

**DISEÑO Y DESARROLLO DE ENSAYOS PARA
DETERMINAR LA VIDA EN INSERTOS
INTERCAMBIABLES DE CORTE BAJO CRITERIO DE
DESGASTE DE FLANCO EN PROCESOS DE
TORNEADO**

**LAURA LILIANA ARIZA CARDONA
CARLOS ARNULFO SÁNCHEZ REYES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

**DISEÑO Y DESARROLLO DE ENSAYOS PARA
DETERMINAR LA VIDA EN INSERTOS
INTERCAMBIABLES DE CORTE BAJO CRITERIO DE
DESGASTE DE FLANCO EN PROCESOS DE
TORNEADO**

**LAURA LILIANA ARIZA CARDONA
CARLOS ARNULFO SÁNCHEZ REYES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

**DISEÑO Y DESARROLLO DE ENSAYOS PARA
DETERMINAR LA VIDA EN INSERTOS
INTERCAMBIABLES DE CORTE BAJO CRITERIO DE
DESGASTE DE FLANCO EN PROCESOS DE
TORNEADO**

**LAURA LILIANA ARIZA CARDONA
CARLOS ARNULFO SÁNCHEZ REYES**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
ISNARDO GONZÁLEZ JAIMES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

A mi querida madre Gisel, por enseñarme lo que significa amor, fortaleza y compromiso.

Laura.

A mis padres Arnulfo y Raquel, por su esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos Jimmy y Diego Armando, por su apoyo y tolerancia.

A mis amigos y compañeros por su colaboración y por los momentos compartidos.

Y a todos aquellos que de una u otra forma han sido parte de este proceso formativo.

Carlos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen de manera especial y sincera a las personas que de forma desinteresada colaboraron con el desarrollo del proyecto de grado.

A Isnardo González Jaimes, Ingeniero Mecánico y director del proyecto, por las oportunas orientaciones en la planeación y desarrollo del trabajo.

A Arturo Plata Gómez, Doctor en Física y codirector, por su incondicional colaboración y asesoría en el área de metrología óptica.

A Jorge Meneses, Ingeniero Mecánico, por abrir las puertas del Laboratorio de Sistemas de Manufactura Flexible de la escuela de Ingeniería Mecánica para la realización de los ensayos.

A Wilson Vega, Ingeniero Metalúrgico, por su asesoría y participación en la caracterización metalográfica del material de trabajo.

A Elber Jaimes y Oscar Ruiz estudiantes del grupo de Laboratorio de Sistemas de Manufactura Flexible por su colaboración en el mecanizado.

A Carlos Osorio y al grupo de Laboratorio de Óptica y Tratamiento de Señales de la Escuela de Física por su asesoría en este campo.

A los compañeros, profesores y personal de la Escuela de Ingeniería Mecánica por su colaboración profesional.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	26
1. HERRAMIENTAS DE CORTE	27
1.1 MATERIALES PARA HERRAMIENTAS	27
1.1.1 Aceros de alta velocidad (HSS)	27
1.1.2 Aleaciones de fundición de cobalto	27
1.1.3 Carburos cementados	29
1.1.4 Cermets	31
1.1.5 Carburos cementados recubiertos	32
1.1.6 Cerámicos	33
1.1.7 Nitruro de boro cúbico (CBN)	34
1.1.8 Diamante sintético policristalino	35
1.2 HERRAMIENTAS DE CORTE	35
1.2.1 Geometría	35
1.2.2 Nomenclatura de los insertos intercambiables	38
1.2.3 Métodos de sujeción	38
1.3 FLUIDOS PARA CORTE	39
1.3.1 Funciones de los fluidos de corte	39
1.3.2 Tipos de fluidos para corte	40
2. TORNEADO	42
2.1 INTRODUCCIÓN A PROCESOS DE MECANIZADO	42

2.2	CONDICIONES DE CORTE EN EL TORNEADO	45
2.2.1	Velocidad	45
2.2.2	Avance	45
2.2.3	Profundidad de corte	45
2.2.4	Tiempo para maquinar	46
2.2.5	Velocidad volumétrica de remoción del material	46
2.3	OPERACIONES RELACIONADAS EN EL TORNEADO	46
2.3.1	Careado o refrentado	46
2.3.2	Torneado ahusado o cónico	46
2.3.3	Torneado de contornos	47
2.3.4	Torneado de formas	47
2.3.5	Achaflanado	47
2.3.6	Tronzado	47
2.3.7	Roscado	47
2.3.8	Perforado	47
2.3.9	Taladrado	47
2.4	CENTRO DE TORNEADO	48
3.	VIDA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE	51
3.1	FORMAS DE FALLA DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE EN MAQUINADO	52
3.2	MECANISMOS DE DESGASTE	52
3.2.1	Abrasión	56
3.2.2	Adhesión	56
3.2.3	Difusión	56
3.2.4	Deformación plástica	57
3.3	FORMAS DE DESGASTE EN EL CORTE DE METALES	57
3.3.1	Desgaste del flanco (Desgaste de la superficie de incidencia)	57

3.3.2	Desgaste de cráter (Desgaste de la cara de la herramienta)	61
3.4	ECUACIÓN DE TAYLOR PARA LA VIDA DE LAS HERRAMIENTAS	63
3.5	FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VIDA DE LA HERRAMIENTA	64
3.5.1	Efecto de las condiciones de corte	64
3.5.2	Efecto de la geometría de la herramienta	65
3.5.3	Efecto del material de la herramienta	65
3.5.4	Efecto del material de trabajo	66
3.5.5	Efecto del fluido de corte	67
3.6	ALGUNOS CRITERIOS DE DURACIÓN DE HERRAMIENTA COMO CRITERIOS DE FALLA	67
3.6.1	Tamaño de la banda de desgaste del flanco	67
3.6.2	Fragmentación	68
3.6.3	Profundidad, ancho u otro parámetro del cráter en la cara	68
3.6.4	Destrucción total de la herramienta de corte (Falla catastrófica o falla completa)	68
3.6.5	Falla prematura	69
3.6.6	Falla preliminar	69
3.6.7	Desgaste de flanco secundario	70
3.6.8	Deformación de la punta de la herramienta	70
3.6.9	Volumen o peso de material desgastado de la herramienta	71
3.6.10	Valor límite de acabado superficial de la pieza producida	71
3.6.11	Valor límite de cambio del tamaño de la pieza de trabajo	71
3.6.12	Incremento en las fuerzas de corte o potencia requerida para ejecutar un corte	71
4.	METROLOGÍA ÓPTICA	72

4.1	REPRESENTACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES	72
4.2	ETAPAS FUNDAMENTALES DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	73
4.2.1	Adquisición de la imagen	73
4.2.2	Preprocesamiento	74
4.2.3	Segmentación	74
4.2.4	Representación y descripción	74
4.2.5	Reconocimiento e interpretación	75
4.2.6	Base de conocimiento	75
4.3	ELEMENTOS DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE DESGASTE EN INSERTOS	76
4.3.1	Elementos de adquisición de la imagen	76
4.3.2	Almacenamiento	78
4.3.3	Procesamiento	80
4.3.4	Presentación de imágenes	87
5.	DISEÑO EXPERIMENTAL	90
5.1	PIEZA DE TRABAJO	90
5.1.1	Identificación y clasificación del material de trabajo	90
5.1.2	Proceso de obtención	90
5.1.3	Composición química	91
5.1.4	Tratamientos térmicos	91
5.1.5	Determinación de la dureza	91
5.1.6	Determinación de la resistencia a la tensión y elongación	91
5.1.7	Microestructura	91
5.1.8	Dimensiones de la pieza de trabajo	92
5.1.9	Pre-mecanizado de la pieza de trabajo	92
5.1.10	Fijación de la pieza de trabajo en la máquina herramienta	93

5.1.11	Número de piezas de trabajo necesarias	93
5.2	HERRAMIENTA DE CORTE	94
5.2.1	Material de la herramienta	94
5.2.2	Geometría de la herramienta	94
5.2.3	Tipo y tamaño de herramienta	96
5.2.4	Tolerancias	97
5.2.5	Inspección previa de la herramienta	97
5.2.6	Fijación en el carro portaherramientas o torreta de herramientas	97
5.2.7	Fijación de los insertos intercambiables	98
5.3	FLUIDO DE CORTE	98
5.4	CONDICIONES DE CORTE	99
5.4.1	Consideraciones iniciales	99
5.4.2	Otras condiciones de corte	100
5.4.3	Velocidad de corte	102
5.4.4	Avances y profundidades de corte	104
5.5	CRITERIO DE VIDA DE HERRAMIENTA Y MEDICIONES DE DESGASTE	104
5.5.1	Criterio de vida de herramienta	104
5.5.2	Criterio para las herramientas de acero de alta velocidad	105
5.5.3	Criterio para carburos cementados	105
5.5.4	Criterio para herramientas cerámicas	107
5.5.5	Criterio para el acabado en el torneado	108
5.5.6	Otro criterio	108
5.5.7	Mediciones de desgaste	108
5.6	EQUIPOS	109
5.6.1	Máquina herramienta	109
5.6.2	Otros equipos de medición	109

5.7	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	110
5.8	REGISTRO E INFORME DE LOS RESULTADOS	114
5.8.1	Ensayo de vida de herramienta	114
5.8.2	Formatos y diagramas	115
5.9	EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE VIDA DE HERRAMIENTA	121
5.9.1	Evaluación “A ojo”	121
5.9.2	Evaluación por análisis de regresión	123
6.	DESARROLLO DE ENSAYO	125
6.1	PIEZA DE TRABAJO	125
6.1.1	Identificación y clasificación del material de trabajo	125
6.1.2	Proceso de obtención	126
6.1.3	Composición química	127
6.1.4	Tratamientos térmicos	127
6.1.5	Determinación de la dureza	128
6.1.6	Determinación de la resistencia a la tensión y elongación	129
6.1.7	Microestructura	129
6.1.8	Dimensiones de la pieza de trabajo	134
6.1.9	Pre-mecanizado de la pieza de trabajo	134
6.1.10	Fijación de la pieza de trabajo en la máquina herramienta	134
6.1.11	Número de piezas de trabajo necesarias	135
6.2	HERRAMIENTA DE CORTE	135
6.2.1	Material de la herramienta	135
6.2.2	Geometría de la herramienta	136
6.2.3	Tipo y tamaño de herramienta	137
6.2.4	Tolerancias	138
6.2.5	Inspección previa de la herramienta	138
6.2.6	Fijación en la torreta de herramientas	138

6.2.7	Fijación de los insertos intercambiables	138
6.3	FLUIDO DE CORTE	140
6.4	CONDICIONES DE CORTE	140
6.4.1	Consideraciones iniciales	140
6.4.2	Otras condiciones de corte	140
6.4.3	Velocidad de corte	141
6.4.4	Avances y profundidades de corte	142
6.5	CRITERIO DE VIDA DE HERRAMIENTA Y MEDICIONES DE DESGASTE	142
6.5.1	Criterio de vida de herramienta	142
6.5.2	Mediciones de desgaste	143
6.6	EQUIPOS	145
6.6.1	Máquina herramienta	145
6.6.2	Otros equipos de medición	145
6.7	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	146
6.8	REGISTRO E INFORME DE LOS RESULTADOS	152
6.8.1	Ensayo de vida de herramienta	152
6.8.2	Formatos y diagramas	153
6.9	EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE VIDA DE HERRAMIENTA	154
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163
	BIBLIOGRAFÍA	166
	ANEXOS	170

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación de Grados-C para carburo cementado	30
Tabla 2. Identificación aproximada de los grados comerciales de carburo cementado para corte de metales	30
Tabla 3. Características del Metal Duro	32
Tabla 4. Formas de falla de una herramienta de corte en torneado	53
Tabla 5. Valores del criterio del tamaño de la banda de desgaste del flanco	60
Tabla 6. Ángulo de inclinación normal para operaciones de desbaste	65
Tabla 7. Valores del exponente n para diferentes materiales de herramientas	67
Tabla 8. Ángulos normalizados de herramienta, en grados	95
Tabla 9. Condiciones normalizadas de corte	100
Tabla 10. Tolerancias para las condiciones de corte	100
Tabla 11. Límites de otras condiciones de corte	101
Tabla 12. Series geométricas de números normalizados	103
Tabla 13. Valores de KT para las condiciones de corte normalizadas	107
Tabla 14. Formato para características de la pieza de trabajo	116
Tabla 15. Formato para montaje de la pieza de trabajo, máquina herramienta, herramienta de corte y fluido de corte	117
Tabla 16. Formato para mediciones de desgaste	118
Tabla 17. Formato guía para el cálculo de C y k para la ecuación de Taylor de vida de herramienta	119

Tabla 18. Formato para resultados de vida de herramienta	120
Tabla 19. Valores representativos de n y C en la ecuación de vida de herramientas de Taylor	136
Tabla 20. Ángulos de montaje del inserto de corte CNMG 120408 PM 4025 sobre el portaherramientas DCLNL 2020 K12	137
Tabla 21. Condición normalizada de corte para el ensayo implementado	140
Tabla 22. Velocidades de corte para el ensayo implementado	141
Tabla 23. Medidas del ancho medio de desgaste del flanco VB_B	144
Tabla 24. Parámetros de experimentación del ensayo para el inserto CNMG 120408 PM 4025	147
Tabla 25. Registro de características de la pieza de trabajo	155
Tabla 26. Registro del montaje de la pieza de trabajo, máquina herramienta, herramienta de corte y fluido de corte	156
Tabla 27. Registro de mediciones de desgaste a 250 m/min	157
Tabla 28. Registro de mediciones de desgaste a 315 m/min	158
Tabla 29. Registro de mediciones de desgaste a 400 m/min	159
Tabla 30. Registro del cálculo de C y k para la ecuación de Taylor de vida de herramienta	160
Tabla 31. Registro de resultados de vida de herramienta	161

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Materiales para herramientas de corte	28
Figura 2. Representación esquemática de un inserto de metal duro con recubrimiento	33
Figura 3. Geometría normal de la herramienta de torneado típica	36
Figura 4. Nomenclatura de insertos intercambiables	38
Figura 5. Nomenclatura de los portaherramientas	39
Figura 6. Relaciones de entrada/salida en corte de metal.	43
Figura 7. Operación de torneado	44
Figura 8. Operaciones realizadas en un torno	48
Figura 9. Centro de torneado	50
Figura 10. Mecanismos de desgaste en función de la temperatura	57
Figura 11 Geometría simplificada de desgaste del flanco	59
Figura 12. Variación del ancho de la zona de desgaste del flanco con el tiempo	60
Figura 13. Geometría simplificada de desgaste de cráter	62
Figura 14. Curva típica de vida de herramienta para una combinación de herramienta de metal duro y material de trabajo de fundición	64
Figura 15. Convenio de ejes utilizado para la representación digital de imágenes	72
Figura 16. Etapas fundamentales del procesamiento digital de imágenes	75

Figura 17. Elementos del sistema de procesamiento digital de imágenes	77
Figura 18. Imágenes del procesamiento del filo	82
Figura 19. Imágenes del proceso de segmentación del desgaste	85
Figura 20. Imágenes finales del procesamiento	87
Figura 21. Interface para la detección del filo de corte	88
Figura 22. Interface para la detección del desgaste	89
Figura 23. Ángulos de la herramienta	95
Figura 24. Posicionamiento del inserto en el portaherramientas	98
Figura 25. Límite de condiciones de corte	101
Figura 26. Curva quebrada de V_c - T , combinando desgaste del flanco y de cráter	105
Figura 27. Algunos tipos de desgaste en herramientas de torneado	106
Figura 28. Desarrollo del desgaste de flanco para diferentes velocidades de corte	113
Figura 29. Desarrollo del desgaste de cráter para diferentes velocidades de corte	113
Figura 30. Curva de vida de herramienta	115
Figura 31. Evaluación “a ojo” de la curva de vida de herramienta	122
Figura 32. Medición de dureza	128
Figura 33. Desbaste y pulido para preparación metalográfica	131
Figura 34. Sistema de adquisición y análisis de muestras metalográficas	132
Figura 35. Microfotografía del acero ASTM 1045 a 100 x	133
Figura 36. Geometría del filo de corte del inserto CNMG 120408 PM 4025	137
Figura 37. Tolerancias para el inserto CNMG 120408 PM 4025	138

Figura 38. Portaherramientas DCLNL 2020K 12	139
Figura 39. Área de trabajo para el inserto CNMG 120408 PM 4025	142
Figura 40. Zonas del filo de corte principal del inserto	144
Figura 41. Centro de torneado marca Leadwell modelo T6	146
Figura 42. Identificación de los filos de los insertos	149
Figura 43. Montaje del inserto y del portaherramientas	149
Figura 44. Montaje de la pieza de trabajo	150
Figura 45. Mecanizado de la pieza de trabajo	151
Figura 46. Dispositivo de sujeción y desplazamiento del inserto	151
Figura 47. Desarrollo del desgaste VB_B para el ensayo	162

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Nomenclatura de los insertos de corte	170
Anexo B. Nomenclatura de los portaherramientas	172
Anexo C. Especificaciones técnicas centro de torneado Leadwell T6	174
Anexo D. Especificaciones técnicas cámara Cohu	175
Anexo E. Especificaciones técnicas tarjeta Matrox meteor	177
Anexo F. Matrox intellicam versión 2.0	179
Anexo G. Imágenes de desgaste	182
Anexo H. Factura de materiales	196
Anexo I. Certificado de composición química	198
Anexo J. Registro de calidad	199
Anexo K. Cálculo del material de trabajo	200
Anexo L. Condiciones de corte para ensayo	202
Anexo M. Programación del mecanizado	210
Anexo N. Microfotografías del acero ASTM 1045	212
Anexo O. Formas de viruta	214
Anexo P. Cálculo del tiempo de fin de vida	216
Anexo Q. Datos del programa de medición de desgaste	220

GLOSARIO

ECUACIÓN REDUCIDA DE TAYLOR: ecuación que desarrolla el estudio de la relación de vida de la herramienta con la velocidad de corte del mecanizado.

DESGASTE DE FLANCO: desprendimiento continuo de material ocasionado principalmente por el mecanismo abrasivo de desbaste.

DESGASTE DE HERRAMIENTA: el cambio de forma de la herramienta de su forma original, durante el corte, resultando en la pérdida gradual de material de la herramienta.

MECANIZADO: proceso de manufactura en el cual se usa una herramienta de corte para remover el exceso de material de una parte de trabajo, de tal manera que el material remanente sea la forma de la parte deseada.

METROLOGÍA: ciencia de la medición.

VIDA DE HERRAMIENTA: tiempo de corte requerido para alcanzar un criterio de duración de la herramienta.

SIMBOLOS

α	Ángulo de incidencia
β	Ángulo de filo
γ	Ángulo de ataque
ε_r	Ángulo de punta
K_r	Ángulo de filo de corte
λ_s	Ángulo de inclinación del filo de corte
a_p	Profundidad de corte
b	Longitud del filo de corte desgastado
C	Parámetro de la ecuación de Taylor para vida de herramienta
D_f	Diámetro final de la pieza de trabajo
D_o	Diámetro original de la pieza de trabajo
E, F, G, H	Exponentes
f	Avance en el torneado
f_r	Velocidad de avance lineal en el torneado
K	Relación de cráter
KB	Ancho del cráter
KM	Distancia al centro del cráter
KT	Profundidad de cráter
k	Parámetro de la ecuación de Taylor para vida de herramienta
L	Longitud de la parte cilíndrica torneada
MRR	Velocidad volumétrica de remoción del material
N	Velocidad de rotación del husillo en el torneado
n	Exponente de la ecuación de Taylor para vida de herramienta

R_a	Rugosidad aritmética promedio
r_ϵ	Radio de punta de la herramienta
T	Vida del filo de la herramienta
T_m	Tiempo de maquinado
VB_B	Ancho medio de la banda de desgaste
$VB_B \text{ máx.}$	Ancho máximo de la banda de desgaste
VB_C	Ancho de la muesca de desgaste en el filo secundario
VB_N	Ancho de la muesca de desgaste en el filo principal
V_C	Velocidad de corte requerida en la superficie cilíndrica

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO Y DESARROLLO DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LA VIDA EN INSERTOS INTERCAMBIABLES DE CORTE BAJO CRITERIO DE DESGASTE DE FLANCO EN PROCESOS DE TORNEADO*

AUTORES:

Laura Liliana Ariza Cardona
Carlos Arnulfo Sánchez Reyes**

PALABRAS CLAVES:

Mecanizado, Criterio de vida de herramienta, Ecuación de vida de Taylor, Desgaste de flanco

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo tiene como objetivo plantear un procedimiento de ensayo relativo a vida de herramienta, diseñando los formatos necesarios que permitan el desarrollo de las pruebas mediante la caracterización del material de la pieza de trabajo, inserto de corte, proceso de mecanizado y resultados, para determinar las constantes de la ecuación reducida de Taylor. Se implementa dicho ensayo mediante operación de cilindrado con velocidad de avance de 0,25 mm/rev y profundidad de corte de 2,5 mm a velocidad constante de un acero ASTM 1045 para el filo de una plaquita CNMG 120408 PM 4025, midiendo el desgaste de flanco a intervalos de tiempo establecidos y fijando un valor de 0,19 mm como criterio de duración de herramienta.

La medición del desgaste de flanco se hace a partir de imágenes tomadas por una cámara monocromática que utiliza el objetivo de un estéreomicroscopio, a través de una tarjeta marca Matrox Meteor y el software de adquisición Matrox Intellicam; el procesamiento de estas imágenes se realiza por medio del toolbox de procesamiento de imagen de Matlab 7.0.

