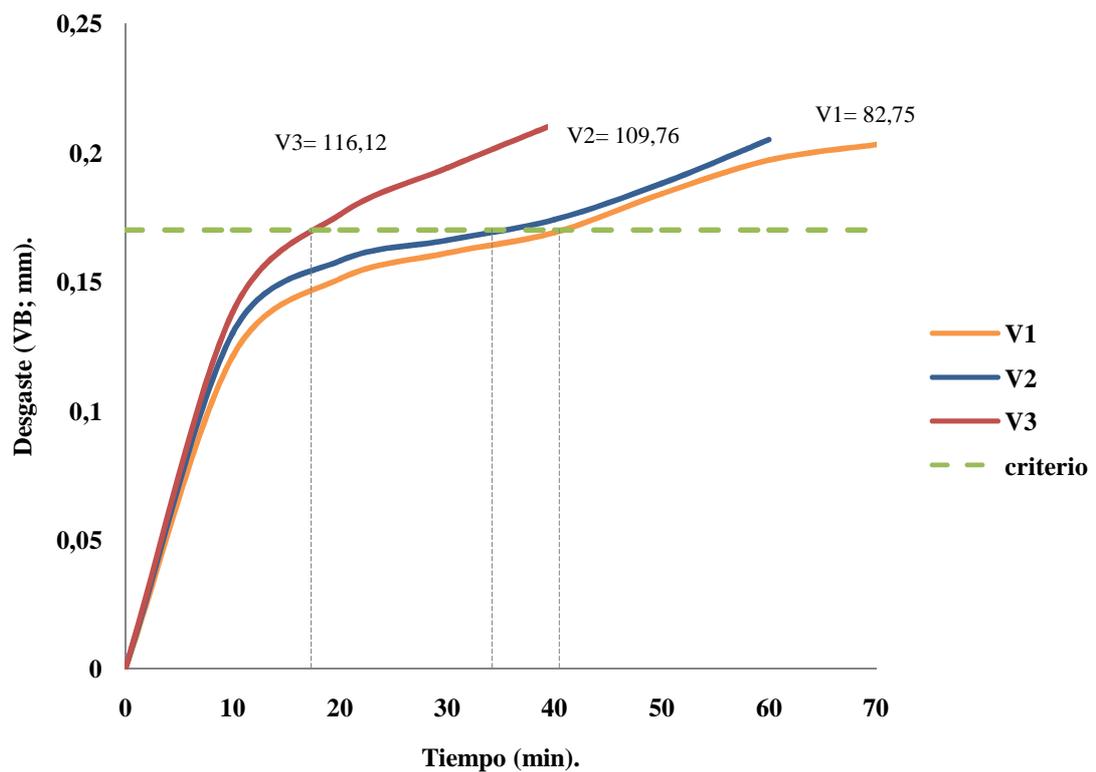


Fig. 4.8 Gráfico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,16 \text{ mm/rev}$ y $d = 1,5 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).



Tabla 4.9. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,16 \text{ mm/rev}$ y $d = 2 \text{ mm}$

Tiempo (min).	Desgaste (mm).		
	Velocidades (m/min).		
	V1	V2	V3
	$82,75 \pm 0,48$	$109,76 \pm 4,96$	$116,12 \pm 11,07$
0	0	0	0
10	0,137	0,142	0,145
20	0,153	0,158	0,169
30	0,162	0,190	0,176
40	0,171	x	x