Con base en los resultados y el análisis microscópico efectuado a los insertos, existe un fuerte indicativo que el desgaste $VB_B=0,19$ mm representa un valor crítico, pues a partir de ahí, se pierde la capa de micro revestimiento del inserto, y su substrato no soporta las condiciones de mecanizado, desgastándose rápidamente. La curva de vida arrojó como ecuación reducida de Taylor: $V_c T^{0,2144} = 579$.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Isnardo González Jaimes, Dr. Arturo Plata Gómez

SUMMARY

TÍTULO:

DESIGN AND DEVELOPMENT TESTS TO DETERMINE THE TOOL LIFE OF INTERCHANGE CUT INSERTS UNDER FLANK WEAR CRITERION IN TURNING PROCESS*

AUTORS:

Laura Liliana Ariza Cardona
Carlos Arnulfo Sánchez Reyes**

KEYWORDS:

Machining, Tool life criterion, Taylor tool equation, Flank wear

DECRPTION:

This work have like object to propose a test procedure about tool life, designing the necessary formats that let the development of the experiments through of characterization of material workpiece, cut insert, cutting process and results, for determining the constants of Taylor reduce equation. This test had realized in turning operation with feed speed of 0,25 mm/rev and depth of 2,5 mm to constant speed on steel ASTM 1045 for the edge insert CNMG 120408 PM 4025, measuring its flank wear for time established ranges and a tool life criterion's value of 0,19 mm.

The measure of flank wear had do from images, which were taken with a monochromatic camera, that uses an stereomicroscope objective, and through of a target Matrox Metor and the acquisition Matrox Intellicam software, the processing of this images had realized with Matlab's toolbox, image processing.

In base of results and microscope analyze performed on the inserts, exist a strong indicative that the wear $VB_B=0,19$ mm represents a critic value, because it is the point where there is a loss of microcoating layer from insert, and its substrate does not support the machining conditions that carry to fast wear. The life curve thrown as Taylor reduce equation: $V_c T^{0,2144} = 579$.

* Degree Project

** Physical-mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineering, Ing. Isnardo González Jaimes, Dr. Arturo Plata Gómez

INTRODUCCIÓN

La importancia de la normalización en los ensayos de vida de herramienta, surge de la necesidad de determinar experimentalmente la influencia de diferentes factores sobre la vida útil de las herramientas de corte.

La razón por la cual la vida útil de una herramienta de corte debe ser considerada, es que su desgaste gradual puede generar superficies y tolerancias dimensionales fuera de las especificaciones establecidas para el trabajo de mecanizado; además puede causar que las fuerzas de corte aumenten llevando a que deflexiones y vibraciones sean intolerables.

El objetivo de implementar una metodología de ensayo es especificar procedimientos sistemáticos bajo criterio de desgaste de flanco usando como guía la norma ASME B94.55M para la realización de ensayos de vida del filo de corte, de forma que los resultados obtenidos tengan garantía de comparación con los de otras fuentes y, consecuentemente, aprovechamiento por una comunidad más amplia.

Los factores analizados tales como caracterización de: material de trabajo, material y geometría de la herramienta, fluidos de corte, equipos, parámetros de corte y procesamiento de los resultados se presentan para una combinación de inserto de corte de metal duro recubierto y pieza de trabajo de acero al carbono en proceso de torneado.

1. HERRAMIENTAS DE CORTE

1.1 MATERIALES PARA HERRAMIENTAS

1.1.1 **Aceros de alta velocidad (HSS).** Son aceros de herramienta altamente aleados, capaces de mantener su dureza a elevadas temperaturas mejor que los aceros de baja aleación, lo que permite su uso a velocidades de corte más altas. Se dispone de una amplia variedad de aceros de alta velocidad, pero se pueden dividir en dos tipos básicos: tipo tungsteno, designado como grado-T por el *American Iron and Steel Institute* (AISI); y tipo molibdeno, designado como grado-M por el AISI.

Los tipo tungsteno contienen tungsteno como su principal elemento de aleación en proporciones de 12% al 20%; los elementos adicionales de aleación son el cromo cerca de 4% y el vanadio en una escala de 1% a 2%. Los grado molibdeno contienen combinaciones de tungsteno y molibdeno en una combinación típica de 6% y 5%, respectivamente, más los mismos elementos de aleación adicionales*. En la figura 1 (a) se muestra una broca de HSS.



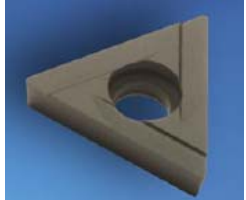
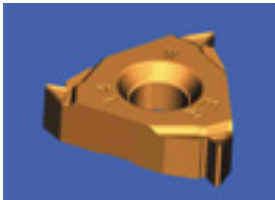




1.1.2 **Aleaciones de fundición de cobalto.** Estas aleaciones contienen 40% a 50% de cobalto, 25% a 35% de cromo y 15% a 20% de tungsteno, con adiciones de otros elementos¹. No contienen hierro, excepto como impureza. Las herramientas se deben fabricar en la forma deseada a través de fundición en moldes de grafito y después esmerilar para darles el tamaño y afilado

* Para más detalle de las funciones de cada elemento aleado en aceros de alta velocidad diríjase a la tabla 24.4 de GROOVER, M. Fundamentos de manufactura moderna. p. 580.

¹ *American standard metals handbook committee. Metals Handbook. 8 ed. v 3, tabla 2, p. 315.*

final. Sus propiedades y aplicaciones se encuentran intermedias entre la de los aceros de alta velocidad y los carburos cementados aunque las herramientas de fundición de cobalto no son comercialmente tan importantes como estas, véase la figura 1 (b). Los materiales de trabajo incluyen aceros y metales, así como materiales no metálicos como plásticos y grafitos.

Figura 1. Materiales para herramientas de corte

	
(a) Acero de alta velocidad	(b) Aleaciones de fundición de cobalto
	
(c) Metal duro	(d) Cermet
	
(e) Metal duro recubierto	(f) Cerámica
	
(g) Nitruro de boro cúbico	(h) Diamante policristalino

Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Valenite [en línea].

1.1.3 **Carburos cementados***. Los carburos cementados son un producto de la pulvimetalurgia, pertenecen a una clase de materiales duros, resistentes al desgaste, en los cuales las partículas duras de carburo están unidas por un aglomerante de metal suave y dúctil. Las partículas duras son de carburo de tungsteno (WC), combinados usualmente con menores cantidades de otros carburos como el carburo de titanio (TiC), el carburo de tántalo (TaC) y el carburo de niobio (NbC). El cobalto (Co) es el principal aglomerante y aunque constituye solamente alrededor del 5% al 15%, su efecto es significativo en las propiedades mecánicas de estos compuestos¹.

Aproximadamente el 50% de toda la producción de carburo cementado es usada para aplicaciones de corte de metales², y con el acero de alta velocidad han dominado el maquinado de metal realizado a velocidades de corte medias convencionales, en la figura 1 (c) se puede apreciar un inserto de metal duro. El carburo cementado se puede clasificar mediante dos sistemas:

❏ **Sistema de grados-C**. En la industria americana del carburo se usa un sistema de clasificación, conocido como el sistema ANSI de grados-C, para ayudar a seleccionar la calidad del carburo cementado. Aunque esta clasificación simplifica la aplicación de la herramienta, véase la tabla 1, no refleja las propiedades del material que influyen significativamente en la selección apropiada del grado del carburo, véase la tabla 2. Adicionalmente,

* Aunque el término carburo cementado es ampliamente usado en los Estados Unidos, este material es más conocido internacionalmente como metal duro.

¹ *American standard metals handbook committee. Metals Handbook. 9 ed. v 3, tabla 2, p. 73; Fig 11, p. 77.*

² *ibid, p. 71.*

las definiciones de materiales de trabajo involucradas en este esquema de clasificación son imprecisas.

Tabla 1. Clasificación de Grados-C para carburo cementado

Grado-C	Categoría de la aplicación
Maquinado de fundición, materiales no ferrosos y no metálicos	
C-1	Maquinado burdo
C-2	Propósito general
C-3	Acabado
C-4	Acabado de precisión
Maquinado de aceros aleados y al carbono	
C-5	Maquinado burdo
C-6	Propósito general
C-7	Acabado
C-8	Acabado de precisión

Fuente: *American standard metals handbook committee. Metals Handbook. 9 ed.*

Tabla 2. Identificación aproximada de los grados comerciales de carburo cementado para corte de metales

Grado de carburo	Composición %			Dureza, R _A	Densidad, g/cm ³	Esfuerzo de corte transversal, psi
	WC	TiC + TaC	Co			
C-1	94	..	6	91.2	14.95	317000
C-2	91	..	9	90.3	14.60	275000
C-3	95.5	..	4.5	92.2	15.05	200000
C-4	97	..	3	92.8	15.15	175000
C-5	72	19.5	8.5	81.2	12.60
C-6	82	8	10	90.5	12.55	215000
C-7	80	12	8	91.5	11.15	175000
C-8	84	10	6	92.2	12.85	207000

Fuente: *American standard metals handbook committee. Metals Handbook. 8 ed.*

❏ **Clasificación ISO.** La norma ISO 513:1991, *Application of hard cutting materials for machining by chip removal – Designation of the main groups of chip removal and groups of application*, clasifica los grados de metal duro en tres grupos codificados también por color:

- *Grupo P* (Azul). Contiene alto porcentaje de TiC y TaC y menor cantidad de WC, lo que proporciona elevada dureza en caliente y resistencia al desgaste, dando a este grupo buenas características para el mecanizado de acero, acero fundido e hierro maleable, produciendo virutas largas.
- *Grupo M* (Amarillo). Posee una composición intermedia en relación a los grupos P y K. Presenta buena dureza en caliente y resistencia al desgaste. Se usa en el mecanizado de aceros inoxidable, aceros aleados e hierro fundido duro, produciendo viruta alargada o corta.
- *Grupo K* (Rojo). Tiene alto porcentaje de WC y pequeños porcentajes de TiC y TaC. Presenta menor resistencia al calor y elevada resistencia al desgaste. Es el indicado para mecanizar hierro fundido de virutas cortas, acero endurecido, materiales no ferrosos, no metálicos, piedras y madera.

Dentro de cada grupo existen números que indican las diferentes exigencias de mecanizado, desde el desbaste hasta el acabado, y su posición con respecto a la dureza como se muestra en la tabla 3.

1.1.4 **Cermets.** Aunque los carburos cementados se clasifican técnicamente como compuestos cermets, en la tecnología de las herramientas de corte, el término cermet, compuesto cerámico-metálico, generalmente se reserva para las combinaciones de TiC, TiN y carbonitruro de titanio (TiCN) usando níquel y/o molibdeno como aglutinante. Las aplicaciones de los cermets incluyen acabados a altas velocidades y semiterminado de aceros, aceros inoxidable y fundiciones de hierro. Estas herramientas permiten velocidades más altas, comparadas con las que permiten generalmente los carburos de grado corte de acero, en la figura 1 (d) se muestra un inserto de cermet. Normalmente se usan menores avances y así se obtienen mejores superficies de acabado, eliminando muchas veces la necesidad del esmerilado.

Tabla 3. Características del metal duro

Color	Clase ISO	Características para uso		Composición %			Dureza Hv 30	Aplicado en maquinado de
				WC	TiC+ TaC	Co		
Azul	P 10	↑ Mayor dureza y resistencia al desgaste - mayor velocidad ↓ Mayor tenacidad - mayor avance	55	36	9	1.600	Acero, acero fundido, acero inoxidable, hierro fundido maleable de viruta larga	
	P 15		71	20	9	1.500		
	P 20		76	14	10	1.500		
	P 25		70	20	10	1.450		
	P 30		82	8	10	1.450		
	P 40		74	12	14	1.350		
Amarillo	M 10	↑ Mayor dureza y resistencia al desgaste - mayor velocidad ↓ Mayor tenacidad - mayor avance	24	10	6	1.700	Acero, acero inoxidable austenítico, acero fundido, acero al manganeso y fundiciones dúctiles	
	M 15		81	12	7	1.550		
	M 20		82	10	8	1.550		
	M 40		79	6	15	1.350		
Rojo	K 10	↑ Mayor dureza y resistencia al desgaste - mayor velocidad ↓ Mayor tenacidad - mayor avance	92	2	6	1.650	Hierro gris fundido en coquilla, acero templado, metales no ferrosos y no metálicos como plásticos y madera	
	K 20		92	2	6	1.550		
	K 30		93	-	7	1.400		
	K 40		88	-	12	1.300		

Fuente: Grupo de pesquisa e treinamento em comando numerico. Curso de usinagem dos metais.

1.1.5 **Carburos cementados recubiertos.** Los carburos recubiertos, véase la figura 1 (e), son insertos de carburo cementado recubierto con una o más capas delgadas de un material resistente al desgaste como carburo de titanio, nitruro de titanio u óxido de aluminio (Al_2O_3). El carburo de titanio y el óxido de aluminio son materiales muy duros con gran resistencia al desgaste y son químicamente inertes, con lo que resulta una barrera química y térmica entre herramienta y viruta. El nitruro de titanio es un material menos duro, pero tiene menor coeficiente de fricción sobre las caras del inserto y mejor resistencia a la formación de cráteres. En la figura 2 se ilustra una representación esquemática de un inserto metal duro con recubrimiento.

Figura 2. Representación esquemática de un inserto de metal duro con recubrimiento



Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Sandvik Coromant [en línea].

El recubrimiento se aplica al sustrato por deposición química de vapor (CVD) o deposición física de vapor (PVD)*. El espesor del recubrimiento es solamente de 2.5 μm a 13 μm . Se ha observado que los recubrimientos más gruesos tienden a ser frágiles y producen agrietamientos, desportilladuras y separación de la base del inserto.

Actualmente todos los grados de carburo cementado de primera calidad para tornearse son con recubrimiento; predominan en todas partes y representan las tres cuartas partes del consumo de insertos rotatorios¹, con lo que el rendimiento y la confiabilidad han mejorado de manera considerable desde su introducción en 1970. Se aplican mejor a altas velocidades de corte en situaciones donde las fuerzas dinámicas y choque térmico son mínimos.

1.1.6 **Cerámicos.** Las herramientas de corte hechas de cerámica son duras, con alta dureza en caliente, y no reaccionan con los materiales de la pieza de trabajo. Son durables y pueden maquinarse a altas velocidades de corte si se

* Para más información véase el capítulo 33 "Procesos de recubrimiento y deposición" de GROOVER, M. Fundamentos de manufactura moderna. p. 828-834.

¹ CHILES, Vick et al. Principios de ingeniería de manufactura. p. 282.

emplean instalaciones rígidas de trabajo. Muchas fallas por factura prematura en herramientas cerámicas se deben a máquinas de herramientas no rígidas, que sujetan a las herramientas a fuerzas dinámicas. No se recomiendan para operaciones interrumpidas de corte basto, y si se emplean correctamente, pueden usarse para obtener buen acabado en las superficies, véase la figura 1 (f). Existen dos tipos básicos de cerámica: con base en óxido de aluminio y con base en nitruro de silicio. Se aplican principalmente al maquinado de piezas de hierro fundido, aceros duros y aleaciones resistentes al calor.

1.1.7 Nitruro de boro cúbico (CBN). Combina extrema dureza, alta dureza en caliente hasta temperaturas de 2000 °C, excelente resistencia al desgaste por abrasión y generalmente buena estabilidad química durante el maquinado. La figura 1 (g) muestra un inserto de CBN. Es más tenaz que la cerámica, pero no tiene tan buena resistencia térmica y química como ésta.

Se usa para el corte de forjaduras de acero, acero endurecido, hierro fundido y metales por metalurgia de polvos con base de hierro o cobalto. Se manufactura por medio de alta temperatura y presión para unir los cristales cúbicos de boro con un aglutinante metálico o de cerámica. Cuando un material de nitruro de boro cúbico para herramienta de corte se hace con aglutinante de cerámica, se obtiene mejor estabilidad química y resistencia al desgaste, pero una tenacidad más deficiente. Al unirlo en un sustrato de carburo cementado, se forma un soporte tenaz y resistente a choques para el borde cortante relativamente quebradizo. Para obtener diversos grados, las propiedades del material se pueden variar si se altera el tamaño del cristal, el contenido y el tipo de aglutinante.

1.1.8 Diamante sintético policristalino. Su considerable dureza hace posible que resista desgastes de muy alta abrasión, utilizándose para aplicaciones de esmerilado y maquinado. Se fabrica mediante la sinterización de polvos finos de cristales de diamante granulado a altas temperaturas y presiones en la forma deseada, no se usa aglutinante. Los cristales tienen una orientación aleatoria para eliminar cualquier dirección de propagación de grietas, lo que resulta en alta dureza y resistencia al desgaste uniformemente alta en todas direcciones. Los insertos se hacen depositando una capa de diamante policristalino sinterizado sobre la superficie de una base de carburo cementado. En la figura 1 (h) se aprecian algunas de estas herramientas.

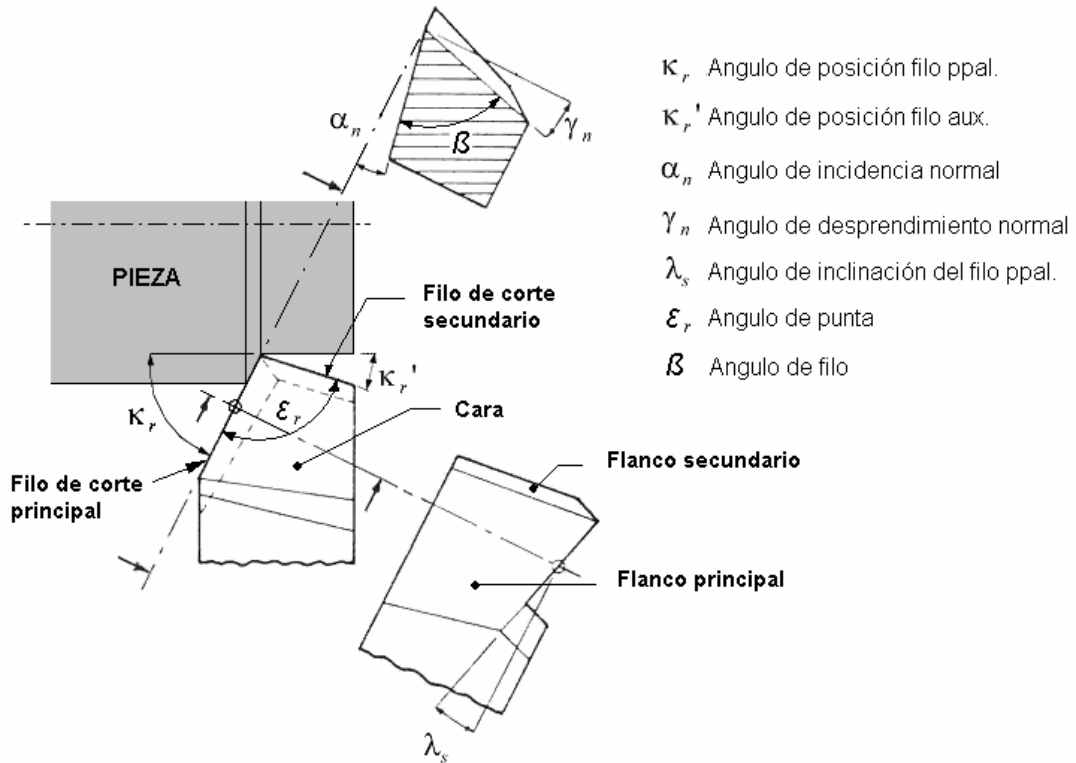
Las aplicaciones de las herramientas de corte de diamante incluyen el maquinado a alta velocidad de metales no ferrosos y abrasivos no metálicos como fibras de vidrio y grafito, que requieran precisión y alta calidad de acabado. No se puede utilizar para maquinar acero y otros metales ferrosos, así como aleaciones basadas en níquel, debido a la afinidad química que existe entre estos metales y el carbono. Entre otra de sus desventajas se encuentra que las temperaturas de la zona de corte no debe exceder de 600°C.

1.2 HERRAMIENTAS DE CORTE

Por herramientas se entiende aquel instrumento que por su forma especial y por su modo de empleo, modifica paulatinamente el aspecto de un cuerpo hasta conseguir el objeto deseado, empleando el mínimo de tiempo y gastando la mínima energía.

1.2.1 Geometría. En casi todas las herramientas de corte existen de manera específica superficies, ángulos y filos, que definen la capacidad de corte del borde de la herramienta, véase la figura 3.

Figura 3. Geometría normal de la herramienta de torneado típica



Fuente: BOOTHROYD, Geoffrey and KNIGHT, Winston. *Fundamentals of metal machining and machine tools*. 2 ed.

❏ **Superficies.** Las más representativas son dos:

- *Superficie de ataque.* Parte por la que la viruta sale de la herramienta.
- *Superficie de incidencia.* Es la cara de la herramienta que se dirige en contra de la superficie de corte de la pieza.

❏ **Ángulos.** Entre los principales se tienen los siguientes:

- *Ángulo de incidencia α (alfa).* Es el que se forma con la tangente de la pieza y la superficie de incidencia de la herramienta. Sirve para disminuir la fricción entre la pieza y la herramienta.

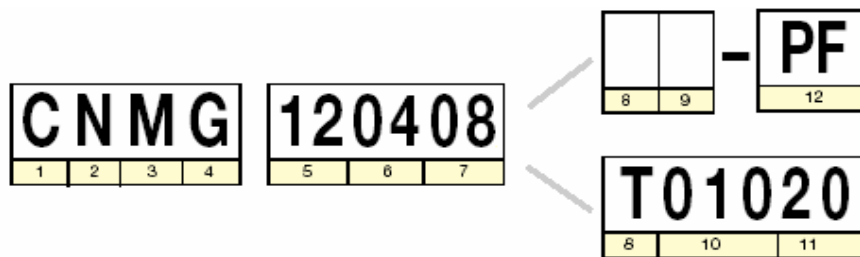
- *Ángulo de filo β (beta)*. Es el que se forma con las superficies de incidencia y ataque de la herramienta de corte. Establece qué tan punzante es la herramienta y al mismo tiempo que tan débil es.
- *Ángulo de ataque γ (gamma)*. Es el ángulo que se forma entre la línea radial de la pieza y la superficie de ataque de la herramienta. Sirve para el desalojo de la viruta, también disminuye la fricción de ésta con la herramienta. La suma de los ángulos alfa, beta y gamma es siempre igual a 90° .
- *Ángulo de punta ε_r (épsilon)*. Se forma en la punta de la herramienta de corte por lo general entre el filo primario y el secundario. Permite definir el ancho de la viruta obtenida.
- *Ángulo de inclinación del filo de corte λ_s (lambda)*. Es el que se forma con el eje de la herramienta y la radial de la pieza. Permite dar inclinación a la herramienta con respecto de la pieza.
- *Ángulos de posición del filo de corte κ_r (kappa)*. Se obtiene entre el filo principal de la herramienta y el eje de simetría de la pieza. Aumenta o disminuye la acción del filo principal de la herramienta.

✚ **Filos de la herramienta.** Son los encargados de la remoción del material:

- *Filo principal.* Es el que se encuentra en contacto con la superficie desbastada y trabajada, remueve la mayor parte del metal.
- *Filo secundario.* Por lo regular se encuentra junto al filo primario y se utiliza para evitar la fricción de la herramienta con la pieza y controlar el acabado superficial de la pieza.

1.2.2 **Nomenclatura de los insertos intercambiables***. Los tipos de insertos se han diseñado para obtener condiciones satisfactorias de corte en las diversas aplicaciones que se presentan en el mecanizado de metales. El tipo de inserto se determina principalmente por su geometría. En la figura 4 se muestra la estructura de la nomenclatura para insertos intercambiables... véase el anexo A...

Figura 4. Nomenclatura de insertos intercambiables



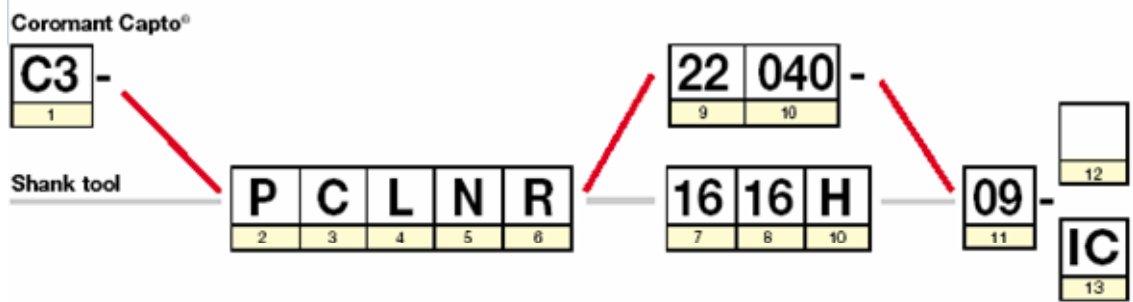
Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Sandvik Coromant [en línea].

1.2.3 **Métodos de sujeción.** Las formas alternativas para sostener y presentar el filo de corte de una herramienta de punta sencilla puede ser a través de un vástago sólido como en las herramientas de aceros de alta velocidad, o mediante el uso de insertos soldados o adheridos mecánicamente a un portaherramienta**, como en los metales duros debido al costo más elevado y las diferencias en las propiedades mecánicas. En la figura 5 se indica la estructura del código para un portaherramientas... véase el anexo B...

* Véase la nomenclatura de los insertos en ISO 1832:1991, *Indexable inserts for cutting tools – Designation*.

** Véase la nomenclatura de los portaherramientas en ISO 5608:1995, *Turning and copying tool holders and cartridges for indexable inserts – Designation*.

Figura 5. Nomenclatura de los portaherramientas



Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Sandvik Coromant [en línea].

1.3 FLUIDOS PARA CORTE

El uso de fluidos de corte no sólo reduce el desgaste y aumenta la vida de la herramienta, también ayuda a lograr un mejor acabado superficial en la pieza de trabajo. Su costo total, incluidos su administración y desecho, es alrededor del 16 % del costo total de fabricación de una pieza*, así la reducción en el uso de fluido de corte ofrece la opción de obtener ahorros considerables.

1.3.1 **Funciones de los fluidos de corte.** Las principales funciones que debe realizar un fluido para corte de metales se presentan a continuación:

❏ **Lubricación.** Reducir el coeficiente de fricción entre la herramienta y la pieza y entre la herramienta y la viruta que está siendo eliminada.

❏ **Refrigeración.** El fluido debe eliminar el elevado calor que se produce en la operación de mecanizado.

* DE CHIFFRE, L. and BELLUCO, W. *Correlation of cutting fluid performance in different machining operations.*

❖ **Eliminación de viruta.** El fluido debe retirar eficientemente la viruta lejos de la zona de operación para no interferir en el proceso y permitir la calidad superficial requerida.

❖ **Protección frente a la corrosión.** El fluido acuoso podría oxidar y corroer la pieza, la herramienta o la máquina, para evitarlo las formulaciones deben incorporar protectores frente a la corrosión.

1.3.2 **Tipos de fluidos para corte.** El acabado superficial, los requisitos de tolerancia, la composición del metal de trabajo, y los tipos específicos de operación influyen la elección del fluido de corte. Además se debe tener en cuenta que no se afecte el entorno ambiental ni se ponga en riesgo la salud del operario. Los fluidos de corte se pueden dividir en dos grupos principales*:

❖ **Aceites de corte puros.** Tiene buenas propiedades lubricantes y buena protección contra la corrosión, sin embargo su baja conductividad térmica y calor específico hacen deficientes sus propiedades de enfriamiento.

❖ **Fluidos de corte solubles en agua.** Tiene buenas propiedades de enfriamiento por su alta difusividad térmica pero tiene deficientes propiedades lubricantes y también reacciona de manera corrosiva con metales ferrosos. Éstos se pueden dividir en dos grupos:

- *Emulsiones de aceite.* El uso de emulsiones de aceite es la manera tradicional de combinar las propiedades de enfriamiento del agua con las propiedades lubricantes y protectoras de corrosión del aceite.

* Para más información véase la sección 10.5 "Fluidos de corte". CHILES, Vick et al. Principios de ingeniería de manufactura. p. 300-310

- *Fluidos sintéticos.* Ofrecen una rápida disipación de calor, propiedades de limpieza, preparación sencilla y tienen buena protección contra la corrosión. Además son transparentes, lo cual ayuda a que el operario vigile mejor el trabajo.

2. TORNEADO

2.1 INTRODUCCIÓN A PROCESOS DE MECANIZADO

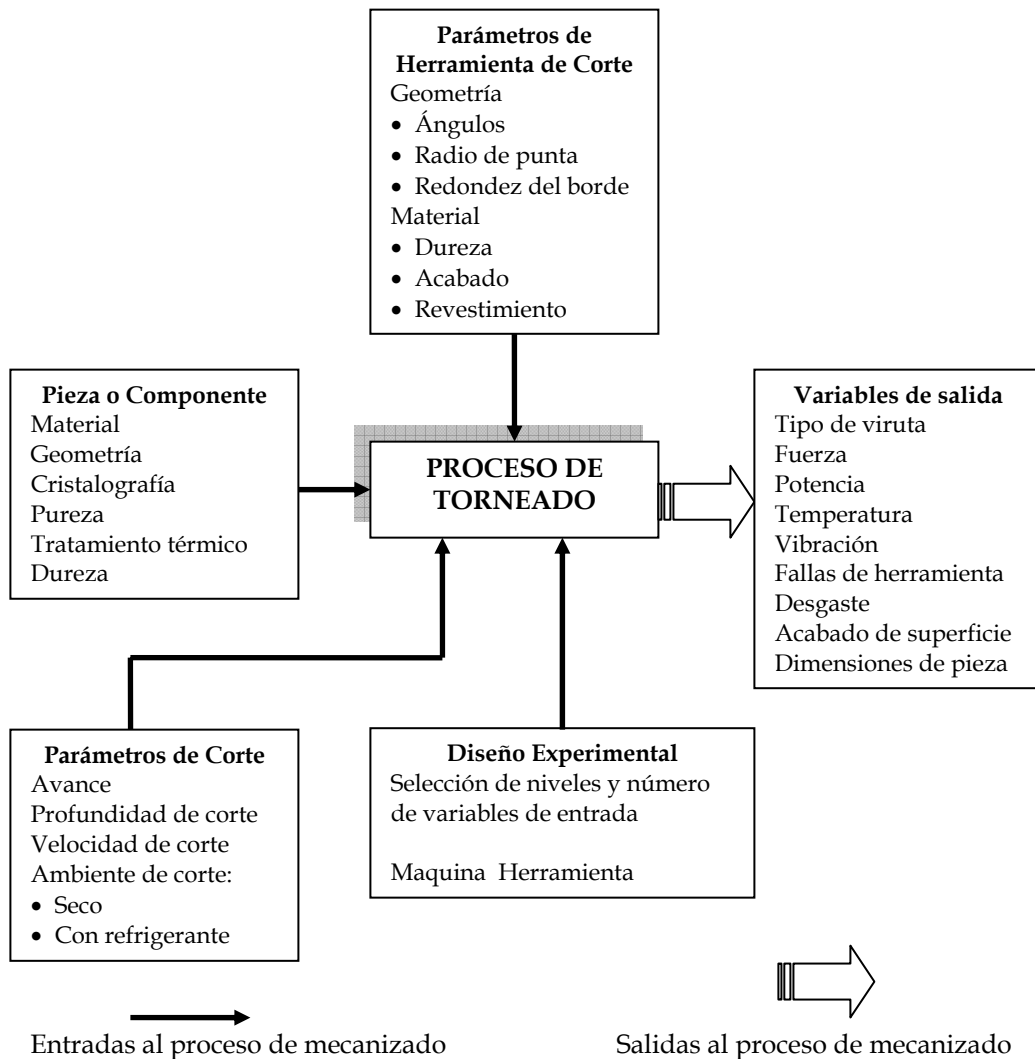
El mecanizado es un término que abarca una amplia serie de procesos de manufactura diseñados para remover material no deseado, usualmente en forma de virutas, de una pieza de trabajo. Así, el maquinado se usa para convertir fundiciones, forjados o bloques preformados de metal en formas deseadas, con tamaños, tolerancias y acabados especificados para cumplir con requerimientos de diseño. Los procesos de mecanizado pueden agruparse en tres categorías, que incluye los procesos tradicionales de formación de viruta, procesos de maquinado abrasivo, y procesos de maquinado no tradicionales.

Dentro de las variables envueltas en los procesos de corte con formación de viruta, existen aquellas en las cuales se puede intervenir (variables independientes de entrada) y aquellas en las que no se puede (variables dependientes de salida) ya que sufren influencia de los cambios en las variables de entrada. Una manera de controlar el proceso de mecanizado es interactuar entonces directamente sobre las variables de entrada y medir su efecto a través de la medición de las variables dependientes de salida. Las condiciones ideales para un cierto proceso de mecanizado pueden ser determinadas con un mejor aprovechamiento de la herramienta de corte a una mejor tasa de remoción de material. La figura 6 resume las relaciones de entrada/salida en un proceso de torneado.

Los procesos de mecanizado se llevan a cabo en una amplia variedad de

máquinas herramientas. De acuerdo a Machado et al*, la nueva generación de máquinas herramientas y técnicas de manufactura empleadas en la industria moderna demandan la predicción confiable de la vida de la herramienta que permita exactamente determinar mecanizados económicos.

Figura 6. Relaciones de entrada/salida en corte de metal

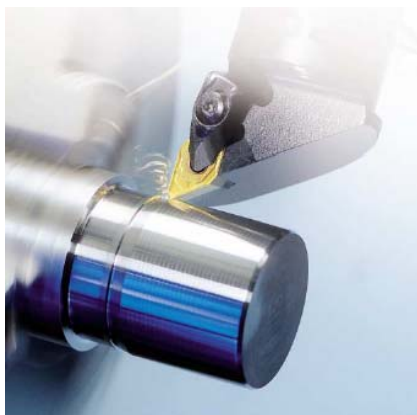


Fuente: *American standard metals handbook committee. Metals Handbook. 9 ed.*

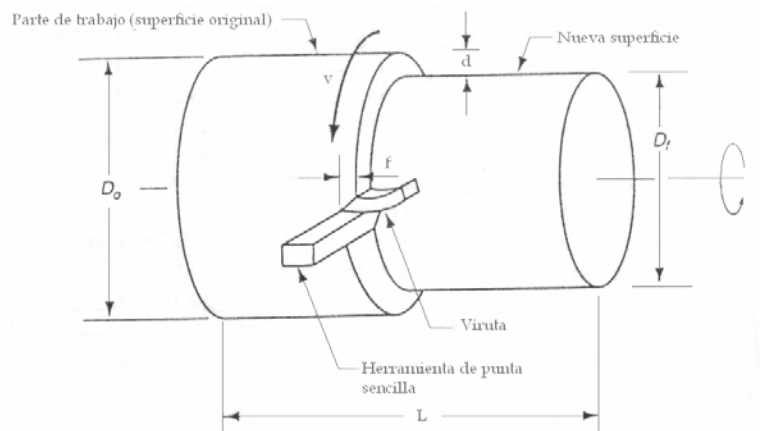
* MACHADO. Alisson et al. *An optimisation procedure to determine the coefficients of the extended Taylor's equation in machining.* p. 18-19

Por tanto se han desarrollado ecuaciones que relacionan vida de la herramienta con los parámetros de mecanizado involucrado. Aunque se encuentran diferentes formas de ecuaciones en la literatura*, la ecuación mejor conocida para vida de la herramienta es la recomendada por Taylor... véase el capítulo 3, numeral 3.1.7... Aunque esta ecuación se emplea a un amplio rango de operaciones de mecanizado, en la práctica sólo aplica a procesos de torneado, la razón para esto es que no ajusta tan bien a los restantes procesos. Sin embargo, muchas veces la falta de procedimientos normalizados y evaluación estadística de los resultados se encuentra entre los principales factores responsables de lo anterior. Por lo expuesto, se propone en la metodología planteada operaciones de torneado para el presente estudio.

Figura 7. Operación de torneado



(a) Fotografía real



(b) Imagen con parámetros del torneado

Fuente: (a) Groover, M. Fundamentos de Manufactura Moderna; (b) Catálogo electrónico de herramientas, Valenite [en línea].

* Para más detalle referirse a G. Barrow, *Tool life equations and machining economics*, Proc. 12th Int. M.T.D.R Conference, Manchester, UK, Sept. 1971, p. 481-493.

Una definición formal de torneado sería entonces, proceso de mecanizado para generar superficies externas de revolución por la acción de una herramienta de corte de punta sencilla sobre la pieza de trabajo cilíndrica en rotación. La herramienta avanza linealmente y en una dirección paralela al eje de rotación, como se ilustra en la figura 7.

2.2 CONDICIONES DE CORTE EN EL TORNEADO

2.2.1 **Velocidad***. La velocidad de rotación en el torneado se relaciona con la velocidad de corte requerida en la superficie cilíndrica de la pieza de trabajo por la ecuación:

$$N = \frac{V_c}{\pi D_o} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde N es la velocidad de rotación en rev/min; V_c es la velocidad de corte en m/min; y D_o es el diámetro original de la pieza en metros.

2.2.2 **Avance***. El avance en el torneado, f , se expresa generalmente en mm/rev. Este avance se puede convertir a velocidad de avance lineal, f_r , en mm/min mediante la fórmula:

$$f_r = N f \quad \text{Ecuación 2}$$

2.2.3 **Profundidad de corte**. La operación de torneado reduce el diámetro del trabajo de D_o al diámetro final de D_f . El cambio de diámetro se determina por la profundidad de corte a_p :

* Para más detalle de la selección de velocidades y avances nominales de torneado de aceros al carbono y de baja aleación referirse al *Metals Handbook* 8 ed, v. 6, p. 6- 1, tablas 2, 3, 4 y 5, donde se tabulan valores que intentan servir como punto de inicio para la selección de condiciones óptimas de maquinado.

$$D_o - D_f = 2a_p \quad \text{Ecuación 3}$$

2.2.4 Tiempo para maquinar. El tiempo para torneear una parte de trabajo cilíndrico de un extremo al otro esta dado por:

$$T_m = \frac{L}{f_r} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde T_m es el tiempo de maquinado real en minutos y L es la longitud de la parte cilíndrica en milímetros. Generalmente se añade una pequeña distancia a la longitud, al principio y al final de la pieza de trabajo para dar una margen a la aproximación y al sobrecorrido de la herramienta.

2.2.5 Velocidad volumétrica de remoción del material. Se calcula convenientemente por la siguiente ecuación:

$$MRR = V_c f a_p \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde MRR es la velocidad volumétrica de remoción del material en mm^3/min .

2.3 OPERACIONES RELACIONADAS EN EL TORNEADO

Además del torneado se puede realizar una infinidad de operaciones de mecanizado en un torno, como las que se nombran a continuación:

2.3.1 Careado o refrentado. La herramienta se alimenta radialmente sobre el extremo del trabajo rotatorio para crear una superficie plana.

2.3.2 Torneado ahusado o cónico. La herramienta avanza en cierto ángulo respecto al eje de rotación de trabajo, creando una forma cónica.

2.3.3 **Torneado de contornos.** En lugar de que la herramienta avance paralelamente al eje de rotación como en torneado, sigue un contorno diferente a la línea recta, creando así una forma contorneada en la parte torneada.

2.3.4 **Torneado de formas.** En esta operación algunas veces llamada formado, la herramienta tiene una forma que se imparte al trabajo y se hunde radialmente dentro del trabajo.

2.3.5 **Achaflanado.** El borde cortante de la herramienta se usa para cortar un ángulo en la esquina del cilindro y forma lo que se llama un “chaflán”.

2.3.6 **Tronzado.** La herramienta avanza radialmente dentro del trabajo en rotación, en algún punto a lo largo de su longitud, para trozar el extremo de la parte.

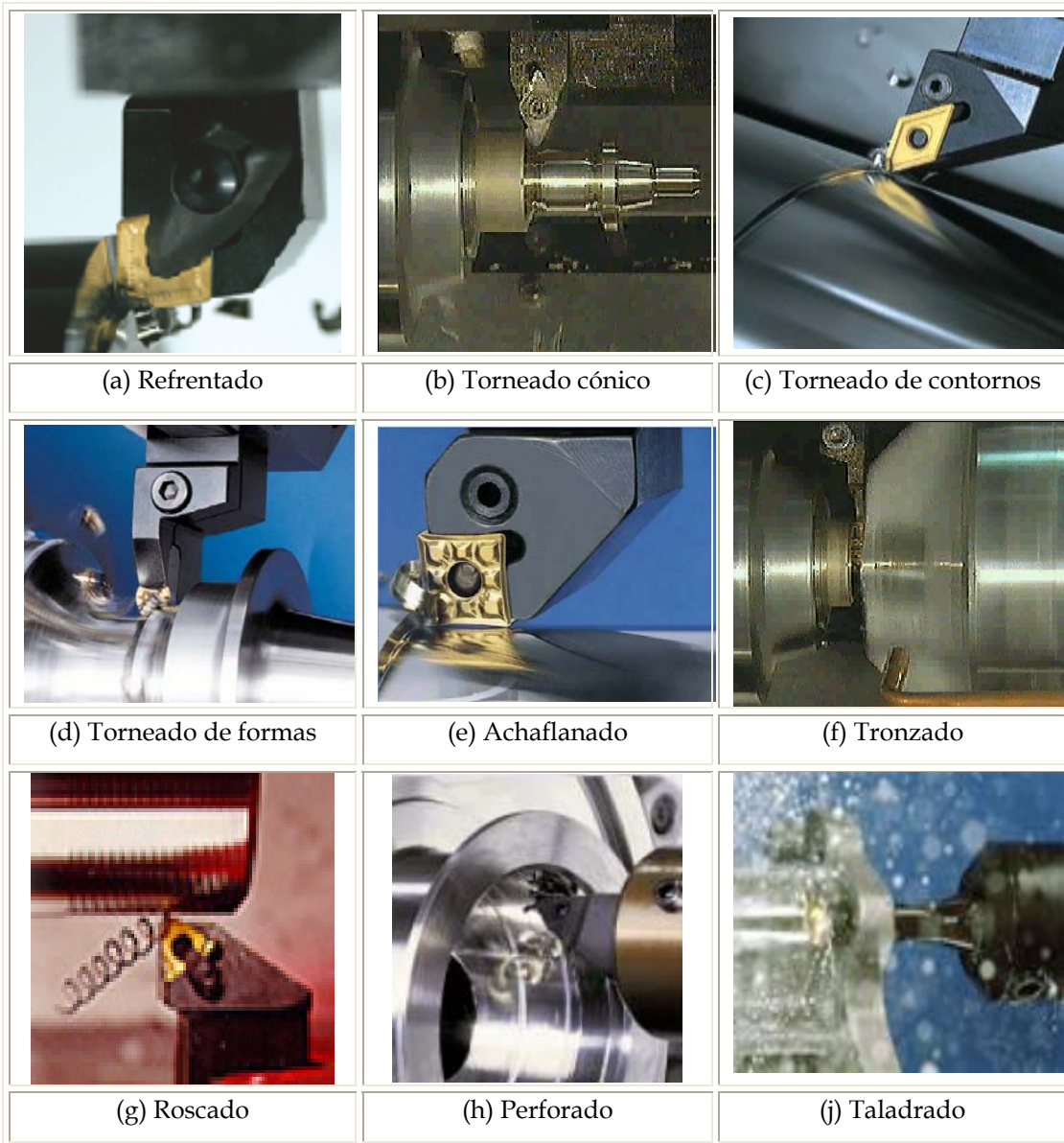
2.3.7 **Roscado.** Una herramienta puntiaguda avanza linealmente a través de la superficie externa de la parte de trabajo en rotación y en dirección paralela al eje de rotación.