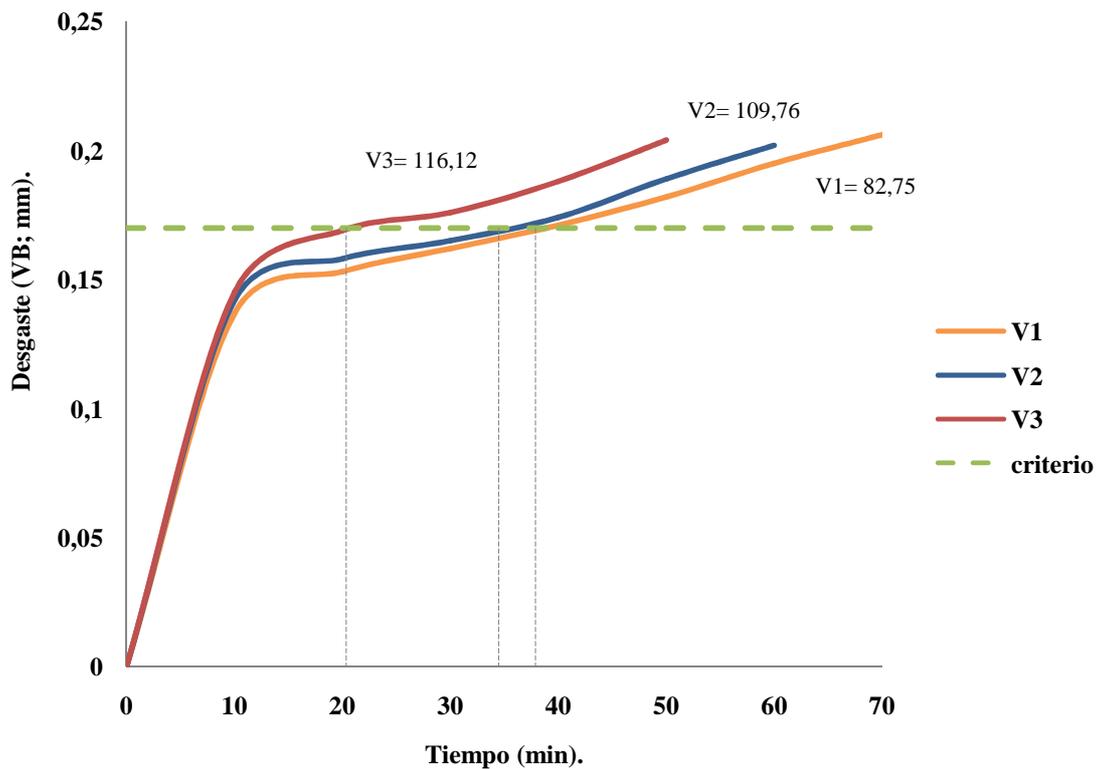


Fig. 4.9 Gráfico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,16 \text{ mm/rev}$ y $d = 2 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).



Tabla 4.10. Desgaste en función de la velocidad de corte y el tiempo para $f = 0,16 \text{ mm/rev}$ y $d = 2,5 \text{ mm}$

Tiempo (min).	Desgaste (mm).		
	Velocidades (m/min).		
	V1	V2	V3
	$82,75 \pm 0,48$	$109,76 \pm 4,96$	$116,12 \pm 11,07$
0	0	0	0
10	0,139	0,144	0,146
20	0,161	0,165	0,191
30	0,174	0,179	x

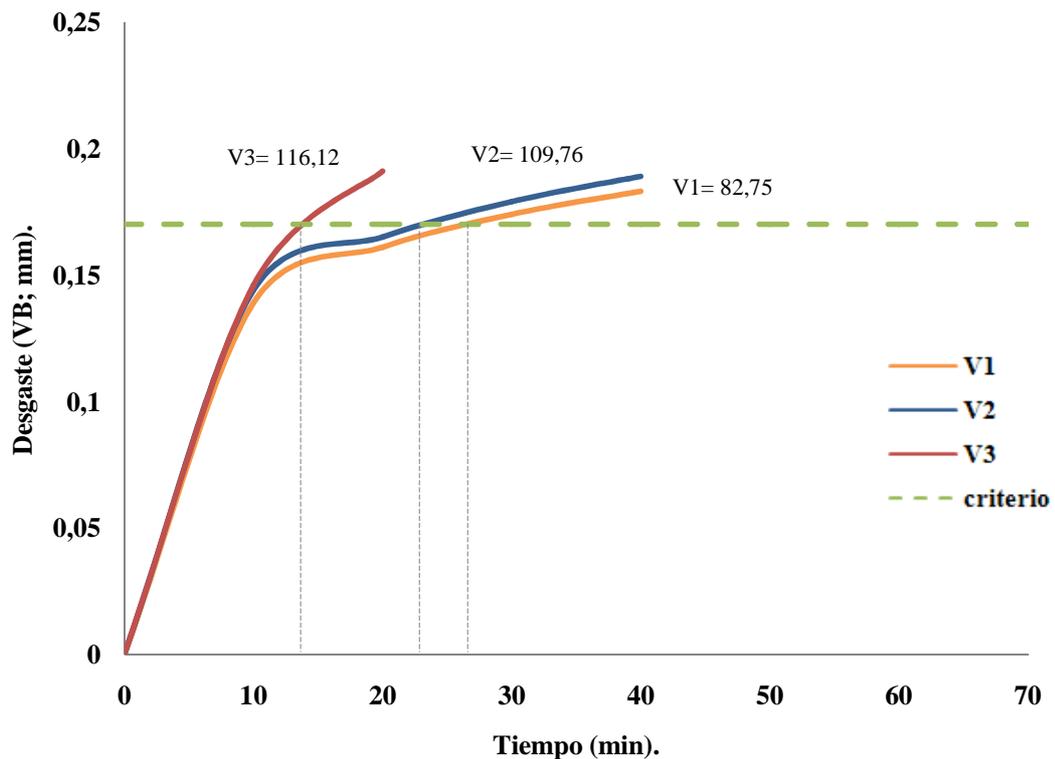


Fig. 4.10 Gráfico desgaste vs. Tiempo para $f = 0,16 \text{ mm/rev}$ y $d = 2,5 \text{ mm}$ (Fuente propia 2009).



4.1 Vida de la herramienta de corte (HSS).

La vida de la herramienta se determina tomando los puntos de intersección entre el criterio de desgaste y las diferentes curvas de las velocidades presentes en cada grafico, se estudiaron las condiciones más críticas de las mismas.