2.3.8 **Perforado.** Una herramienta de punta sencilla avanza paralela al eje de rotación, sobre el diámetro interno de un agujero existente en la parte.

2.3.9 **Taladrado.** Se hace avanzar la broca dentro del trabajo rotatorio a lo largo de su eje.

En la figura 8 se ilustra las operaciones anteriormente descritas.

Figura 8. Operaciones realizadas en un torno



Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Valenite [en línea].

2.4 CENTRO DE TORNEADO

La elección del equipo y procedimiento de mecanizado para una pieza de trabajo depende principalmente de los siguientes factores: tamaño de la pieza, configuración de la pieza, capacidad del equipo (velocidad, avance y rango

de potencia), cantidad de producción, precisión dimensional, número de operaciones y acabado superficial*.

Como alternativa al control de máquinas de herramientas por medios mecánicos, hidráulicos u otros convencionales, la ingeniería numérica presenta considerables atractivos en aplicaciones de manufactura. El control numérico, aplicado a máquinas de herramientas y otros equipos, es versátil en cuanto a que se puede utilizar para una amplia variedad de procesos y en componentes de características que varían considerablemente. Es flexible, porque se puede emplear tanto para altas cantidades de producción, como para la producción de lotes pequeños y medianos de componentes, ya que casi se elimina la necesidad de montajes y accesorios que representan costos muy altos.

La metodología del diseño experimental del presente proyecto plantea el uso de una máquina de herramienta con control numérico computarizado, específicamente el centro de torneado marca Leadwell modelo T6, el cual se muestra en la figura 9... véase el anexo C... debido a las características de los ensayos para determinar la vida de las plaquitas. Un centro de torneado de control numérico computarizado es capaz de desempeñar varias operaciones de torneado y operaciones relacionadas, torneado de contorno y secuenciado automático de herramientas, todas bajo control computarizado. Además los centros de torneado sofisticados pueden realizar: calibrado de partes de trabajo (verificación de las dimensiones clave después del maquinado), control de la vida de las herramientas (sensores que indican cuando las herramientas están desgastadas), cambio automático de herramientas cuando

* Para más especificaciones relacionadas a los diferentes tornos y la influencia de los factores citados se puede ir al *Metals Handbook* 8 ed, v. 3, p. 2, 3, y 11-18, respectivamente.

se desgastan, y además cambio automático de partes de trabajo al final del ciclo.

Figura 9. Centro de torneado



Fuente: Compact Turning Lathe [en línea]. Taitung (Taiwan) : Leadwell CNC Machine Mfg, s.f.-[citado en 2005-10-22]. Disponible en Internet: <http://www.leadwell.com.tw/t-series.htm>.

3. VIDA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

La duración o vida de la herramienta de corte es un factor económico muy importante en el corte de metales para obtener el rendimiento óptimo de las herramientas, lo cual ha sido comprendido desde la publicación de los trabajos de Taylor, base para la determinación de un método científico del corte de metales... en el numeral 3.4...

En operaciones de desbaste, los ángulos de la herramienta, las velocidades de corte y los avances se escogen de tal forma que se obtenga una duración económica de la herramienta. Las condiciones para las cuales se obtiene una vida relativamente corta de la herramienta son antieconómicas porque los costos de reafilado y de reemplazo de la herramienta son comparativamente altos. Por otra parte, usar velocidades y avances muy pequeños con los que se obtendría una gran duración de la herramienta es igualmente antieconómico en razón de la baja productividad. Es claro que cualquier mejora en la herramienta o en el material de trabajo que aumente la duración de la herramienta es beneficiosa. Con el propósito de constituir una base para dichas mejoras se han realizado investigaciones relacionadas con la naturaleza del desgaste y de otros tipos de fallas de herramientas... véase el numeral 3.1...

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

- El desgaste gradual o progresivo de ciertas regiones en la cara y en el flanco de la herramienta...véase el numeral 3.3...
- Las fallas mecánicas que lleven la vida de la herramienta hacia un final prematuro.

3.1 FORMAS DE FALLA DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE EN MAQUINADO

Las herramientas de corte están sujetas a procesos de fricción severos, existiendo un contacto metal-metal, entre la viruta y la pieza de trabajo, bajo condiciones de grandes esfuerzos a alta temperatura, cercanos a la superficie de la herramienta.


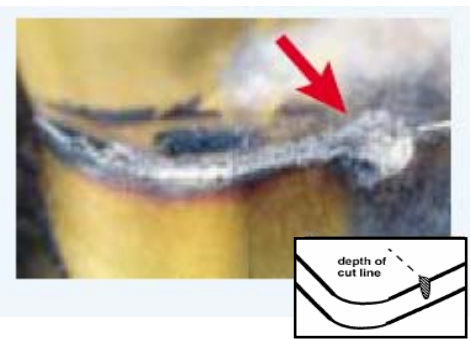

Durante el corte, las herramientas de corte remueven el material de la pieza para realizar la forma requerida, dimensión y rugosidad de superficie. Sin embargo, desgastes ocurren durante esta acción de mecanizado, los cuales provocan falla de la herramienta de corte. Así, cuando el desgaste de la herramienta alcanza cierta extensión, la herramienta o el filo tiene que reemplazarse para garantizar la acción de corte ordinaria. En la tabla 4 se describen los patrones de desgaste de herramienta ocurridos durante el corte.




3.2 MECANISMOS DE DESGASTE

El desgaste de la herramienta es un proceso que involucra más de un mecanismo que lo ocasiona, dichos mecanismos específicos operan dependiendo de las condiciones físicas existentes. Se han identificado principalmente cuatro mecanismos de desgaste*:



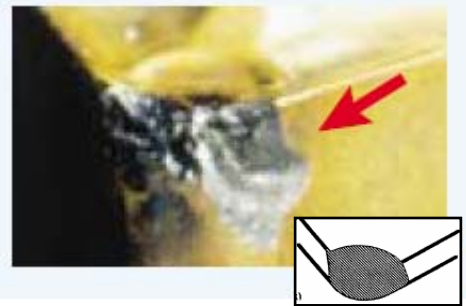
* Para más detalle de las diferentes teorías de mecanismos de desgaste véase *The machining of metals*, p. 125-136.

Tabla 4. Formas de falla de una herramienta de corte en torneado

Falla (Desgaste)	Definición	Causas	Como minimizar
<p>• Desgaste del flanco</p> 	<p>El desgaste rápido del flanco genera un acabado superficial o dimensiones fuera de tolerancia.</p>	<p>Velocidad de corte muy alta o insuficiente resistencia al desgaste. Además de la fricción entre el flanco de la herramienta y la superficie recién generada.</p>	<p>Reducir la velocidad de corte. Elegir un grado más resistente al desgaste</p>
<p>• Muesca de desgaste</p> 	<p>Es una combinación de desgaste del flanco y cráter, que ocurre adyacente al punto donde el filo de corte mayor se interseca con la superficie de trabajo.</p> <p>El desgaste de muesca causa superficie de acabado pobre y riesgo de rotura del filo</p>	<p>Oxidación. Fricción.</p>	<p>Seleccionar un grado recubierto de Al_2O_3.</p> <p>Para materiales de trabajo endurecidos seleccionar un ángulo de entrada pequeño o un grado más resistente al desgaste.</p> <p>Reducir la velocidad de corte.</p> <p>Cuando se maquina un material resistente al calor con insertos de cerámica se recomienda incrementar la V_C.</p>
<p>• Desgaste de cráter</p> 	<p>El desgaste excesivo de cráter causa fragilidad del filo de corte, el cual al romperse provoca superficies de acabado pobre</p>	<p>El mecanismo de desgaste por difusión debido a las altas temperaturas de corte en la superficie de ataque de la herramienta. También puede deberse al desgaste por abrasión.</p>	<p>Seleccionar un grado recubierto con Al_2O_3.</p> <p>Elegir un inserto de geometría positiva.</p> <p>Reducir primero la velocidad para obtener una menor temperatura, y entonces disminuir el avance.</p>

Falla (Desgaste)	Definición	Causas	Como minimizar
<ul style="list-style-type: none"> • Deformación plástica 	<p>La deformación plástica, ya sea por depresión del filo o impresión del flanco, conduce a un control de viruta y superficie de acabado pobre. Además el excesivo riesgo de desgaste de flanco lleva a la rotura del inserto.</p>	<p>Alta temperatura de corte combinada con una alta presión.</p>	<p>Seleccionar un grado de mayor dureza y mejor resistencia a la deformación plástica.</p> <p>Para depresión del filo -Reducir la velocidad</p> <p>Para impresión del flanco -Reducir el avance</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Filo postizo* 	<p>El filo postizo provoca un acabado superficial deficiente y una rotura del filo de corte al romperse.</p>	<p>El material de trabajo se suelda al inserto debido a:</p> <p>Baja velocidad de corte</p> <p>Geometría negativa de corte.</p>	<p>Incrementar la velocidad de corte.</p> <p>Seleccionar una geometría positiva.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Golpeteo de la viruta 	<p>La parte del filo no involucrada en el proceso de corte es dañada por el golpeteo de la viruta. Puede afectarse la cara superior y el soporte del inserto.</p>	<p>Las virutas se desvían contra el filo de corte</p>	<p>Cambiar el avance</p> <p>Seleccionar una geometría alternativa de inserto.</p>

* En inglés su abreviatura es B.U.E de *built-up edge*.

Falla (Desgaste)	Definición	Causas	Como minimizar
<p>• Fragmentación</p> 	<p>Son fracturas pequeñas del borde de corte (fragmentación) que causan superficies de acabado pobre y excesivo desgaste de flanco</p>	<p>Grado demasiado frágil.</p> <p>Geometría del inserto muy débil.</p> <p>Filo postizo.</p>	<p>Seleccionar un grado más tenaz.</p> <p>Elegir un inserto con una geometría más fuerte (para insertos cerámicos un chaflán más grande).</p> <p>Incrementar la velocidad de corte o seleccionar una geometría positiva.</p> <p>Reducir el avance al inicio del corte.</p>
<p>• Grietas térmicas</p> 	<p>Son grietas pequeñas perpendiculares al filo de corte que causan fragmentación y superficie pobre de acabado.</p>	<p>Las Grietas térmicas se deben a variaciones de temperatura causadas por:</p> <p>Maquinado intermitente.</p> <p>Suministro insuficiente o intermitente del volumen de refrigerante.</p>	<p>Seleccionar un grado de material de herramienta con mayor resistencia a los choques térmicos.</p> <p>Aplicar refrigerante abundantemente o no hacerlo.</p>
<p>• Fractura del inserto</p> 	<p>Fractura del inserto que daña no sólo el inserto, también la base del inserto y la pieza de trabajo.</p>	<p>Grado demasiado frágil.</p> <p>Carga excesiva sobre el inserto.</p> <p>Geometría del inserto demasiado débil.</p> <p>Tamaño del inserto demasiado pequeño.</p>	<p>Seleccionar un grado más tenaz.</p> <p>Reducir el avance y/o la profundidad de corte.</p> <p>Seleccionar una geometría más fuerte, preferiblemente un inserto de una sola cara.</p> <p>Seleccionar un inserto de más espesor/largo.</p>

Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Sandvik Coromant [en línea].

3.2.1 **Abrasión.** Acción de desgaste mecánico ocasionado principalmente por las impurezas dentro del material de la pieza, como carbono, nitruro y componentes de óxido, así como fragmentos de filo postizo, que rayan y remueven pequeñas porciones de la herramienta. Esta acción abrasiva es la principal causa del desgaste de la herramienta a bajas velocidades, y ocurre en el desgaste del flanco y desgaste de cráter, predominando en el primero.

3.2.2 **Adhesión.** El simple mecanismo de fricción y desgaste propuesto por Borden y Tabor* se basa en el concepto de la formación de juntas soldadas y su subsiguiente destrucción. Debido a alta presión y temperatura, la adhesión o soldado ocurre entre la viruta y la superficie de ataque de la herramienta. A medida que la viruta fluye a través de la herramienta, se rompen pequeñas partículas de la herramienta y se separan de la superficie, provocando así el desgaste de la superficie. El desgaste severo se caracteriza por un considerable soldado y rotura de la superficie de fricción más dúctil a la alta tasa de desgaste, y la formación de partículas de desgaste relativamente grandes. El desgaste de adhesión ocurre principalmente a bajas temperaturas de mecanizado sobre la cara de ataque de la herramienta, como filo postizo.

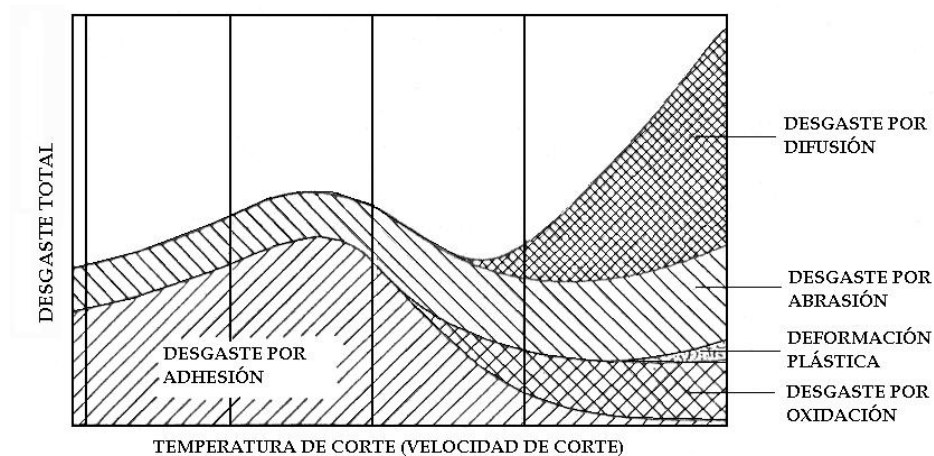
3.2.3 **Difusión.** La difusión es un intercambio de átomos a través de un límite de contacto entre dos materiales. En el caso del desgaste de la herramienta, la difusión ocurre en el límite herramienta- viruta y ocasiona que la superficie de la herramienta quede agotada por los átomos que le imparten su dureza. Conforme este proceso continúa, la superficie de la herramienta se vuelve más susceptible a la abrasión y a la adhesión. Se cree que la difusión es el principal mecanismo del desgaste en cráter.

* Para mayor detalle acerca de su trabajo en "*The friction and lubrication of solids*", Parte I.

3.2.4 **Deformación plástica.** Otro mecanismo que contribuye al desgaste de la herramienta es la deformación plástica del borde cortante. Las fuerzas de corte que actúan en el borde de corte a altas temperaturas hacen que éste se deforme plásticamente, haciéndolo más vulnerable a la abrasión de la superficie de la herramienta. La deformación plástica contribuye principalmente al desgaste de flanco.

En la figura 10 se muestra la presencia de los diferentes mecanismos de desgaste de acuerdo a la velocidad de corte.

Figura 10. Mecanismos de desgaste en función de la temperatura



Fuente: *Grupo de pesquisa e treinamento em comando numerico. Curso de usinagem dos metais.*

3.3 FORMAS DE DESGASTE EN EL CORTE DE METALES

3.3.1 Desgaste del flanco (Desgaste de la superficie de incidencia).

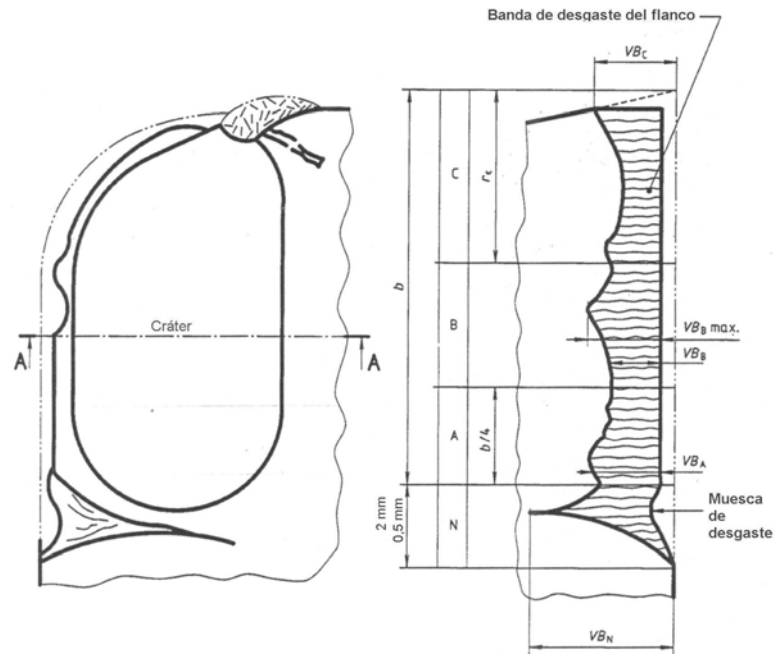
Ocasionado por la fricción entre la superficie producida en la pieza y el área del flanco en contacto con ella. En razón de la rigidez de la pieza, el área desgastada, conocida como la zona de desgaste del flanco, debe ser paralela a

la dirección de corte resultante. El desgaste del flanco se mide por el ancho de la banda de desgaste, VB . En la figura 11 se muestra la caracterización de este tipo de desgaste. En muchos casos la zona de desgaste de flanco tiene un ancho bastante uniforme a lo largo de la mitad de la porción, de la parte recta del borde cortante principal. El ancho de la zona de desgaste de flanco es relativamente fácil de medir, y su crecimiento lleva a una reducción en la calidad de la herramienta. Todos los materiales de herramientas de corte tienen normalmente una tasa inicial alta de desgaste de flanco, la cual usualmente decrece considerablemente después de un corto tiempo de corte a menos que se usen velocidades de corte excesivas... véase la figura 23 en el numeral 5.7...

En la figura 12 se ilustra el progreso del ancho, VB , de la zona de desgaste del flanco en situación normal de corte. La curva de desgaste de flanco contra tiempo se divide en tres regiones:

- Región de desgaste inicial o preliminar. Presenta una alta tasa de desgaste del filo de corte. Ocurre en los primeros minutos de corte. El tamaño inicial VB está en el rango de 0.05 mm a 0.1 mm.
- Región de desgaste de estado estable, BC. La tasa de desgaste es relativamente uniforme. Se representa por una función lineal del tiempo, aunque en el mecanizado real también hay desviaciones de la línea recta.
- Región de desgaste severo, último o de falla, CD. El desgaste progresa a una tasa creciente. Esta región indica cuando el desgaste de la herramienta de corte se ha vuelto sensible a las temperaturas elevadas, ocasionadas por la presencia de una zona de desgaste de grandes proporciones.

Figura 11. Geometría simplificada de desgaste del flanco



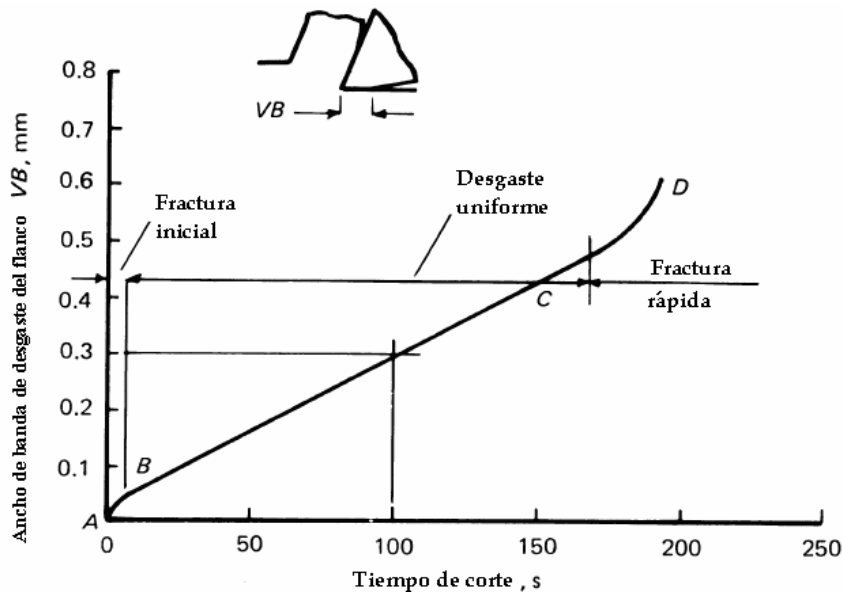
- VB_B Ancho medio de la banda de desgaste
- $VB_B máx$ Ancho máximo de la banda de desgaste
- VB_N Ancho de la muesca de desgaste en el filo principal
- VB_C Ancho de la muesca de desgaste en el filo secundario
- b Longitud de la banda de desgaste

Fuente: *The American Society of Mechanical Engineers. Tool life testing with single-point turning tools.* 1985

El desgaste de flanco de HSS frecuentemente se desarrolla diferente que el desgaste de herramientas de carburo cementado. Las primeras pueden tener periodos prolongados de poco incremento medible de desgaste del flanco, fenómeno que ocurre especialmente a bajas velocidades de corte cuando se maquinan materiales dúctiles. A altas velocidades de corte el incremento del desgaste del flanco en todos los materiales de herramientas de corte es usualmente uniforme aproximadamente después de la alta tasa inicial de desgaste. La parte final de la gráfica de desgaste del flanco con el tiempo, en

la figura 12, presenta una tasa acelerada de desgaste la cual apunta a una falla catastrófica. El ancho de la zona de desgaste del flanco, VB_B , es una herramienta apropiada de medición de desgaste y un valor predeterminado de VB_B se considera como un criterio de vida de herramienta bueno.