Puntos de intersección de la Fig. 4.2 Grafico desgaste vs:

$$\text{Para } \left\{ \begin{array}{l} V1=82,75\text{m/min}; T1=43,34\text{min.} \\ V3=116,12\text{m/min}; T3=25,5\text{min.} \end{array} \right.$$

Cálculos tipo para n y c, valores clave en la determinación de la Ecuación de Taylor

(Vida útil de una herramienta de corte):

$$n = \frac{\ln V3 - \ln V1}{\ln T1 - \ln T3} = \frac{\ln(116,12) - \ln(82,75)}{\ln(43,34) - \ln(25,5)} = \frac{0,338}{0,530} = 0,63$$

Como la ecuación de Taylor dice que:

$$VT^n = C$$

Sustituyendo, obtenemos el valor de la constante C.

$$(116,12)(25,5)^{0,63} = C = 893,361$$

Ahora bien, construyendo la ecuación de Taylor:

$$VT^{0,63} = 893,361$$



Tabla 4.11. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d = 1,5$ mm

Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
82,75	43,34
109,76	27,88
116,12	25,5

Siguiendo esta misma metodología tomada en los cálculos anteriores, de manera homologa se obtienen las otras ecuaciones de Taylor para los distintos parámetros de la vida de la herramienta.

Puntos de intersección de la Fig. 4.3 Grafico desgaste vs. Tiempo:

$$\begin{array}{l} \text{Para} \left\{ \begin{array}{l} V_1 = 82,75 \text{ m/min}; T_1 = 40 \text{ min.} \\ V_3 = 116,12 \text{ m/min}; T_3 = 22,85 \text{ min.} \end{array} \right. \\ \\ \text{De donde} \left\{ \begin{array}{l} n = 0,60 \\ C = 758,99 \end{array} \right. \end{array}$$

Por lo tanto la ecuación de Taylor determinada para la intersección de los puntos de la Fig. 4.3 es:

$$VT^{0,60} = 758,99$$

Tabla 4.12. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d = 2$ mm

Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
82,75	40
109,76	25,09
116,12	22,85



Puntos de intersección de la Fig. 4.4 Grafico desgaste vs. Tiempo:

$$\text{Para } \left\{ \begin{array}{l} V1=82,75\text{m/min; } T1=35,33\text{min.} \\ V3=116,12\text{m/min; } T3=20,35\text{min.} \end{array} \right.$$

$$\text{De donde } \left\{ \begin{array}{l} n = 0,60 \\ C = 768,58 \end{array} \right.$$

Por lo tanto la ecuación de Taylor determinada para la intersección de los puntos de la Fig. 4.4 es:

$$VT^{0,61} = 729,67$$

Tabla 4.13. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,08$ mm/rev y $d = 2,5$ mm

Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
82,75	35,33
109,76	22,31
116,12	20,35

Puntos de intersección de la Fig. 4.5 Grafico desgaste vs. Tiempo:

$$\text{Para } \left\{ \begin{array}{l} V1=82,75\text{m/min; } T1=38,87\text{min.} \\ V3=116,12\text{m/min; } T3=23,80\text{min.} \end{array} \right.$$

$$\text{De donde } \left\{ \begin{array}{l} n = 0,60 \\ C = 744,95 \end{array} \right.$$



Por lo tanto la ecuación de Taylor determinada para la intersección de los puntos de la Fig. 4.5 es:

$$VT^{0,60} = 744,95$$

Tabla 4.14. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 1,5$ mm

Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
82,75	38,87
109,76	24,32
116,12	22,15

Puntos de intersección de la Fig. 4.6 Grafico desgaste vs. Tiempo:

$$\text{Para } \left\{ \begin{array}{l} V_1 = 82,75 \text{ m/min; } T_1 = 36,75 \text{ min.} \\ V_3 = 116,12 \text{ m/min; } T_3 = 19,47 \text{ min.} \end{array} \right.$$

$$\text{De donde } \left\{ \begin{array}{l} n = 0,53 \\ C = 612,28 \end{array} \right.$$

Por lo tanto la ecuación de Taylor determinada para la intersección de los puntos de la Fig. 4.6 es:

$$VT^{0,53} = 560,10$$

Tabla 4.15. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 2$ mm

Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
82,75	36,75
109,76	21,65
116,12	19,47



Puntos de intersección de la Fig. 4.7 Grafico desgaste vs. Tiempo:

$$\text{Para } \left\{ \begin{array}{l} V_1=82,75\text{m/min; } T_1=35,83\text{min.} \\ V_3=116,12\text{m/min; } T_3=19\text{min.} \end{array} \right.$$

$$\text{De donde } \left\{ \begin{array}{l} n = 0,53 \\ C = 552,89 \end{array} \right.$$

Por lo tanto la ecuación de Taylor determinada para la intersección de los puntos de la Fig. 4.7 es:

$$VT^{0,53} = 552,89$$

Tabla 4.16. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,12$ mm/rev y $d = 2,5$ mm

Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
82,75	35,83
109,76	21,12
116,12	19

Puntos de intersección de la Fig. 4.8 Grafico desgaste vs. Tiempo:

$$\text{Para } \left\{ \begin{array}{l} V_1=82,75\text{m/min; } T_1=40,67\text{min.} \\ V_3=116,12\text{m/min; } T_3=22,79\text{min.} \end{array} \right.$$

$$\text{De donde } \left\{ \begin{array}{l} n = 0,58 \\ C = 711,86 \end{array} \right.$$



Por lo tanto la ecuación de Taylor determinada para la intersección de los puntos de la Fig. 4.8 es:

$$VT^{0,58} = 711,86$$

Tabla 4.17. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 1,5$ mm

Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
82,75	40,67
109,76	25,11
116,12	22,79

Puntos de intersección de la Fig. 4.9 Grafico desgaste vs. Tiempo:

Para $\left\{ \begin{array}{l} V1=82,75\text{m/min}; T1=38,88\text{min.} \\ V3=116,12\text{m/min}; T3=22,79\text{min.} \end{array} \right.$

De donde $\left\{ \begin{array}{l} n = 0,56 \\ C = 645,90 \end{array} \right.$

Por lo tanto la ecuación de Taylor determinada para la intersección de los puntos de la Fig. 4.9 es:

$$VT^{0,56} = 645,90$$

Tabla 4.18. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 2$ mm

Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
82,75	38,88
109,76	23,68
116,12	21,42



Puntos de intersección de la Fig. 4.10 Grafico desgaste vs. Tiempo:

$$\text{Para } \left\{ \begin{array}{l} V_1=82,75\text{m/min; } T_1=26,92\text{min.} \\ V_3=116,12\text{m/min; } T_3=15,33\text{min.} \end{array} \right.$$

$$\text{De donde } \left\{ \begin{array}{l} n = 0,60 \\ C = 597,35 \end{array} \right.$$

Por lo tanto la ecuación de Taylor determinada para la intersección de los puntos de la Fig. 4.10 es:

$$VT^{0,60} = 597,35$$

Tabla 4.19. Velocidad de corte vs. Tiempo para $f = 0,16$ mm/rev y $d = 2,5$ mm

Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
82,75	26,92
109,76	23,57
116,12	15,33

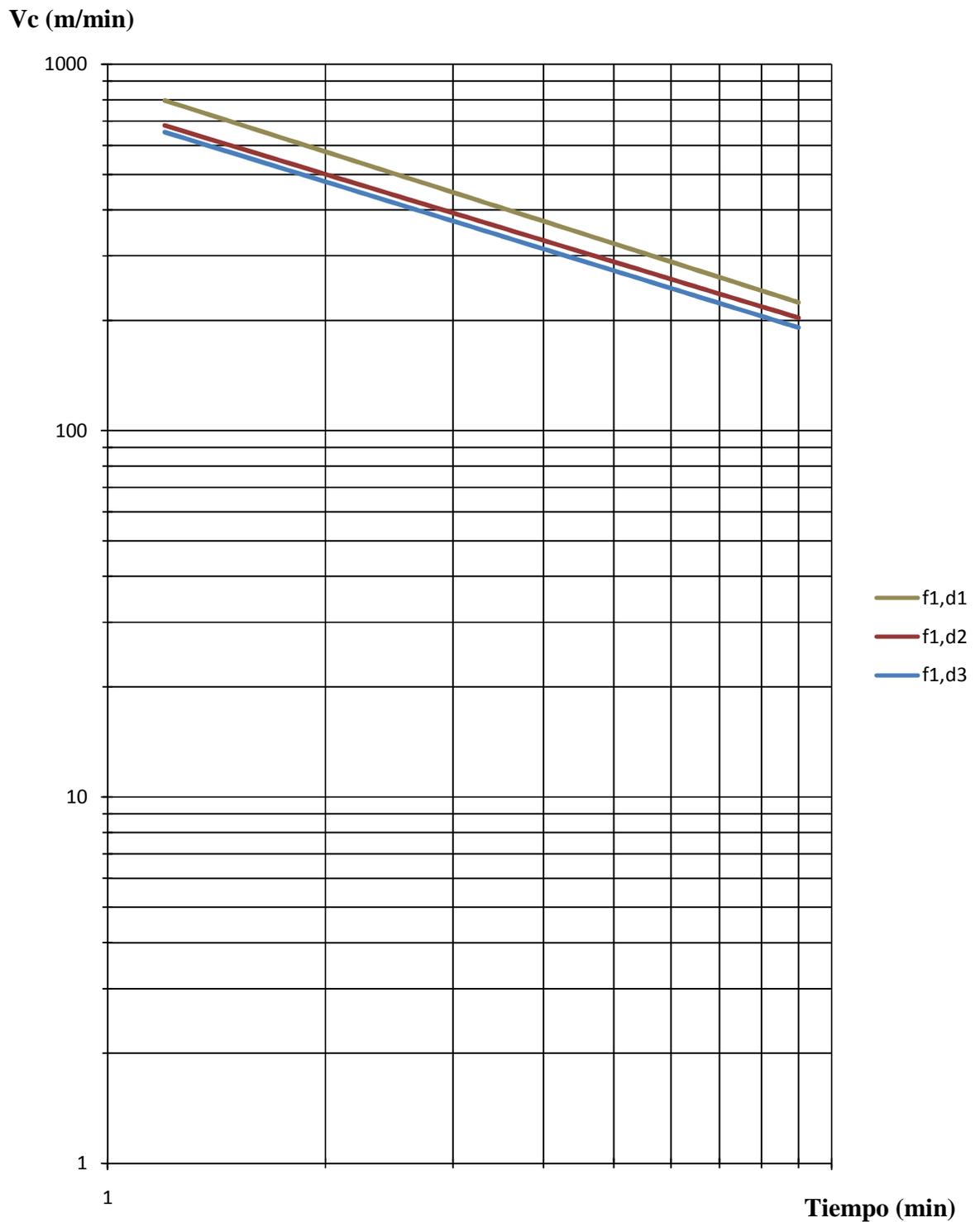


Fig. 4.11 Gráfica logarítmica de vida útil del filo de la herramienta para $f1, d1$; $f1, d2$ y $f1, d3$.

(Fuente propia).



Vc (m/min)

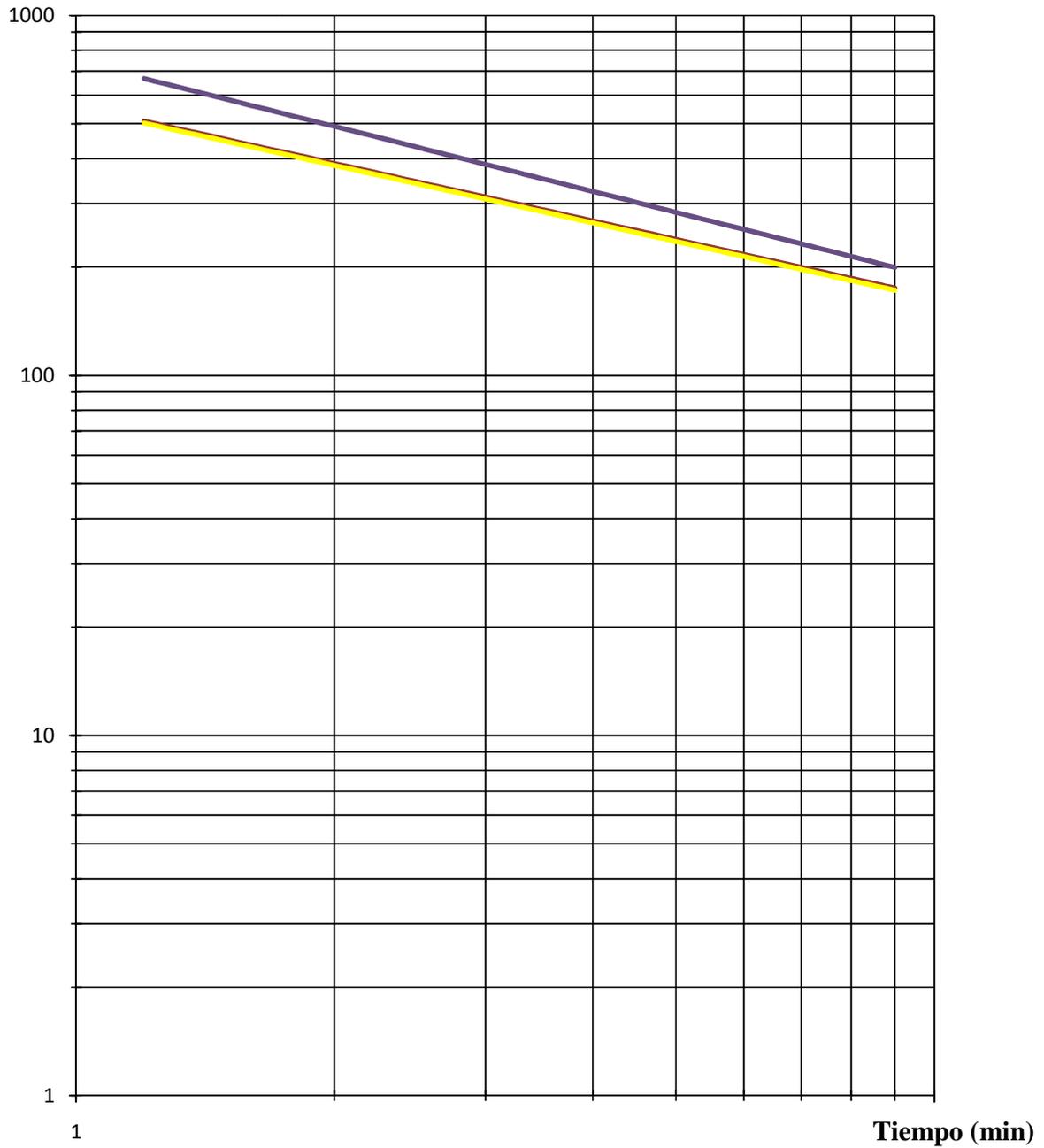


Fig. 4.12 Gráfica logarítmica de vida útil del filo de la herramienta para f2, d1; f2, d2 y f2, d3. (Fuente propia).



Vc (m/min)