Figura 12. Variación del ancho de la zona de desgaste del flanco con el tiempo



Fuente: BOOTHROYD, Geoffrey and KNIGHT, Winston. *Fundamentals of metal machining and machine tools*. 2 ed.

Los valores recomendados de tamaño de banda de desgaste del flanco para diferentes materiales de herramienta y operaciones, se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Valores del criterio del tamaño de la banda de desgaste del flanco

VB_B	Herramienta	Operación
0.76 mm	Carburo cementado	Desbaste
0.25- 0.38 mm	Carburo cementado	Acabado
1.25 mm o destrucción total	HSS	Desbaste
0.25- 0.38 mm	HSS	Acabado
0.25- 0.38 mm	Cerámica	Desbaste y acabado

Fuente: ARMAREGO, E and BROWN, R. *The machining of metals*

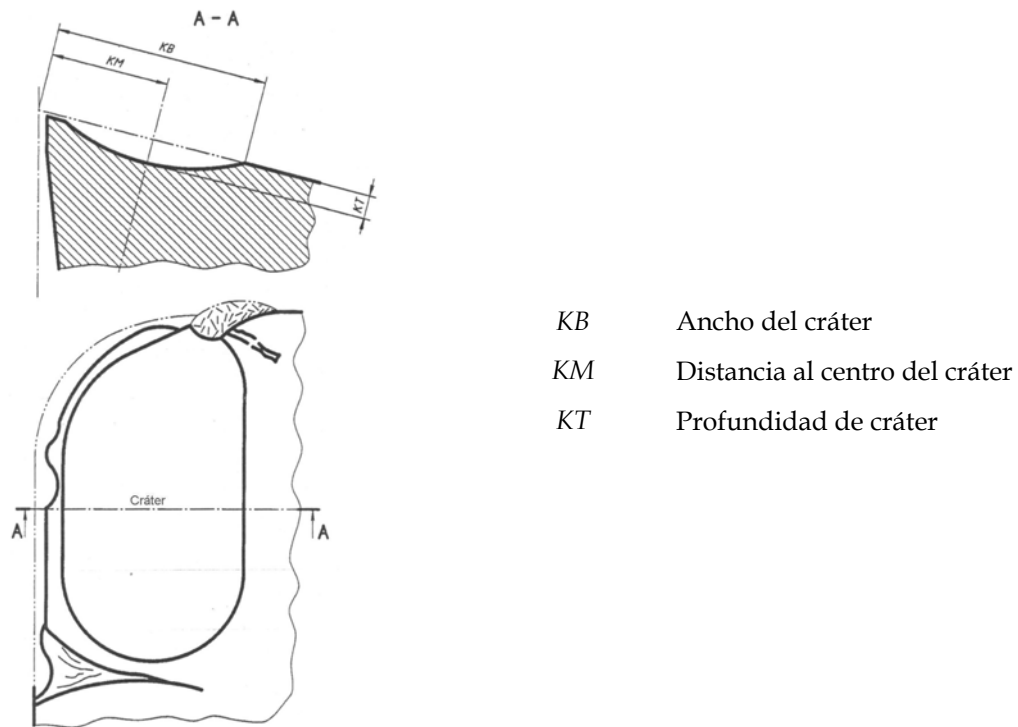
3.3.2 Desgaste de cráter (Desgaste de la cara de la herramienta). El desgaste de cráter sobre la cara puede deberse a los mecanismos de desgaste por abrasión y difusión. El cráter es una sección cóncava de la superficie de ataque de la herramienta, formada por la acción de fricción de la viruta que se desliza contra la superficie o por acción de la difusión, debido a las altas temperaturas y esfuerzos que caracterizan a la interfase de contacto herramienta-viruta. Dureza, dureza en caliente y mínima afinidad entre los materiales reduce la tendencia del desgaste de cráter. Si se presenta excesivamente, cambia la geometría del filo y puede deteriorar la formación de la viruta, cambiar las direcciones de la fuerza de corte y producir debilitamiento del filo.

Los parámetros usados para medir el desgaste de cráter se pueden ver en la figura 13. La profundidad de cráter, KT , es el parámetro más comúnmente usado en la evaluación del desgaste de la cara. La profundidad del cráter, KT , puede usarse como una medición de desgaste de herramienta y un valor predeterminado de KT se debe seleccionar como criterio de vida de herramienta.

La posición del cráter en relación con el borde cortante tiene también alguna importancia. Un cráter profundo y ancho ubicado lejos del borde cortante puede ser menos peligroso para la herramienta que uno menos profundo y estrecho cercano al borde cortante. Esta es una de las razones por las cuales los valores de KT como criterio de vida de herramienta se dan en relación al avance. Para propósitos especiales, la distancia del centro del cráter, KM , y el ancho del cráter, KB , se debe medir como información adicional. Sin embargo, lo anterior no debe usarse como criterio de vida de herramienta.

La distancia del centro del cráter, KM , distancia comprendida entre el borde cortante principal original y el punto más profundo del cráter, se mide en la zona B paralela a la cara y perpendicular al borde cortante mayor.

Figura 13. Geometría simplificada de desgaste de cráter



Fuente: *The American Society of Mechanical Engineers. Tool life testing with single-point turning tools. 1985*

El ancho de cráter, KB , distancia entre el borde cortante principal original y el lado posterior del cráter se mide paralela a la cara en la zona B y perpendicular al borde cortante principal. Como la distancia del centro del cráter, KM , depende del avance, material de trabajo y material de herramienta, la relación de cráter, K , ($K=KT/KM$) se calcula a veces. Un valor escogido puede usarse como criterio de vida de herramienta y el valor $K=0.1$ es el recomendado.

3.4 ECUACIÓN DE TAYLOR PARA LA VIDA DE LAS HERRAMIENTAS

En un proceso de mecanizado, el desgaste de la herramienta de corte es influenciado por una serie de factores como: material de la pieza, material de la herramienta, velocidad de corte, avance y profundidad de corte. La relación que actualmente representa mejor la interdependencia de éstos factores es conocida como la ecuación expandida de Taylor:

$$V_c = C \cdot f^E \cdot a_p^F \cdot T^G \cdot VB^H \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde T es la vida del filo de la herramienta en minutos, VB es el criterio de desgaste de la herramienta en mm, C es una constante y E, F, G, H son exponentes.

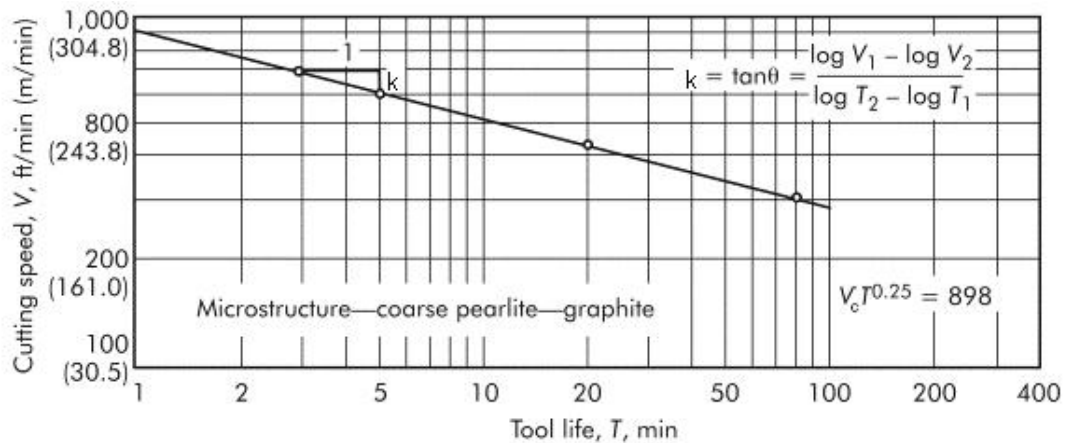
A través de esta ecuación se puede determinar las condiciones de corte para una determinada combinación de pieza-herramienta, obedeciendo a valores límites obtenidos experimentalmente. La ecuación 6 presenta dificultad para aplicarse, debido a la gran cantidad de datos de mecanizado que se requieren para determinar los parámetros. Para eliminar estos problemas se considera el factor que más afecta significativamente la vida de la herramienta, la velocidad de corte, y se expresa por la ecuación reducida de Taylor:

$$V_c T^{-1/k} = C$$

Donde C es un parámetro que depende del material de trabajo y de las condiciones de corte, y k es un parámetro que depende del material de la herramienta y define la inclinación de la curva de vida de herramienta, es decir, $\tan \alpha$, como la que se muestra en la figura 14. Para efectos de nomenclatura se referirá al término de la ecuación 7, $-1/k$ como n .

La curva de vida de herramienta se muestra en la figura 14. El logaritmo de vida de la herramienta es graficada contra el logaritmo de velocidad de corte. El resultado de la curva es cercano a una línea recta, la cual es representada por la ecuación 7, donde la pendiente esta representada por k .

Figura 14. Curva típica de vida de herramienta para una combinación de herramienta de metal duro y material de trabajo de fundición



Fuente: *Society of Manufacturing Engineers. Fundamentals of tool design*

3.5 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VIDA DE LA HERRAMIENTA

3.5.1 Efecto de las condiciones de corte. Las variables, velocidad, avance y profundidad de corte son de importancia considerable porque controlan las tasas de remoción de metal y producción. En la ecuación reducida de Taylor...véase la ecuación 7...se muestra la relación que existe entre vida de herramienta y velocidad de corte, además los valores para k y C dependen del criterio de falla y los materiales de herramienta- pieza escogidos. La influencia sobre la duración de la herramienta en orden decreciente es, velocidad de corte, seguida del avance y la profundidad de corte.

3.5.2 Efecto de la geometría de la herramienta. Un aumento en el ángulo de inclinación generalmente conduce a un mejoramiento en las condiciones de corte, lo cual lleva a un aumento de la duración de la herramienta. Sin embargo, cuando el ángulo de ataque es grande, el filo es mecánicamente débil, lo que resulta en un desgaste mayor por unidad de tiempo y en duración menor de la herramienta. Así, para un conjunto fijo de condiciones de corte, existe un valor óptimo de ángulo de inclinación que aumenta la duración de la herramienta. La experiencia ha demostrado que el ángulo de inclinación óptimo es aproximadamente constante para unos materiales de trabajo y de la herramienta dados, en la tabla 6 se muestra los valores recomendados del ángulo de inclinación normal para operaciones de desbaste. Respecto al ángulo de incidencia, los experimentos de Taylor* recomiendan valores altos para éstos, debiendo escogerse el tamaño de la zona de desgaste...véase la tabla 5...

Tabla 6. Ángulo de ataque para operaciones de desbaste

Material de trabajo	HSS, grados	Metal Duro, grados
Hierro fundido, latón fundido	0	0.0
Latón y bronce	8	3.5
Latón blando y acero de alta resistencia	14	3.5
Acero dulce	27	3.5
Aleaciones ligeras	40	13.0

Fuente: BOOTHROYD, Geoffrey and KNIGHT, Winston. *Fundamentals of metal machining and machine tools*. 2 ed.

3.5.3 Efecto del material de la herramienta. Los requerimientos de las herramientas de corte son alta dureza y tenacidad, buena resistencia al desgaste y habilidad de mantener dichas propiedades a las temperaturas de

* Para más detalle véase TAYLOR, J. *The tool wear time relationship in metal cutting*. En *International research in production engineering*. New York : ASME, 1963. 130 p.

corte. La alta dureza usualmente está asociada con la buena resistencia al desgaste de la herramienta, pero también con baja tenacidad y pobre resistencia mecánica al impacto. La carencia de afinidad química entre herramienta- material de trabajo mejora la resistencia al desgaste. La resistencia al choque térmico se obtiene cuando el material de la herramienta posee conductividad térmica y calor específico altos, bajo coeficiente de expansión térmico y alta resistencia a la tensión.

Además el hecho de que la temperatura de corte varíe con la velocidad, avance y profundidad de corte, lleva a que los cambios en los requerimientos de la herramienta con la temperatura* arriba mencionados sean de importancia para la vida de la herramienta.

El efecto de la velocidad de corte sobre la vida de la herramienta se muestra en la ecuación de Taylor... véase la ecuación 7... por medio del exponente n para diferentes materiales de herramienta, entre menor sea el valor de n , mayor será el efecto de la velocidad sobre el desgaste de herramienta y la vida de herramienta. En la tabla 7 se indica la variación aproximada del exponente n para diferentes materiales de herramienta.

3.5.4 Efecto del material de trabajo. Al igual que el material de herramienta, el material de trabajo es una de las principales variables que influye en la vida de la herramienta; entre las variables generalmente consideradas están la composición, microestructura, dureza y endurecimiento

* Véase las relaciones de dureza en caliente para varios materiales de herramienta en ARMAREGO, E and BROWN, R. *The machining of metals*. p. 230

mecánico del material de trabajo. La dureza* es la más fácil de medir y relacionar con la vida de la herramienta, así a mayor dureza del material de trabajo, menor será la duración de la herramienta. También un estudio metalúrgico para mayor detalle de las proporciones de los constituyentes** y su respectiva dureza, ayuda a predecir dificultades del maquinado, y así rechazar o modificar un material de trabajo. Además tendencias de endurecimiento mecánico con frecuencia reduce la vida de la herramienta***.

Tabla 7. Valores del exponente n para diferentes materiales de herramientas

Material de herramienta	n
Acero de alta velocidad	0.8- 2
Carburos	0.2- 0.49
Cerámicas	0.5- 0.7

Fuente: ARMAREGO, E and BROWN, R. *The machining of metals*.

3.5.5 Efecto del fluido de corte. ...véase el numeral 1.3...

3.6 ALGUNOS CRITERIOS DE DURACIÓN DE HERRAMIENTA COMO CRITERIOS DE FALLA

3.6.1 **Tamaño de la banda de desgaste del flanco.** Su ventaja es la facilidad de medición usando equipos de estereomicroscopia. Además, el tamaño se relaciona a los parámetros de desempeño de los procesos de corte, como superficie de acabado y fuerzas de corte. Una desventaja práctica, es que la

* Para más detalle de la ecuación que relaciona la velocidad de corte para una vida de herramienta establecida y la dureza del material de trabajo véase ARMAREGO, E and BROWN, R. *The machining of metals*. p. 233.

** Véase ARMAREGO, E and BROWN, R. *The machining of metals*. p. 234- 236, para el efecto de los diferentes microconstituyentes en la duración de la herramienta.

*** Para más detalle referirse a ARMAREGO, E and BROWN, R. *The machining of metals*. p. 236.

banda no es siempre uniforme y por conveniencia se toma generalmente el máximo valor del ancho de ésta, sin embargo el valor medio de la banda puede también considerarse... véase el numeral 3.3.1 y el numeral 5.5...

3.6.2 Fragmentación. La fragmentación de partículas finas del borde cortante y las fisuras térmicas, frecuentemente encontrado en cortes interrumpidos, es importante en herramientas de materiales frágiles. La cantidad de estas fallas se evalúa hasta cierto punto por el ancho máximo de la zona de desgaste del flanco $VB_B máx.$; por lo tanto, el valor $VB_B máx.$ de 0.6 mm se indica como un criterio de vida de herramienta...véase el numeral 5.5...

3.6.3 Profundidad, ancho u otro parámetro del cráter en la cara. Hallazgos experimentales* han mostrado discrepancias en el parámetro de cráter a usarse como criterio de falla de herramienta. Desde el punto de vista técnico las mediciones de desgaste de cráter son más difíciles de realizar en comparación a las de desgaste del flanco, debido a la complejidad de los equipos a usar.

3.6.4 Destrucción total de la herramienta de corte (Falla catastrófica o falla completa). Es necesario llevar la herramienta hasta su vida última, lo cual hace que sea costoso y laborioso. El punto final de la herramienta puede tomarse cuando la herramienta ha perdido su filo de corte y forma o cuando la fractura de la herramienta ocurre. Sin embargo para evitar el daño a la herramienta o el trabajo es conveniente remover la herramienta del servicio antes de la etapa de falla total.

* Para mayor detalle de las relaciones encontradas en estos véase ARMAREGO, E and BROWN, R. *The machining of metals.* p. 212.

Este deterioro rápido del borde cortante después de un periodo de corte bajo la acción combinada de carga y temperatura creciente es un criterio confiable para herramientas de HSS...véase el numeral 5.5.2... También, debe ser usado en caso de ensayo de herramientas de carburo y cerámica bajo condiciones de corte severas de metal.

3.6.5 Falla prematura. Todos los modos de falla anormalmente rápidos y por tanto no confiables e imprevisibles, y deformaciones severas, que finalicen la vida de herramienta inmediatamente, se pueden causar por un punto duro en el material de trabajo o un accidente en la operación de la máquina herramienta. Una de las herramientas de una serie puede romperse, quebrarse defectuosamente, deformarse, o fallar imprevisiblemente. Este puede ser el caso cuando se maquina muy fuerte sobre materiales de trabajo heterogéneos usando herramientas de materiales frágiles (por ejemplo, herramientas cerámicas) y herramientas de formas delicadas. En estos casos, se recomienda usar más puntos experimentales para determinar las líneas de vida de herramienta.

3.6.6 Falla preliminar. Este fenómeno observado previamente a la falla catastrófica de herramientas de HSS, se evidencia por una apariencia brillante de la superficie maquinada y la superficie transitoria, usualmente durante unas pocas revoluciones de la pieza de trabajo. Esto puede ocurrir segundos antes de la falla catastrófica o en la mitad de la vida de herramienta. La falla preliminar no debe ser usada como un criterio de vida de herramienta y se debe continuar con el corte hasta que el criterio de vida escogido se alcance. El instante de falla preliminar debe registrarse.

3.6.7 Desgaste de flanco secundario. En torneado, la superficie maquinada se forma principalmente por la punta de la herramienta y el borde cortante secundario, lo cual significa que cualquier cambio de la punta de la herramienta, resultado del desgaste tiene un efecto sobre la superficie de acabado; como una evaluación directa de este tipo de desgaste se dificulta, su medición se realiza de forma indirecta a través de la rugosidad de la superficie maquinada. Los valores recomendados para torneado de acabado se describen más adelante...véase el numeral 5.5.5...

La oxidación en el flanco secundario frecuentemente conduce a la destrucción de la herramienta en torneado con herramientas de carburo a altas temperaturas, estas últimas causadas por avances altos y velocidades de corte altas. En tales casos, la herramienta se debe volver inservible por la oxidación del flanco secundario, antes que el criterio $VB_B=0.3$ mm o el valor recomendado de KT se alcance. Entonces, el deterioro inesperado de la superficie maquinada causado por la destrucción del flanco secundario tiene que usarse como criterio de vida de herramienta.

3.6.8 Deformación de la punta de la herramienta. Esta puede conducir a la destrucción de las herramientas de acero de alta velocidad y carburo cuando las condiciones de corte son severas. La deformación de la punta de la herramienta no debe ser usada como un criterio de vida de herramienta; sin embargo, en muchos casos la deformación lleva a que ocurra más rápido la falla catastrófica de herramientas de acero de alta velocidad y hace las consecuencias de la oxidación más severas en las herramientas de carburo. Esto puede pasar porque las condiciones de corte son tan pesadas que la deformación empieza inmediatamente después de que la herramienta inicia a cortar. En estos casos, la vida de herramienta es usualmente muy corta.

3.6.9 Volumen o peso de material desgastado de la herramienta. Es usado cuando se aplican métodos de traza radiactivos para estudiar el desgaste de la herramienta. Trabajos* realizados recomiendan realizar los ensayos radiactivos en conjunto con ensayos normalizados de desgaste, ya que la precisión de los primeros es dudosa. Así mediciones del volumen desgastado debe relacionarse con el desgaste del flanco y geometría de cráter. Además, variaciones casuales en el patrón de desgaste no pueden detectarse por este método; y su costo inicial y precauciones de seguridad para realizar los ensayos, restringen su uso a experimentos de laboratorio.

3.6.10 Valor límite de acabado superficial de la pieza producida. Costoso y laborioso. Este criterio requiere de analizadores de superficie complejos y portátiles, además de numerosas observaciones. Generalmente se relaciona con la banda de desgaste del flanco, que es fácil de medir.

3.6.11 Valor límite de cambio del tamaño de la pieza de trabajo. Costoso y laborioso. Puede ser una propuesta práctica, aunque las dificultades aumentan con dimensiones incómodas de medir en producción. Se relaciona con la banda de desgaste del flanco.

3.6.12 Incremento en las fuerzas de corte o potencia requerida para ejecutar un corte. Como las fuerzas se incrementan en una herramienta desgastada, el incremento en éstas se toma como criterio de falla. Se usa cuando el desgaste de banda de desgaste del flanco es el predominante. Se necesita de un dinamómetro.

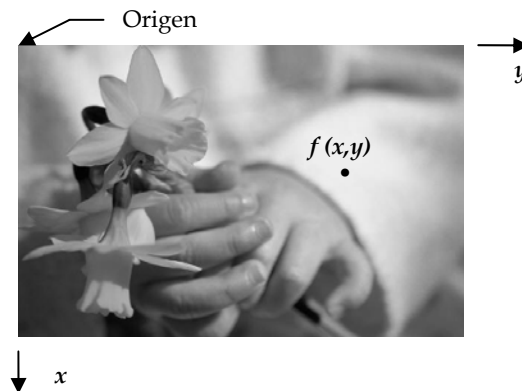
* De acuerdo a: Wilson and McHenry en *Study of the radiometric method and use of the liquid scintillation technique for tool wear determination*; y Cook and Lang en *Criticism of radioactive tool-life testing*.

4. METROLOGÍA ÓPTICA

4.1 REPRESENTACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES

El término imagen se refiere a una función bidimensional de intensidad de luz $f(x,y)$, donde x e y representan las coordenadas espaciales y el valor de f en un punto cualquiera (x,y) es proporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en ese punto. La asignación de ejes comúnmente utilizada se ilustra en la figura 15.