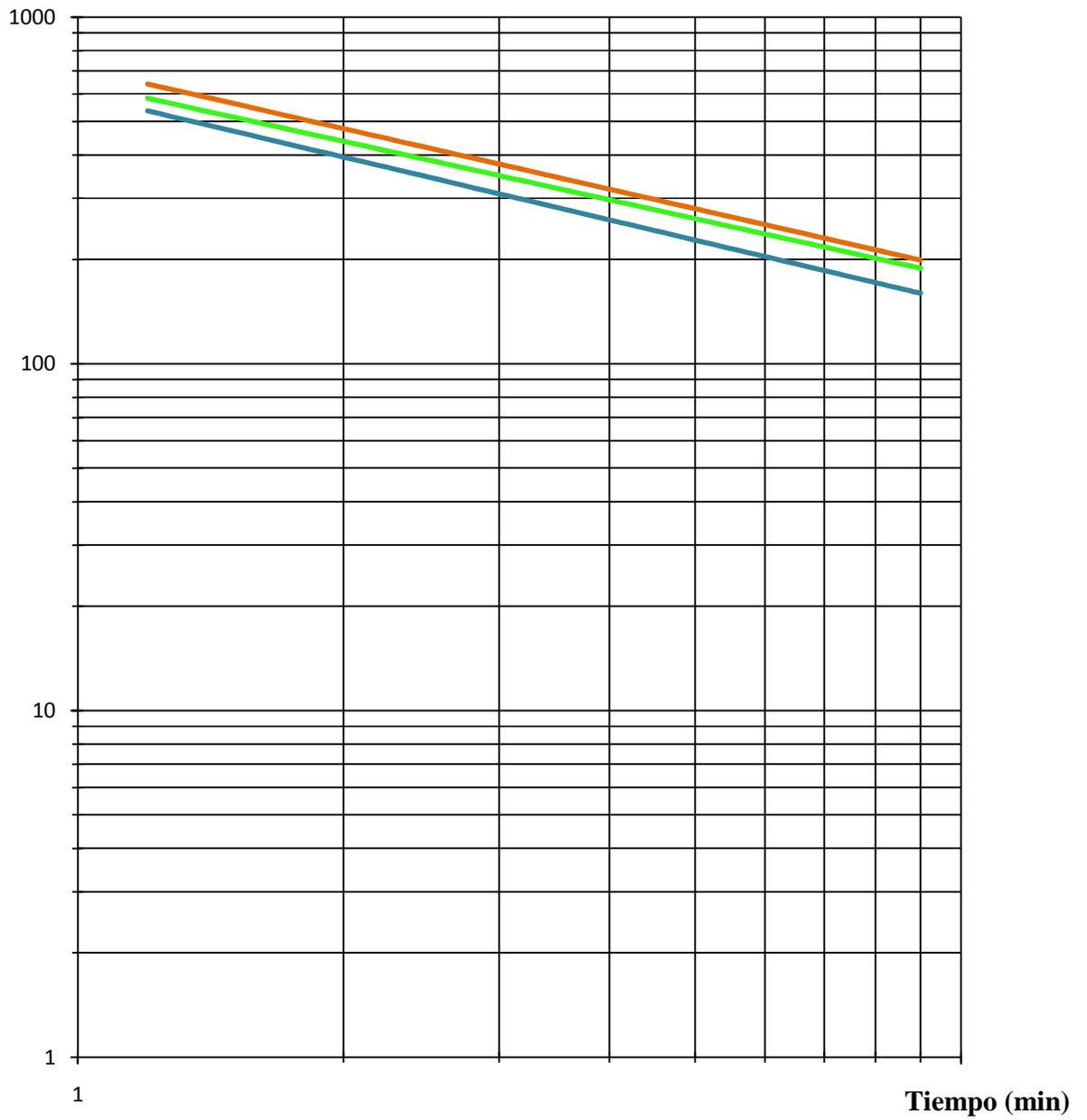


Fig. 4.13 Grafica logarítmica de vida útil del filo de la herramienta para f3, d1; f3, d2 y f3, d3. (Fuente propia).



Tabla 4.20. Valores de "n" y "C" para cada profundidad [d (mm)] y avance [f (mm/rev).]

n (Adim)	C (10 ³) m/min	d (mm)	f (mm/rev)
0,63	0,893361	0,08	1,5
0,6	0,75899	0,08	2
0,61	0,72967	0,08	2,5
0,6	0,74495	0,12	1,5
0,53	0,5601	0,12	2
0,53	0,55289	0,12	2,5
0,58	0,71186	0,16	1,5
0,56	0,6459	0,16	2
0,6	0,59735	0,16	2,5

Comportamiento de "n" y "C" en función de f (rev/mm) y d (mm)

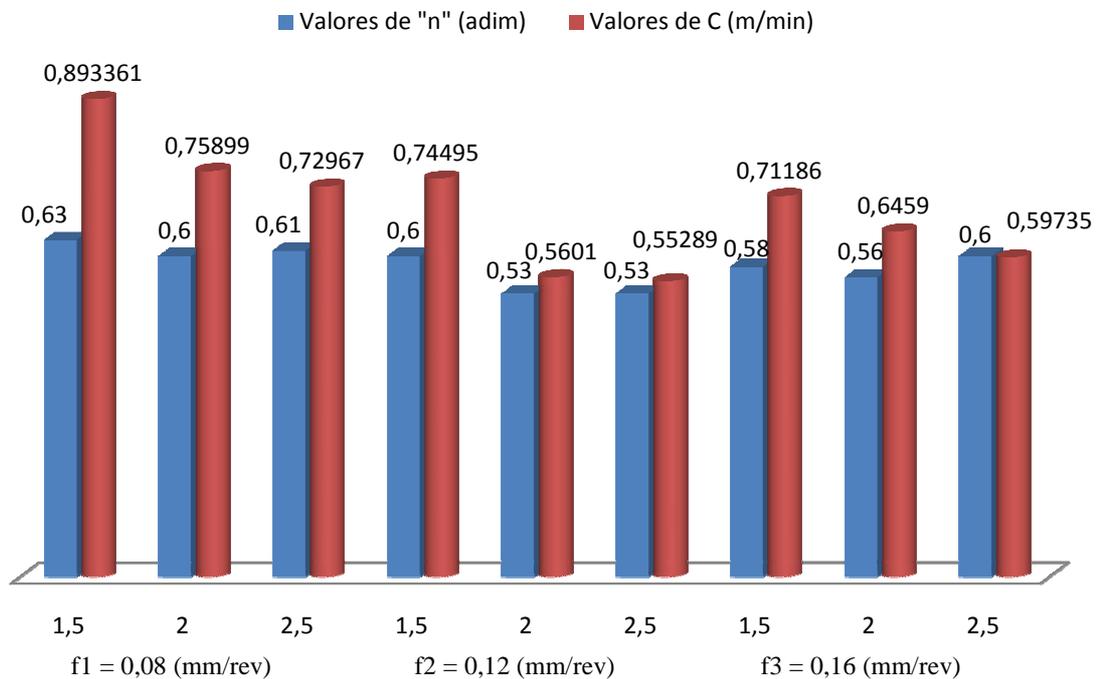


Fig. 4.14 Comportamiento de "n" y "C" en función de f (rev/mm) y d (mm). (Fuente propia).



4.3 Interpretación de los resultados obtenidos.

El tiempo de vida útil de una herramienta de corte; tomando en consideración ciertos parámetros que influyen de manera directa en su durabilidad; la interpretación de estos resultados se basaran en las graficas obtenidas en los respectivos ensayos realizados, así como también en cuanto al criterio de desgaste establecido (0,17mm) antes de comenzar con los mismos.

Con respecto a las graficas logarítmicas donde se ve reflejada la ecuación de la vida útil de una herramienta de corte (HSS), se puede decir que en la fig. 4.11 las pendientes de las rectas son mas inclinadas en comparación con las figuras 4.12 y 4.13 lo que quiere decir que los puntos de partida “C” son más altos en comparación a las otras dos figuras o graficas logarítmicas ya mencionadas. Comprobando la inclinación de las rectas se puede interpretar que mientras más variable es la pendiente de las resctas, proporcional a esta es el valor de “n”; como “n” es la pendiente de las rectas, quiere decir que puede variar, este valor aún y cuando dependa del material de la herramienta de corte y material de la pieza a mecanizar, en la parte experimental absorbe los valores de los parámetros de corte, arrojando diferencias entre cada valor de las ecuaciones calculadas. Es importante apuntar que en las tres figuras 4.11, 4.12 y 4.13 el avance era fijo (un nivel de avance para cada ensayo) el mismo caso aplica para las profundidades, lo que trae como consecuencia el poder medir y cuantificar cada desgaste (desgaste de flanco) en la herramienta de corte para cada intervalo de tiempo determinado; donde a medida que el tiempo transcurre, el desgaste de flanco se hace cada vez más creciente y notable hasta llegar a un punto donde las curvas se hacen similares; el desgaste aumenta pero no de manera acelerada sino pausada o paulatinamente, es donde se dice que la herramienta perdió el filo o alcanzo el criterio de desgaste establecido.



El comportamiento de “n” y “C” con respecto a f (rev/mm) y d (mm) se ve reflejado en la fig. 4.14 donde se percibe que para f_1 y los tres niveles de profundidad establecidos “n” se comporta de manera similar dentro de un rango de valores cercanos; mientras que los valores de “C” se encuentran alejados o distantes unos de otros. Mientras que para f_2 , “n” sigue comportándose dentro de un marco de valores cercanos y aproximadamente equidistantes unos de otros; “C” disminuye gradualmente desde su primer valor en f_1, d_1 hasta f_2, d_3 en comparación con los valores de “C” para f_3 donde alcanza valores variables altos y bajos, es decir el comportamiento de “C” con respecto a “f” y “d” son una constante que engloba todos los factores que han permanecido fijo durante los ensayos e influyen directamente sobre su comportamiento. Para los valores de “n” dentro de f_3 no hay variación alguna se mantienen cercanos con una tendencia de adyacencia y pocos variables en consideración a los valores de “C”.

Al construir las curvas de desgaste de flanco en función del tiempo de vida de la herramienta de corte, (VB vs T) para un valor de 0,17 mm, se pudo apreciar un comportamiento similar como si se evaluara la vida útil de la herramienta con un criterio de desgaste de 0,30 mm, donde las curvas inician con una pendiente bastante inclinada, lo que indica que el proceso de desgaste es acelerado, al transcurrir el tiempo las curvas se suavizan, es cuando alcanza el criterio de desgaste y es necesario el reafilado de la herramienta, es de hacer notar que a medida que los parámetros de corte aumentan de valor, el tiempo de vida útil decrece, por ejemplo, al evaluar con los parámetros del nivel 3, (V_3, f_3, d_3) se obtiene un tiempo mucho menor en relación a los parámetros del nivel 1 (v_1, f_1, d_1), esto hace necesario pensar en obtener un promedio idóneo de valores que garanticen un proceso de mecanizado más adecuado en cuanto a producción y economía, optimización y precisión de piezas fabricadas con un alto rendimiento en cuanto a la herramienta de corte (HSS).