Figura 15. Convenio de ejes utilizado para la representación digital de imágenes



Fuente: Los autores

Una imagen digital es una imagen $f(x,y)$ que se ha discretizado tanto en las coordenadas espaciales como en el brillo. Una imagen digital puede considerarse como una matriz cuyos índices de fila y columna identifican un punto de la imagen y el valor del correspondiente elemento de la matriz indica el nivel de gris en ese punto. Los elementos de una distribución digital de este tipo se denominan elementos de la imagen, o comúnmente *pixels**.

* O pels, abreviatura de la denominación inglesa "picture elements".

4.2 ETAPAS FUNDAMENTALES DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

El tratamiento digital de imágenes comprende un amplio rango de hardware, software y recursos teóricos. Las siguientes son las etapas fundamentales que es preciso realizar para el procesamiento de una imagen.

4.2.1 Adquisición de la imagen. Para la adquisición digital de imágenes se necesitan dos elementos. El primero es un dispositivo físico sensible a una determinada banda del espectro de energía electromagnética (como las bandas de rayos X, ultravioleta, visible e infrarrojo) y que produzca una señal eléctrica de salida proporcional al nivel de energía detectado. El segundo, denominado digitalizador, es un dispositivo para convertir la señal de salida del sistema sensible a forma digital.

Entre los sensores relacionados con la luz visible e infrarroja se encuentran los microdensitómetros, diseccionadores de imágenes, cámaras vidicon y matrices de detectores fotosensibles de estado sólido¹. Éstas últimas están compuestas por elementos discretos de silicio, denominados fotodetectores, que tienen un voltaje de salida proporcional a la intensidad de la radiación incidente. Las matrices de estado sólido están organizadas siguiendo una de las dos organizaciones geométricas principales: los sensores de barrido de línea y los sensores de área.

La tecnología utilizada en los sensores de estado sólido se basa principalmente en los dispositivos de carga acoplada (o CCD, de su nombre en inglés *charge coupled devices*).

¹ En el presente trabajo de grado se emplea un sensor de matriz de detectores fotosensibles de estado sólido para realizar la adquisición de las imágenes digitales

3.1.1 Preprocesamiento. Una vez se ha obtenido la imagen digital, la siguiente etapa trata del preprocesamiento de esa imagen. La función básica de ésta etapa es la de mejorar la imagen de forma que se aumenten las posibilidades de éxito en los procesos posteriores. El preprocesamiento trata típicamente las técnicas de mejorar el contraste, eliminar el ruido, entre otras.

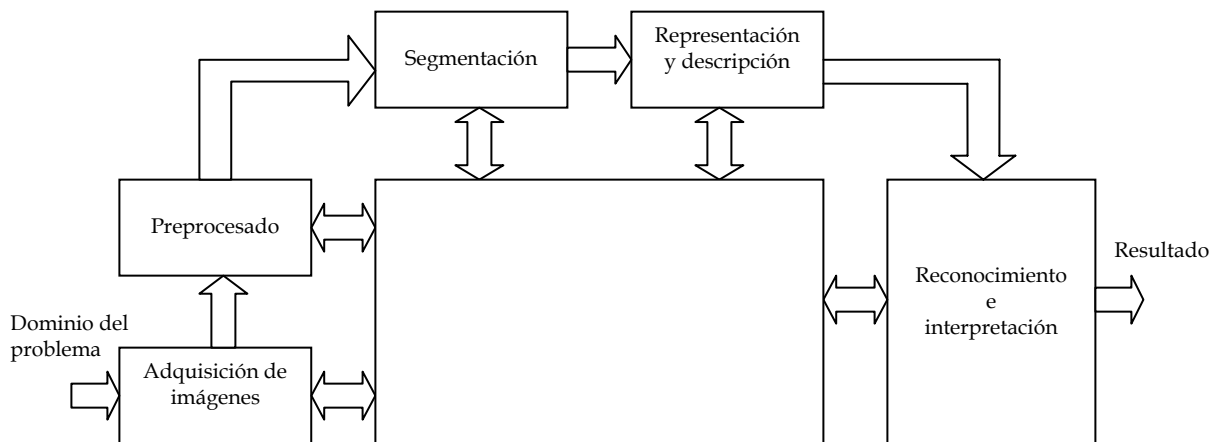
3.1.2 Segmentación. Definida de una forma general, la segmentación consiste en partir una imagen de entrada en sus partes constituyentes u objetos. La segmentación autónoma es una de las labores más difíciles del tratamiento digital de imágenes. Por una parte, un procedimiento de segmentación demasiado tosco dilata la solución satisfactoria de un problema de tratamiento digital de imágenes. Por otra, un algoritmo de segmentación débil o errática casi siempre garantiza que tarde o temprano habrá un fallo.

3.1.3 Representación y descripción. A la salida del proceso de segmentación habitualmente se tienen los datos del *pixel* en bruto, que constituyen bien el contorno de una región o bien todos los puntos de una región determinada. En cada caso es necesario convertir los datos a una forma adecuada para el procesamiento por computadora. La representación como un contorno es la adecuada cuando el interés radica en las características de la forma exterior, como esquinas e inflexiones. La representación regional es adecuada cuando el interés se centra en propiedades internas, como la textura o la estructuración. Sin embargo, en algunas aplicaciones ambas representaciones coexisten.

La descripción, también denominada selección de rasgos, consiste en extraer rasgos con alguna información cuantitativa de interés o que sean fundamentales para diferenciar una clase de objetos de otra.

3.1.4 **Reconocimiento e interpretación.** El reconocimiento es el proceso que asigna una etiqueta a un objeto basándose en la información proporcionada por sus descriptores. La interpretación implica asignar significado a un conjunto de objetos reconocidos.

Figura 16. Etapas fundamentales del procesamiento digital de imágenes



Fuente: GONZÁLEZ, Rafael y WOODS, Richard. Tratamiento digital de imágenes.

3.1.5 **Base de conocimiento.** El conocimiento sobre un dominio del problema está codificado en un sistema de procesamiento de imágenes como una base de datos de conocimiento. Este conocimiento puede ser tan simple como detallar las regiones de una imagen donde se sabe que se ubica información de interés, limitando así la búsqueda que ha de realizarse para hallar tal información. La base de conocimiento también puede ser muy compleja, como una lista interrelacionada de todos los posibles defectos en un problema de inspección de materiales.

Además de guiar la operación de cada módulo de procesamiento, la base de conocimiento controla también la interacción entre módulos como se muestra en la figura 16. Esta representación indica que la comunicación entre módulos de procesamiento se basa generalmente en el conocimiento previo de cómo debe ser el resultado.

Es importante resaltar que la visión de los resultados del procesamiento de imágenes puede realizarse a la salida de cada una de las etapas de la figura 16. Además, no todas las aplicaciones del procesamiento de imágenes necesitan la complejidad de interacciones mostradas, de hecho, en algunos casos ni siquiera son necesarios todos los módulos. Por ejemplo, el realce de imágenes para interpretaciones visuales humanas rara vez va más allá de la etapa de preprocesamiento.

3.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE DESGASTE EN INSERTOS

Los elementos implementados para realizar las operaciones de tratamiento digital de las imágenes, que se acaban de presentar en la sección 4.2, y que permiten determinar el ancho medio del desgaste de flanco en insertos intercambiables de corte se muestran en la figura 17. Este tipo de sistema lleva a cabo: adquisición, almacenamiento, procesamiento, y presentación de imágenes

3.2.1 Elementos de adquisición de la imagen. El dispositivo empleado para adquirir las imágenes, véase la figura 17 (b), es una cámara monocromática con sensor de elementos de estado sólido, marca COHU, referencia 4815, con resolución de 640 x 480 elementos... véase el anexo D...la cual toma imágenes en formato de video estándar monocromático, RS 170.

La cámara se montó sobre un estéreomicroscopio marca Leitz Wetzlar, se empleó uno de los oculares del estéreomicroscopio, el cual se acondicionó de tal forma que el sensor de la cámara se ubicó horizontal y paralelo a la superficie donde se mide el desgaste, como se observa en la figura 17 (a).

Se acondicionó el sistema de iluminación con una lámpara incandescente y fibra óptica, y una lámpara halógena. También se realizó el montaje del sistema de sujeción y desplazamiento con dos dispositivos de control de desplazamiento micrométrico y una lámina de aluminio para el montaje del inserto.

El elemento digitalizador del sistema de adquisición es una tarjeta marca Matrox meteor ...las especificaciones técnicas se encuentran en el anexo E... y el software empleado para adquirir las imágenes es Matrox intellicam ...véase el anexo F...

Las imágenes se guardan con un nombre que indica la velocidad de corte y el tiempo de mecanizado y con una extensión '.tif'. v.g. '250_0min.tif'...las imágenes adquiridas se muestran en el anexo G...

El sistema óptico permite una amplificación de 15 x. El campo de visión de la imagen es de 1,66 mm x 1,22 mm para el cual se calculó un tamaño medio de *pixel* de 2,57 μm .

3.2.2 Almacenamiento. El almacenamiento digital para aplicaciones de procesamiento de imágenes depende de dos factores: el tamaño de la información almacenada y el tiempo de almacenamiento.

El tamaño de una imagen digital se puede determinar a partir del número de elementos, $N \times M$, de la matriz imagen y del número de niveles de gris, G , permitido para cada *pixel*. En general estas cantidades son potencias enteras de dos, es decir:

$$N = 2^n \quad , \quad M = 2^p \quad , \quad G = 2^m$$

De las anteriores relaciones se calcula el número, b , de bits necesarios para almacenar una imagen digitalizada, aunque el tamaño se mide en *bytes* (8 *bits*), kB (1000 *bytes*), etc:

$$b = N \times M \times m$$

Entonces para las imágenes de desgaste de flanco, de 640×480 elementos y de 256 niveles de gris el tamaño, de acuerdo a la ecuación 8, es:

$$b = 640 \times 480 \times 8 = 2457600 \text{ bits} = 307,2 \text{ kB}$$

Según el tiempo de almacenamiento se pueden considerar tres categorías básicas: almacenamiento a corto plazo, para ser empleado durante el procesamiento; almacenamiento en línea, para una reutilización relativamente rápida, y almacenamiento en archivo, caracterizado por un acceso poco frecuente.

Se empleo almacenamiento magneto-óptico a través de disco compacto rescribible (CD RW) de 700 MB con capacidad para almacenar alrededor de 2000 imágenes de desgaste, para después utilizarlas en la etapa de procesamiento.

3.2.3 Procesamiento. El tratamiento digital de imágenes implica procedimientos que normalmente se expresan en forma de algoritmos. Así, con la excepción de la adquisición de las imágenes y su representación, la mayor parte de las funciones de tratamiento de imágenes pueden ser implementadas en software.

El procesamiento se implementó en la versión 7.0 de Matlab y se realizó en dos etapas, primero se utilizó un umbral de binarización para determinar el filo de corte sin desgaste de la herramienta, para la segunda etapa se empleó el *toolbox "image processing"*, donde se realizó la segmentación de las imágenes para determinar el perfil de desgaste del flanco a partir de la detección del borde y las herramientas de morfología básica.

❏ Detección del filo de corte. Para definir el filo a partir del cual se debe medir el desgaste de la herramienta ...véase el numeral 5.5.7... se emplearon los siguientes pasos, ilustrados en la figura 18, tomando como ejemplo el filo utilizado en el mecanizado a 250 m/min.

- *Paso 1. Leer la imagen.* Se lee '250_0min.tif' que es una imagen del filo de corte sin desgaste. Se emplea la función *imread* y el resultado se muestra en la figura 18 (a).

```
Ifilo = imread('250_0min.tif');  
figure(1), imshow(Ifilo), title('imagen original del filo');
```

- *Paso 2. Descubrir el filo.* Se utiliza un valor de umbral de binarización especificado por el usuario. La imagen del filo binarizada se muestra en la figura 18(b).

```

valor = 100;
BWbin = Ifilo > valor;
figure(2), imshow(BWbin), title('imagen de filo binarizada');

```

- *Paso 3. Verificación del perfil del filo.* Para esto se superpone el contorno del perfil sobre la imagen original, como se ilustra en la figura 18 (c). Si la superposición no corresponde se cambia el valor del umbral hasta obtener la mejor aproximación.

```

BWfilo = bwperim(BWbin);
Superponer = Ifilo;
Superponer(BWfilo) = 255;
figure(3), imshow(Superponer), title('imagen con perfil del filo');

```

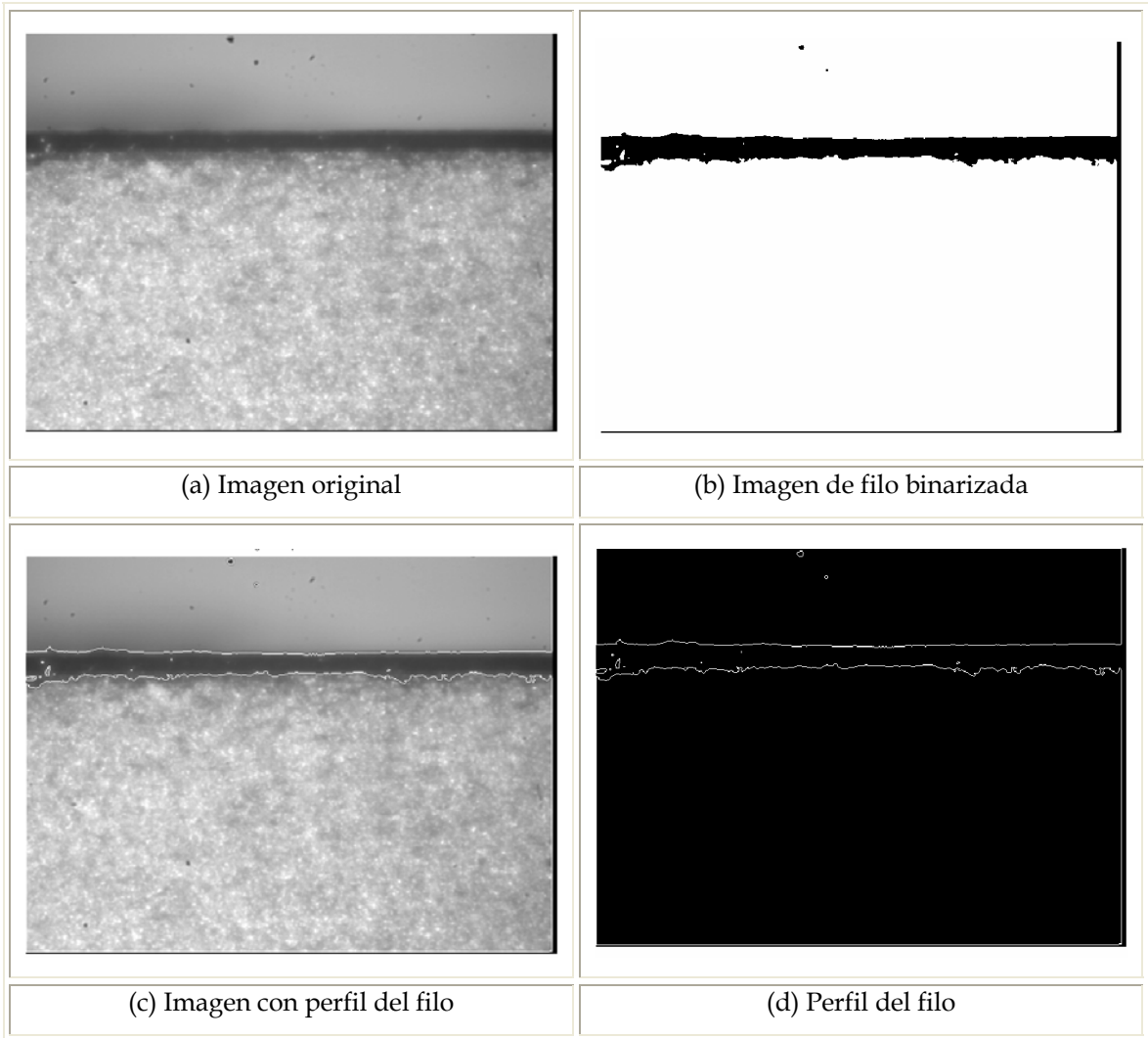
- *Paso 4. Determinar la altura del filo.* Se trabaja con el perfil del filo para calcular el vector de alturas, la suma de los elementos y el valor promedio. La imagen del perfil del filo se muestra en la figura 18(d).

```

figure(4), imshow(BWfilo), title('perfil del filo');
Mfilo = BWfilo(1:480, 221:630);
figure(5), imshow(Mfilo), title('perfil del filo en la zona B');
for i=1:410;
    [m,n] = find(Mfilo(40:480,i), 1, 'first');
    U(i) = [m];
end;
Ufilo = U+39;
SU = sum(Ufilo);
Filo = (SU)/410;

```

Figura 18. Imágenes del procesamiento del filo.



Fuente: Los autores

❏ **Detección del desgaste.** Los pasos para determinar el perfil del desgaste que se indican a continuación y que se ilustran en la figura 19, utilizan como ejemplo la imagen de desgaste tomada a una velocidad de corte de 250 m/min para un tiempo de mecanizado de 16 minutos.

- *Paso 1. Leer la imagen.* Se lee '250_16min.tif' que es una imagen de desgaste del filo de corte en la zona B ...véase la figura 27 en el capítulo 5... El resultado de la ejecución se ilustra en la figura 19 (a).

```
I = imread('250_16min.tif');
figure(6), imshow(I), title('imagen original');
```

- *Paso 2. Descubrir el desgaste.* El objeto a ser segmentado difiere en el contraste del fondo de la imagen. Los cambios en el contraste pueden ser descubiertos por operadores que calculan el gradiente de una imagen. Una manera de calcular el gradiente es el operador de *Sobel* que crea una máscara binaria que usa un valor umbral especificado por el usuario, se determina este valor, entre .0 y.1, utilizando la función *graythresh*. Para crear la máscara de gradiente binario, se usa la función *edge*. véase figura 19 (b).

```
BWs = edge(I, 'sobel', (graythresh(I) * .017));
figure(7), imshow(BWs), title('mascara de gradiente binaria');
```

- *Paso 3. Llenar vacíos.* La máscara de gradiente binaria muestra líneas de contraste alto en la imagen. Estas líneas no delimitan realmente el contorno del objeto de interés. Comparado la imagen original, se pueden ver los huecos en las líneas que rodean el objeto en la máscara de gradiente. Estos vacíos lineales desaparecerán si la imagen de *Sobel* se dilata, como se muestra en la figura 19 (c), usando elementos de estructuración lineal, que se crean con la función *strel*.

```
se90 = strel('line', 3, 90);
se0 = strel('line', 3, 0);
```

- *Paso 4. Dilatar la imagen.* La máscara de gradiente binaria se dilata usando el elemento de estructuración vertical seguido por el elemento de estructuración horizontal. La función *imdilate* dilata la imagen. véase la figura 19 (c).

```
BWsdil = imdilate(BWGs, [se90 se0]);
figure(8), imshow(BWsdil), title('mascara de gradiente dilatada');
```

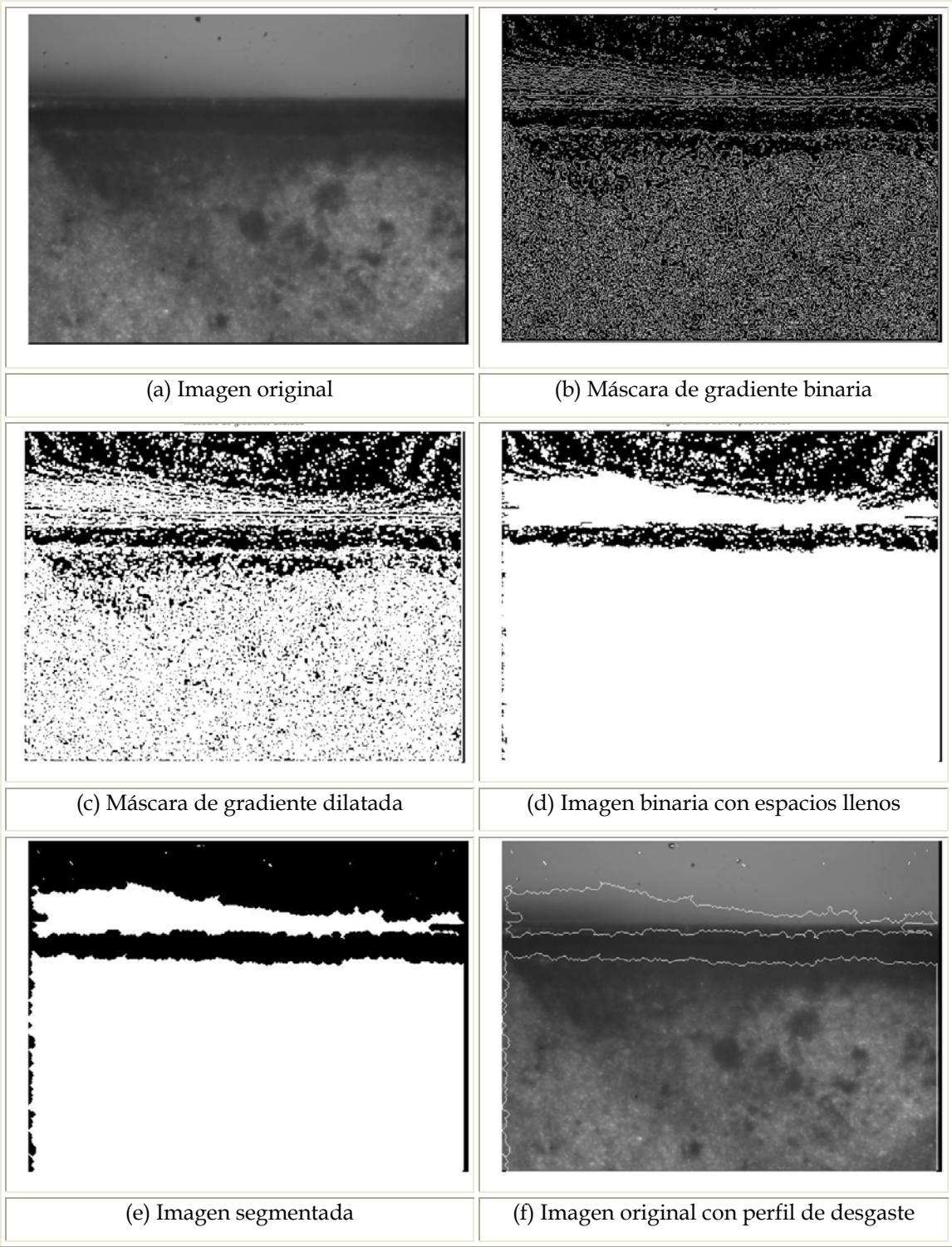
- *Paso 5. Llenar los vacíos interiores.* La máscara de gradiente dilatada muestra el contorno del desgaste bastante bien, pero todavía hay agujeros en su interior. Para llenar estos agujeros se utiliza la función *imfill*. Esta imagen se muestra en la figura 19 (d).

```
BWdfill = imfill(BWsdil, 'holes');
figure(9), imshow(BWdfill);title('imagen binaria con espacios llenos');
```

- *Paso 6. Suavizar el objeto.* Se suaviza el objeto erosionando la imagen anterior dos veces con un elemento estructurador de diamante. El elemento estructurador de diamante se crea usando la función *strel*. La imagen segmentada se muestra en la figura 19 (e).

```
seD = strel('diamond',2);
BWfinal = imerode(BWdfill,seD);
BWfinal = imerode(BWfinal,seD);
figure(10), imshow(BWfinal), title('imagen segmentada');
```

Figura 19. Imágenes del proceso de segmentación del desgaste.