En relación al aumento de la velocidad de corte, a medida que se combinaron los ensayos se puede deducir que existe una conducta muy parecida cuando esta varia y los otros parámetros se mantienen constante, es decir el desgaste aumenta a medida q transcurre cada ensayo experimental, esto trae como consecuencia que el criterio de desgaste establecido (0,17mm) sea alcanzado de manera acelerada, disminuyendo así el tiempo de duración del filo de la herramienta de corte.

Cuando se utilizo bajas velocidades de corte se pudo notar que se produce lo que se conoce como acumulación de borde, lo que implica una adherencia de viruta del material en el filo de la herramienta de corte. La superficie de la pieza de trabajo se deteriora considerablemente cuando se mecaniza bronce fosforoso a bajas velocidades de corte e incluso a elevadas velocidades de corte sin la refrigeración adecuada. Este hecho se debe a una acumulación de material en forma de cuña que se produce en la superficie de corte de la herramienta, por encima del filo de corte, y que consiste en partículas duras de la propia pieza de trabajo. De vez en cuando, esta acumulación se rompe total o parcialmente produciendo una discontinuidad en el mecanizado. Dado que esta acumulación asume la función de filo de corte además de las discontinuidades en el mecanizado, produce otros problemas como formas no deseadas de la viruta, acabados de superficies no conformes o dimensiones inadecuadas.



CONCLUSIONES

Entre las conclusiones más importantes que se observaron en la presente investigaciones se pueden citar las siguientes:

- Los parámetros de corte menos sensibles de la herramienta de corte son aquellos de menor exigencia, como son: $V_1=95m/min$, $f_1=0,08mm/Rev.$ y $d_1=1,5mm$ con los cuales se alcanzó un criterio de desgaste de vida útil de la herramienta $T=41,7min$, con respecto a los demás ensayos.
- La velocidad de corte fue el parámetro más influyente en el desarrollo de la evaluación de la vida útil de una herramienta de corte. Se observó que al incrementar la velocidad de corte disminuía el tiempo de vida de la herramienta de corte.
- Existe una relación directa entre el incremento del avance en el mecanizado y la disminución de la constante C de la ecuación de la vida útil.
- El valor del avance incide directamente en la vida útil de la herramienta de corte, porque a medida que este se incrementaba, se observaba un incremento progresivo de los valores de desgaste en el filo de la herramienta de corte, disminuyendo la vida útil de la misma.



RECOMENDACIONES

- ✓ Sería interesante realizar estos estudios para diferentes materiales comparándolos con los fundamentos teóricos y evaluar sus desviaciones.
- ✓ Se recomienda hacer ensayos de maquinabilidad variando los ángulos: de ataque e incidencia, en un estudio comparativo entre varias herramientas de corte, mediante un análisis adecuado y preciso de la incidencia de estos ángulos en la vida útil, en relación a las variables que intervienen en el proceso.
- ✓ Se sugiere implementar la práctica real de un proceso de vida útil en las prácticas del laboratorio de procesos de fabricación II.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bawa, H. S. (2007). *Procesos de Manufactura*. México. McGraw Hill.
- Hamrock B.J et al. (2000). *Elementos de Máquinas*, México McGraw Hill.
- De garmo, E. Paul. (1988). *Materiales y Procesos de fabricación*. 2da. ed, Barcelona: Reverte.
- Groover, Mikell P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas*. México. Prentice Hall Hispanoamericana.
- Kalpakistan, s. y Schmid, s.r. (2008). *Manufactura. Ingeniería y Tecnología*. 5ª edición, Pearson Educación, México DF.
- Keyser, C. et al. (1988) *Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros*. México.
- Krar, S. F, Oswald Stamand, (1985) *Operación de Máquinas Herramientas*. Libros Mcgraw-Hill de México. Naucalpan de Juárez, Edo. de México.
- Krar, S. F /, Check, A. (2002). *Tecnología de las Máquinas Herramienta*, ed. Alfaomega 5ta Edición, México.
- Manual Práctico para el Laboratorio de Tecnología Mecánica y Procesos de Manufactura II. Universidad de Carabobo.
- Millán, S. (2.006) *Procedimientos de Mecanizado*, Editorial Paraninfo. Madrid..
- Pollack, H. (1987) *Manual de Máquinas-Herramientas*. Prentice-Hall Hispanoamérica.
- Rossi, M, (1971). *Máquinas-Herramientas Modernas volumen I'*. Editorial Científico-Médica. 7ma edición.
- Schey J A. (2002). *Procesos de Manufactura* McGraw Hill/Interamericana Editores, S.A. Mexico D.F.
- Grajales T. (2003). Tipos de Investigación.
- Westenmann, G, 1978. *Alrededor de las Máquinas de Herramientas*. Editorial Reverte. 2da edición. España.

Certificado de Calidad

Fecha: 16/04/2009

Colađa numero: 00785

SOLICITANTE: ARGENIS MAZA, RAYNER GODOY.

Material: Bronce SAE 40 Medidas 3 "

Analisis: (cu) 85,5%

(sn) 5%

(pb) 4,5%

(zn) 5%

Tipo de examen: espectrometro

INVERSIONES FABRO, C.A.
FUNDICION DE PARRAS CAMERADAS EN BRONCE
AUTORIZADA PARA EFECTOS DE PESAJES
P.O. BOX 10000 - PUERTO CARRASCO
FIRMA AUTORIZADA: RAMON HERNANDEZ