Fuente: Los autores

- *Paso 7. Verificación del perfil de desgaste.* Un método alternativo para desplegar el objeto segmentado sería poner un contorno alrededor de imagen original de desgaste. El contorno se crea con la función *bwperim*. El resultado se ilustra en la figura 19 (f).

```

BWoutline = bwperim(BWfinal);
Segout = I;
Segout(BWoutline) = 255;
figure(11), imshow(Segout), title('imagen original con perfil de desgaste');

```

- *Paso 8. Determinar la altura del desgaste.* Se trabaja con el perfil del desgaste para calcular el vector de alturas, la suma de los elementos y el valor promedio.

```

figure(12), imshow(BWdesgaste), title('perfil de desgaste');
Mdesgaste = BWdesgaste(1:480,221:630);
figure(13), imshow(Mdesgaste), title('perfil de desgaste en la zona B');
for j=1:410;
    [x,y] = find(Mdesgaste(470:-1:1,j), 1, 'first');
    V(j) = [x];
end;
Vdesgaste = V+9;
SV = sum(Vdesgaste);
Desgaste = (SV)/410;

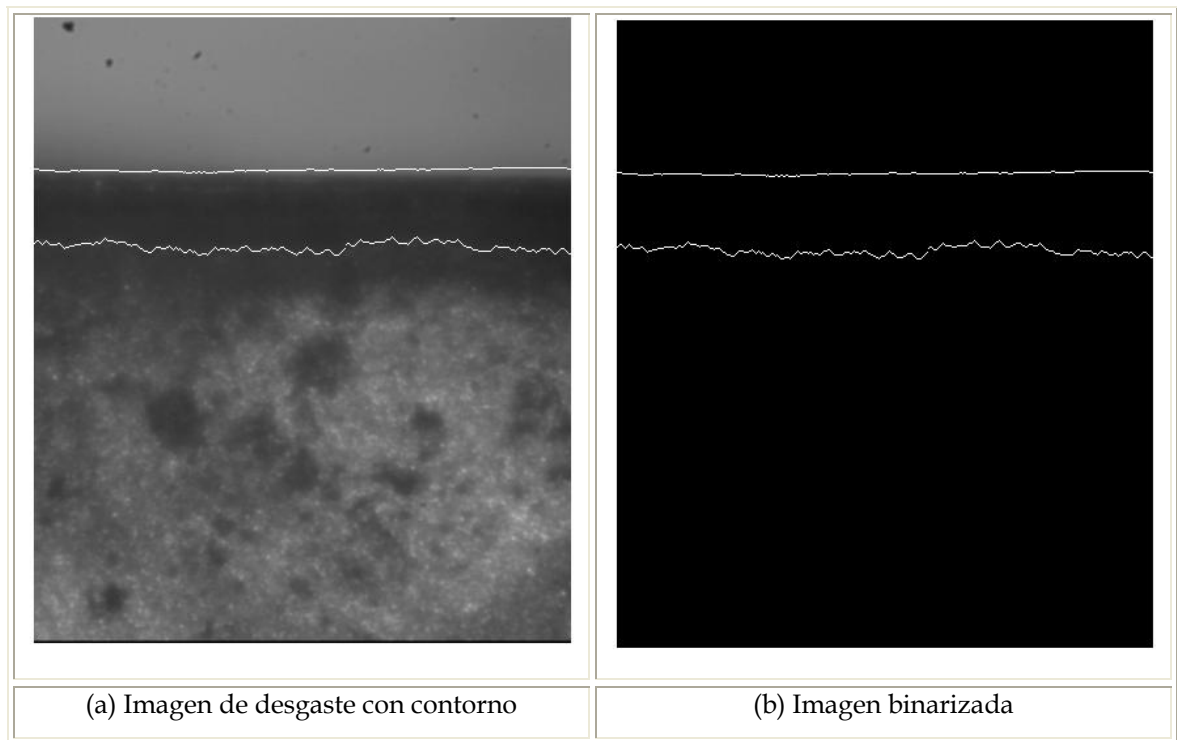
```

Como resultado del procesamiento se obtiene el valor del ancho medio de desgaste del flanco, VB_B en μm , multiplicando el valor del número de *pixels* por el factor $2,57 \mu m / pixel$. La imagen con el perfil de desgaste para la

velocidad de 250 m/min a un tiempo de mecanizado de 16 min se muestra en la figura 20 (a) y esta imagen binarizada se muestra en la figura 20 (b). El resultado de aplicar la instrucción para este ejemplo es de 149 μm .

$$VBB = (480 - \text{Filo} - \text{Desgaste}) * 2.57;$$

Figura 20. Imágenes finales del procesamiento



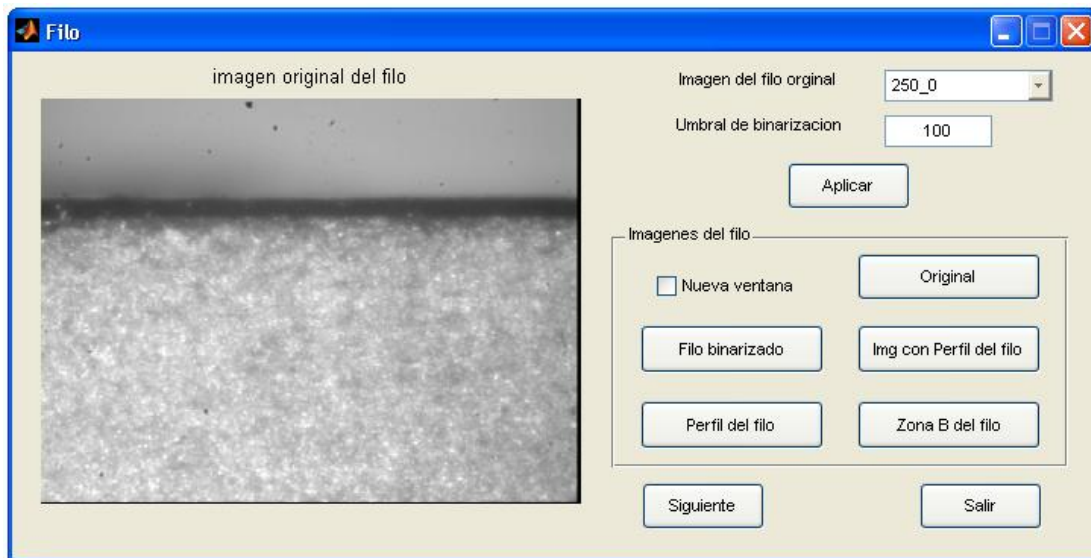
Fuente: Los autores

3.2.4 Presentación de imágenes. Para la presentación de las imágenes y los resultados del procesamiento, se diseñó una interfase gráfica en Matlab 7.0.

En la figura 21 se muestra la interfase de la etapa de detección del filo de corte. En esta interfase se puede seleccionar el filo utilizado en cada una de las tres velocidades de corte, se digita el umbral de binarización y se pulsa el

botón 'Aplicar' para iniciar el procesamiento. Además al pulsar uno de los botones del recuadro 'Imágenes del filo' se pueden observar las imágenes de esta etapa del procesamiento ...véase la figura 18... Si se selecciona la opción de 'Nueva ventana' se visualiza la imagen en otra ventana. Para avanzar a la siguiente etapa se pulsa el botón 'Siguiete'.

Figura 21. Interfase para la detección del filo de corte

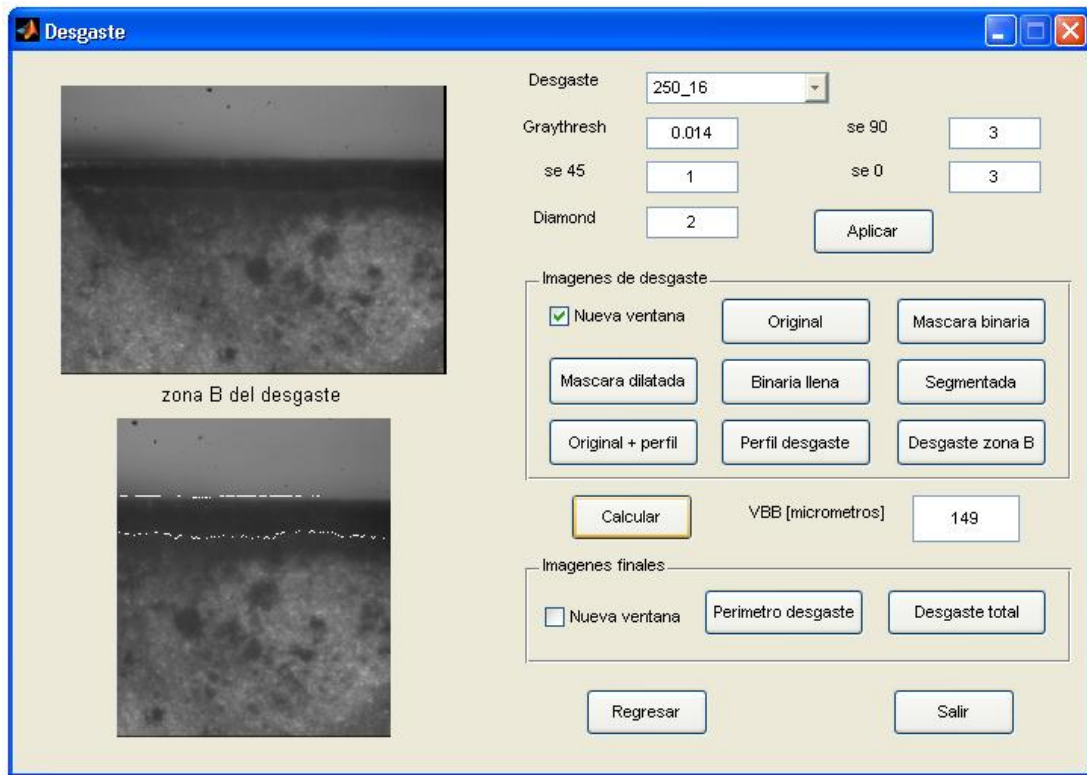


Fuente: Los autores

En la figura 22 se muestra la interfase de la etapa de detección del desgaste del filo de corte. En esta interfase se selecciona el desgaste, para un tiempo de mecanizado, presentado en el filo para la velocidad de corte seleccionada previamente. Se digitan el valor de umbral de binarización 'Graythresh' y los valores de los elementos estructurales 'se90', 'se45', 'se0' y 'Diamond'. Se pulsa el botón 'Aplicar' para iniciar el procesamiento. Nuevamente se pueden ver las imágenes de esta etapa...véase la figura 19... si se pulsa algún botón del recuadro 'Imágenes de desgaste'.

Para obtener el valor del ancho medio de la bande de desgaste del flanco se pulsa el botón 'Calcular'. Se pueden visualizar las imágenes de la figura 20 si se pulsa uno de los botones del recuadro 'Imágenes finales'. Se puede acceder a la interfase anterior si se pulsa 'Regresar'. Para abandonar la aplicación pulse 'Salir'.

Figura 22. Interfase para la detección del desgaste



Fuente los autores

Después de introducir los datos al programa para cada una de las imágenes de desgaste ...véase el anexo Q... se obtienen los resultados del procesamiento digital para calcular el desgaste medio del flanco para el inserto CNMG 120408 PM 4025 ...véase el numeral 6.5.2...

5. DISEÑO EXPERIMENTAL

En este capítulo se proporcionan condiciones y procedimientos normalizados para conducir ensayos de vida de herramienta en herramientas de punta sencilla de corte en torneado para permitir que resultados de diferentes fuentes puedan compararse; y los resultados de los ensayos se conserven y su dispersión sea mínima.

Los objetivos de estos ensayos deben ser determinar las propiedades de maquinado de los materiales de trabajo; comparar las herramientas (material, geometría); comparar los fluidos de corte; y determinar los parámetros de corte recomendados.

5.1 PIEZA DE TRABAJO

5.1.1 Identificación y clasificación del material de trabajo. En todas las pruebas de corte en que el material de trabajo no es la variable de prueba o no es un parámetro importante, la investigación debe ser conducida apropiando uno de los materiales de referencia indicados en normas internacionales*, para propósitos comparativos. Además de identificar el tipo de material de prueba, el cual se debe clasificar también bajo norma internacional**.

5.1.2 Proceso de obtención. El material de la pieza de trabajo debe provenir de una misma colada.

* Como la ANSI/ASME B94.55M-1985, *Tool life testing with single -point turning tools*.

** Para clasificación de fundiciones véase ISO 185:1988, *Gray cast iron - Classification*.

5.1.3 Composición química. Los porcentajes de todos los elementos químicos del material de trabajo se deben determinar. Las variaciones admitidas son las previstas por las normas específicas para cada tipo de material en estudio.

5.1.4 Tratamientos térmicos. Es necesario determinar el tratamiento térmico por el cual pasó el material antes de someterse al mecanizado, a la vez que debe registrarse.

5.1.5 Determinación de la dureza. La dureza del material de trabajo debe ser determinada sobre la sección transversal completa de un extremo de la barra de prueba de acuerdo a normas internacionales referentes a la realización de ensayos de dureza, ASTM E 10-84 (1989), *Standard test methods for Brinell hardness of metallic materials*, ASTM E 18-89a, *Standard test methods for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials*; y ASTM E 92-82 (1987), *Standard test method for Vickers hardness of metallic materials*. Se debe registrar los valores de dureza obtenidos en los formatos.

5.1.6 Determinación de la resistencia a la tensión y elongación. La probeta para el ensayo de resistencia a la tensión y elongación se debe retirar de la barra de material de trabajo a usar, dicha prueba debe realizarse bajo la norma ASTM E 8M-90a, *Test methods for tension testing of metallic materials [metric]*.

5.1.7 Microestructura. La microestructura del material de trabajo se debe examinar sobre toda la sección transversal de la barra. La disposición del espécimen para las pruebas de metalografía se debe realizar bajo la norma ASTM A 370-90a (1986), *Standard methods of preparation of metallographic*

specimens. En lo posible las microfotografías deben ser incluidas en el informe, con amplificación en el rango de 100x a 500x para que se pueda examinar y determinar los porcentajes de los componentes microestructurales.

El fabricante del material de trabajo puede también suministrar la información concerniente a calidad, composición química, propiedades físicas, microestructura, y detalles completos de la ruta del proceso del material de trabajo (por ejemplo, laminado en caliente, forjado, fundido, o estirado en frío) y cualquier tratamiento térmico.

5.1.8 Dimensiones de la pieza de trabajo. La relación longitud/diámetro de la pieza de trabajo debe ser tal que no ocurran vibraciones durante el mecanizado. Esta relación no debe ser superior a 10 ($L/D \leq 10$), con un diámetro inicial igual o superior a 100 mm. Se recomienda que la longitud sea superior a 300 mm, evitándose así excesivas interrupciones en el ensayo y largos tiempos de preparación.

La forma de la pieza de trabajo puede ser escogida entre barra y tubo, esta última forma es más apropiada para mecanizar hierro fundido, pues proporciona, normalmente mejor homogeneidad en la microestructura a lo largo de la sección transversal. Para el mecanizado de acero se recomienda la utilización de la forma de barra.

5.1.9 Pre-mecanizado de la pieza de trabajo. Todas las asperezas de fábrica o la cascarilla de la fundición se deben quitar con cortes de limpieza antes del ensayo, excepto cuando el efecto de la aspereza está probándose.

Cualquier superficie anormal ya sea endurecida o de otro tipo en la pieza de trabajo que pueda entrar en contacto con la herramienta de prueba, debe ser retirada antes del ensayo con una herramienta de limpieza afilada, para reducir tanto como sea posible las deformaciones residuales bajo la superficie debidas a la prueba anterior. Sin embargo, esto no incluye mecanizado de la superficie normalmente endurecida en la barra de prueba producida por las pasadas anteriores de la herramienta.

5.1.10 Fijación de la pieza de trabajo en la máquina herramienta. La fijación de la pieza de trabajo en la máquina debe garantizar estabilidad y rigidez, para mantener seguridad y precisión en los ensayos. Para lo anterior, se usa plato de sujeción y contrapunto, el primero debe estar con las mordazas debidamente centradas.

Las mordazas y el husillo deben ser estables y bien balanceados, para un método de evaluación de balance se recomienda ISO 1940-1:1986, *Mechanical vibration –Balance quality requirements of rigid rotors –Part 1: Determination of permissible residual unbalance*. Al fijar la pieza de trabajo entre las mordazas o plato de sujeción y un centro, se debe tener cuidado para prevenir cualquier carga de flexión en la pieza de trabajo.

5.1.11 Número de piezas de trabajo necesarias. El número de piezas de trabajo necesarios para la realización de los ensayos debe estimarse a partir de datos de desgaste concebidos en un pre-ensayo de mecanizado o fuentes de literatura*. Se recomienda identificar todas las piezas de trabajo para mejor control del ensayo.

* Se recomienda referirse a GROOVER, M. Fundamentos de manufactura moderna, tabla 24.2.

5.2 HERRAMIENTA DE CORTE

5.2.1 Material de la herramienta. Se debe seleccionar un material de herramienta cuya clase represente el campo de aplicación más indicado al material de la pieza de trabajo.

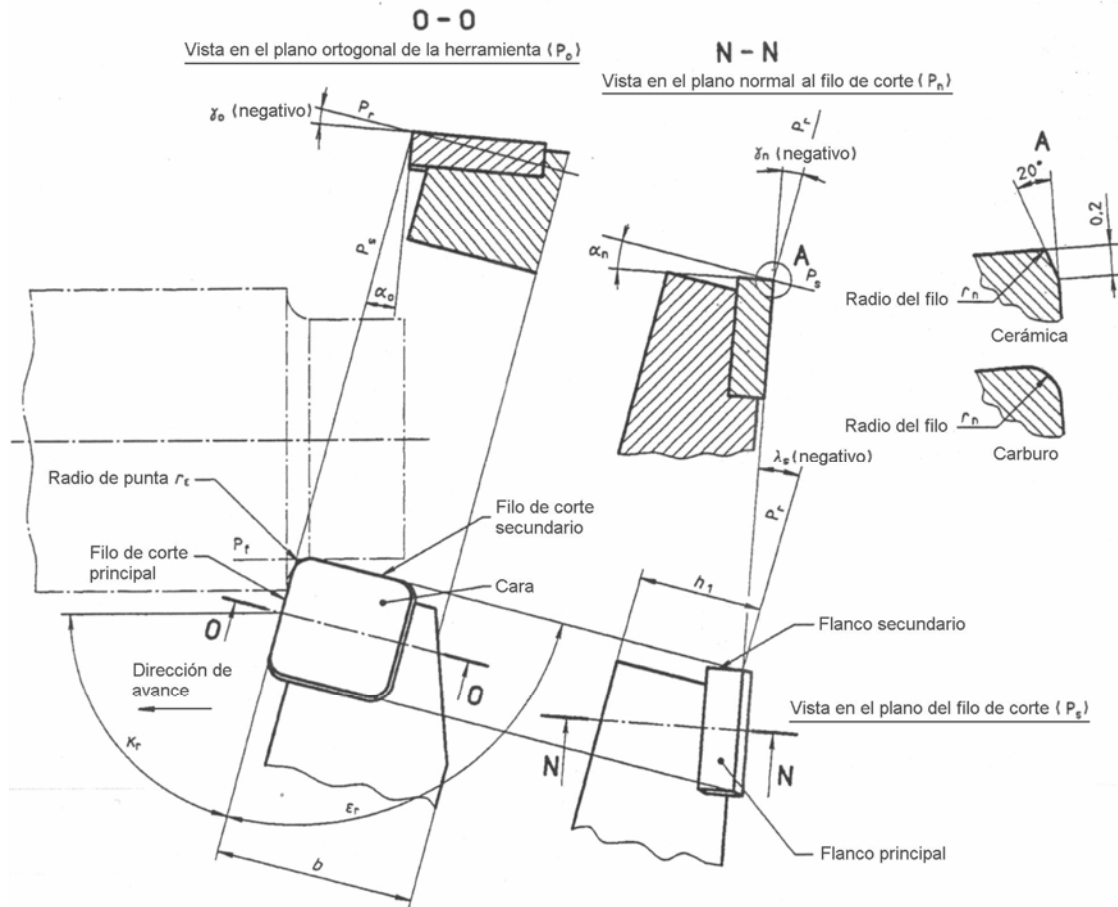
En todos los ensayos de corte en que el material de la herramienta no es la variable de prueba o no es un parámetro importante, la investigación debe conducirse con uno de los materiales de herramienta de referencia indicados en las normas internacionales*, para propósitos comparativos. Se debe registrar en el formato el material de la herramienta, y si se usan insertos revestidos también las características del revestimiento y el sustrato.

5.2.2 Geometría de la herramienta. La geometría de la herramienta de corte se define de acuerdo con ANSI B94.50-1975, *Basic nomenclature and definitions for single-point cutting tools*, o ISO 3002-1:1982, *Basic quantities in cutting and grinding – Part 1: Geometry of the active part of cutting tools – General terms, reference system, tool and working angles, chip breakers*. La figura 23 ilustra estos ángulos, los cuales son necesarios para definir la orientación de los filos de corte, cara, y flanco de herramientas de punta sencilla o monofilas.

Todo ensayo de corte en que la geometría de la herramienta no es la variable de prueba se recomienda conducirlo usando una de las geometrías de herramienta de referencia, como la dada en la tabla 8.

* Como la ISO 3685:1993, *Tool-life testing with single-point turning tools* o la ANSI/ASME B94.55M-1985, *Tool life testing with single-point turning tools*.

Figura 23. Ángulos de la herramienta



Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

Tabla 8. Ángulos normalizados de herramienta, en grados

Material de la herramienta de corte	Ángulo de ataque γ	Ángulo de incidencia α	Inclinación del filo de corte λ_s	Ángulo de posición del filo K_r	Ángulo de punta ϵ_r
Acero de alta velocidad	25	8	0	75	90
Carburo cementado	+6	5	0	75	90
	-6	6	-6	75	90
Cerámica	-6	6	-6	75	90

Fuente: *The American Society of Mechanical Engineers. Tool life testing with single-point turning tools.*

En el caso de herramientas de carburo cementado y cerámica, éstas deben ser de tipo inserto sujetado. Las herramientas de inserto soldado o adherido no deben usarse como herramientas de referencia.

Las aleaciones difíciles de mecanizar, como las de base de níquel y los materiales refractarios, puede requerir una variación de la geometría normalizada de la herramienta. En tal caso o donde la geometría de la herramienta es la variable de prueba, se debe registrar:

- Los valores de los ángulos de la herramienta y los ángulos de trabajo correspondientes.
- La condición del filo de corte: normalmente afilado, redondeado a un radio específico, o biselado (los anchos y ángulos de cualquier región en la cara o flanco).

5.2.3 Tipo y tamaño de herramienta. Se debe usar una herramienta libre de asperezas.

Los insertos de carburo cementado deben ser cuadrados de 12,7 mm y con un espesor de 4,76 mm para el ángulo de ataque negativo y 3,18 mm para el ángulo de ataque positivo. En el caso donde se emplee un tipo y tamaño de herramienta diferente al descrito, se debe registrar su designación de acuerdo a ISO 1832:1991, *Indexable inserts for cutting tools -Designation*.

La sección transversal para el portaherramientas debe ser de 20 mm x 20 mm y para herramientas de acero de alta velocidad 25 mm x 16 mm.

La distancia mínima de la punta de la herramienta hasta el frente de las mordazas del torno debe ser de 20 mm.

5.2.4 **Tolerancias.** Las tolerancias para todos los ángulos de la herramienta deben ser de $\pm 0,5$ grados. La tolerancia para el radio de punta (r_ϵ) debe ser $\pm 0,1 \times r_\epsilon$.

Las tolerancias de los insertos de carburo cementado y de cerámica deben corresponder a ANSI B94.4-1976, *Identification system for indexable inserts for cutting tools*, a excepción de lo indicado anteriormente.

5.2.5 **Inspección previa de la herramienta.** El filo de corte en las herramientas de acero de alta velocidad no debe tener rebabas ni biseles. Éstos deben eliminarse cuidadosamente, puliendo la cara y superficies del flanco de la herramienta.

Cada filo de corte a ser usado en el ensayo debe examinarse a una amplificación mínima de 10x para detectar defectos visuales como fragmentos o grietas. El defecto se debe corregir, de otro modo la herramienta no debe usarse

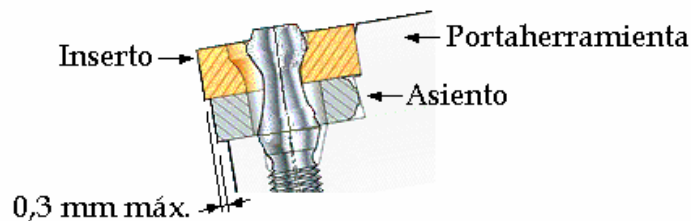
5.2.6 **Fijación en el carro portaherramientas o torreta de herramientas.** Se debe registrar en los formatos el tipo de fijación de la herramienta al carro portaherramientas, si es directo o por medio de un dispositivo, el cual debe especificarse según la ISO 5608:1995, *Turning and copying tool holders and cartridges for indexable inserts – Designation*.

En el caso de herramientas enterizas las superficies de contacto entre la herramienta y el carro portaherramientas deben estar limpias.

5.2.7 Fijación de los insertos intercambiables. Las caras y los flancos de la herramienta en contacto con las superficies del portaherramientas, deben estar perfectamente limpios, para eso se debe emplear un chorro de aire comprimido en cada montaje de la pastilla, para así garantizar un asentamiento perfecto y consecuentemente una correcta geometría de corte.

La superficie inferior de la pastilla no debe proyectarse más de 0,3 mm de la base que la soporta en el portaherramientas, conforme a la figura 24.

Figura 24. Posicionamiento del inserto en el portaherramientas



Fuente: *Grupo de pesquisa e treinamento em comando numerico. Curso de usinagem dos metais.*

5.3 FLUIDO DE CORTE

El tipo y el empleo del fluido de corte en una operación de torneado, depende del material del inserto de corte, del material de la pieza de trabajo y del tipo de operación. Siempre que sea posible los ensayos deben realizarse en seco, excepto cuando el fluido de corte es la variable de prueba.

En los casos donde se emplee fluido de corte, se debe registrar el tipo, la designación, la presión, la temperatura del depósito y la tasa de flujo ...véase la tabla 15...

Cuando se use fluido de corte, éste debe dirigirse sobre la cara de manera que envuelva completamente la parte activa de la herramienta de corte. El flujo de fluido no debe ser inferior a 3 l/min, o 0,1 l/min por cada cm³/min de metal removido, el mayor entre estos debe ser escogido.

5.4 CONDICIONES DE CORTE

5.4.1 Consideraciones iniciales. La ecuación expandida de Taylor... véase la ecuación 6... es un modelo matemático que representa satisfactoriamente un ensayo de vida del filo por considerar, a través de sus exponentes, la influencia de las variaciones de las condiciones de corte en el mecanizado de un material. Para realizar un ensayo de vida de herramienta que conduzca a la ecuación expandida de Taylor es necesario utilizar diferentes valores de velocidad de corte, avance y profundidad de corte, para esto se recomienda usar: 3 a 6 velocidades de corte; 3 a 5 avances; y 2 a 3 profundidades de corte. En el siguiente plan de ensayos, los valores subrayados representan las combinaciones mínimas a ser utilizadas:

V_{C1}	f_1	a_{p1}	V_{C1}	f_2	a_{p1}	V_{C1}	f_3	a_{p1}			
V_{C2}	f_1	a_{p1}	V_{C2}	f_2	a_{p1}	V_{C2}	f_3	a_{p1}	V_{C2}	f_1	a_{p2}
V_{C3}	f_1	a_{p1}	V_{C3}	f_2	a_{p1}	V_{C3}	f_3	a_{p1}			

A fin de facilitar un análisis de los resultados obtenidos, se recomienda modificar un parámetro de mecanizado en cada ensayo.

Las condiciones de corte para los ensayos en que el avance f , la profundidad de corte a_p , o el radio de punta r_ϵ , no son las principales variables de prueba

deben usarse una o más de las combinaciones listadas en la tabla 9, para así obtener la ecuación reducida de Taylor...véase la ecuación 7...

Tabla 9. Condiciones normalizadas de corte

Condiciones de corte	A	B	C	D
Avance f , mm/rev	0,1	0,25	0,4	0,63
Profundidad de corte a_p , mm	1,0	2,5	2,5	2,5
Radio de punta r_ϵ , mm	0,4	0,8	0,8	1,2

Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

Las tolerancias especificadas para las condiciones de mecanizado deben ser como las enseñadas en la tabla 10.

Tabla 10. Tolerancias para las condiciones de corte

Parámetros de corte	Tolerancia, %
Avance*, f	+3% y -2%
Profundidad, a_p	± 5%
Velocidad de corte, V_C	± 2%
Radio de punta de la herramienta, r_ϵ	± 10%

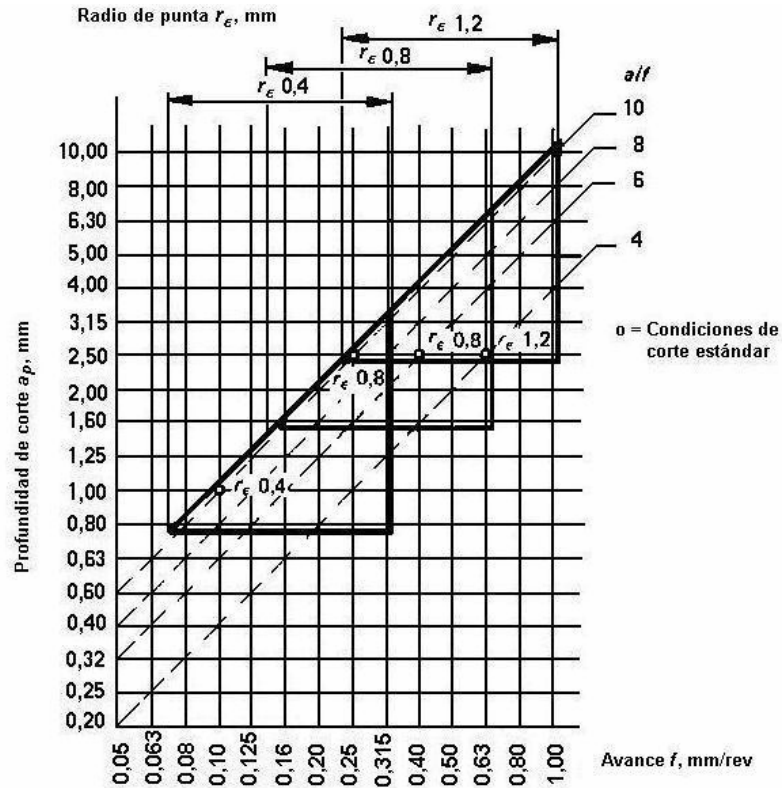
* Según ISO 229: 1973, *Machine tools -Speeds and feeds*

Fuente: *Grupo de pesquisa e treinamento em comando numerico. Curso de usinagem dos metais.*

5.4.2 Otras condiciones de corte. Cuando no es posible elegir una de las condiciones de corte normalizadas, o cuando el avance, la profundidad de corte, o el radio de punta es la variable de prueba, se recomienda que sólo un parámetro se altere a la vez y que los valores elegidos estén en la intersección de avances y profundidades de corte designados dentro de las áreas

triangulares mostradas en la figura 25. Los límites de las áreas triangulares se definen en la tabla 11.

Figura 25. Límite de condiciones de corte



Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

Tabla 11. Límites de otras condiciones de corte

Condición de corte	Límite
Profundidad mínima de corte	2 veces el radio de punta*
Profundidad máxima de corte	10 veces el avance
Avance máximo	0,8 veces el radio de punta

* Una profundidad de corte más pequeña puede hacer más difícil y menos exactas las medidas de desgaste de la herramienta.

Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

5.4.3 Velocidad de corte. La velocidad de corte (m/min), se debe determinar en la superficie de la pieza de trabajo a ser cortada, es decir, en la superficie de trabajo y no en el diámetro resultado del corte (la superficie mecanizada). Además, la velocidad de corte debe medirse después de que la herramienta ha intervenido en la pieza de trabajo para tener en cuenta cualquier pérdida de velocidad de corte que sea resultado de la acción de corte.

Se deben escoger por lo menos cuatro diferentes velocidades de corte para cada condición de corte, sin embargo una limitación a tres velocidades de corte es práctica debido al costo por consumo de material. En general, las velocidades de corte se deben escoger de forma que la vida de la herramienta a la velocidad más alta no sea menor a 5 min, para herramientas de cerámica no menor a 2 min.

Al mecanizar materiales costosos, una vida de herramienta más corta puede seleccionarse, pero ésta no debe ser menor a 2 min.

Un escalonamiento entre las velocidades de corte debe ser tal que proporcione una razón constante, o sea, un espaciamiento adecuado en la curva de vida de herramienta para los puntos analizados, para esto se recomienda el uso de series geométricas de números normalizados*, como se indica en la tabla 12, multiplicando los valores de las series por 10 o potencias de 10.

* Según la norma ISO 3:1973, *Preferred numbers –Series of preferred numbers* y/o ISO 229:1973, *Machine tools –Speeds and feeds*.

Tabla 12. Series geométricas de números normalizados

Acero de alta velocidad (R 40)	Carburo (R 20)	Cerámica (R 10)
1,00	1,00	1,00
1,06		
1,12	1,12	
1,18		
1,25	1,25	1,25
1,32		
1,40	1,40	
1,50		
1,60	1,60	1,60
1,70		
1,80	1,80	
1,90		
2,00	2,00	2,00
2,12		
2,24	2,24	
2,36		
2,50	2,50	2,50
2,65		
2,80	2,80	
3,00		
3,15	3,15	3,15
3,35		
3,55	3,55	
3,75		
4,00	4,00	4,00
4,25		
4,50	4,50	
4,75		
5,00	5,00	5,00
5,30		
5,60	5,30	
6,00		
6,30	6,30	6,30
6,70		
7,10	7,10	
7,50		
8,00	8,00	8,00
8,50		
9,00	9,00	
9,50		
10,00	10,00	10,00

Fuente: *Grupo de pesquisa e treinamento em comando numerico. Curso de usinagem dos metais*

Donde se considere necesario un rango más amplio de velocidades de corte a ser escogido, se recomienda la siguiente serie:

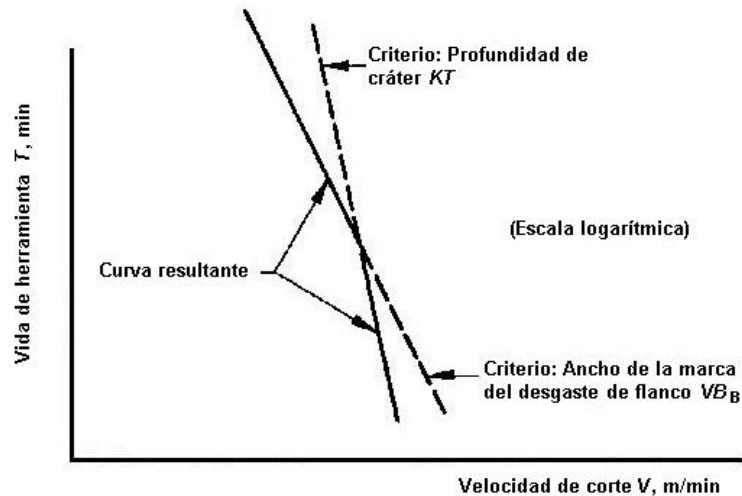
- Para ensayos de corte que usan acero de alta velocidad, la serie R 20 puede sustituirse por la serie R 40, y similarmente para las herramientas de carburo, la serie R 10 puede sustituirse por la R 20.
- Alternativamente, un rango de velocidad más estrecho puede ser usado si se requiere.

5.4.4 Avances y profundidades de corte. Se deben escoger en función del material a ser mecanizado y de la herramienta de corte, procurando combinarlos de forma adecuada, dentro de un campo de operaciones entre desbaste y acabado...véase el numeral 5.4.2...

5.5 CRITERIO DE VIDA DE HERRAMIENTA Y MEDICIONES DE DESGASTE

5.5.1 Criterio de vida de herramienta. El tipo de desgaste que se crea contribuye más al fin de vida de herramienta en una serie específica de ensayos, se debe usar como guía para la selección de uno de los criterios de vida de herramienta...véase el numeral 3.6... Se debe registrar el tipo y valor del criterio usado. Si no está claro qué tipo de desgaste predominará, es posible usar cualquiera de dos criterios, produciendo dos curvas V_c-T , o un criterio mixto, produciendo una curva interrumpida de V_c-T , como se enseña en la figura 26...véase el numeral 3.6...

Figura 26. Curva quebrada de V_c - T , combinando desgaste del flanco y de cráter



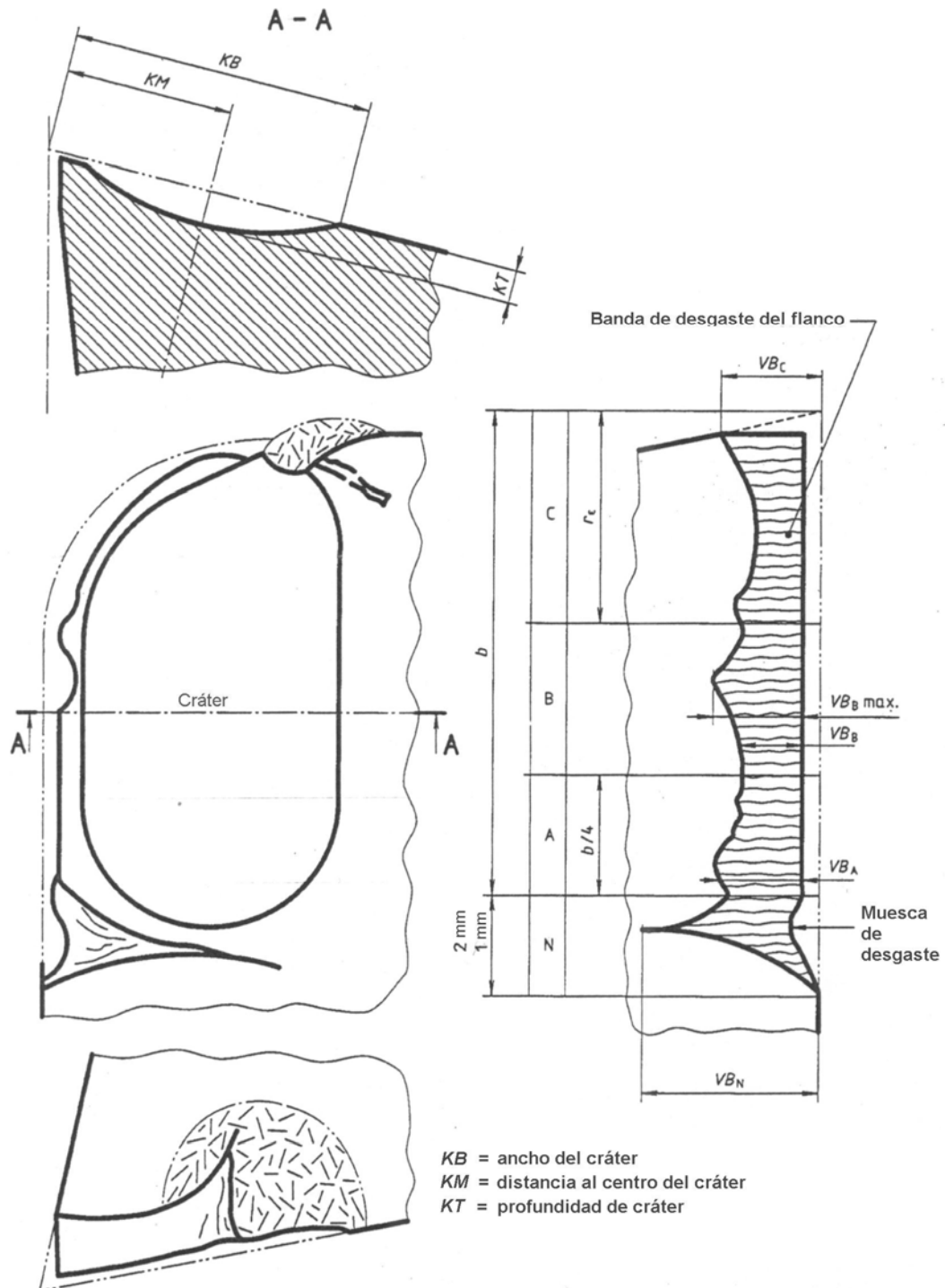
Fuente: *The American Society of Mechanical Engineers. Tool life testing with single-point turning tools.*

5.5.2 Criterio para las herramientas de acero de alta velocidad. El criterio más comúnmente usado para las herramientas de acero de alta velocidad es como sigue:

- Ancho máximo de banda de desgaste de flanco $VB_B máx.= 0,6$ mm, si el desgaste del flanco está irregularmente desgastado, rayado o fragmentado en la zona B, dicha zona se ilustra en la figura 27.
- Ancho medio de la banda de desgaste del flanco $VB_B= 0,3$ mm, si se considera que la banda de desgaste del flanco se ha desgastado regularmente en la zona B.
- Falla catastrófica...véase el numeral 3.6.4...

5.5.3 Criterio para carburos cementados. El criterio más comúnmente usado para herramientas de carburo cementado es:

Figura 27. Algunos tipos de desgaste en herramientas de torneado



Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

- Ancho máximo de la banda de desgaste del flanco $VB_B máx. = 0,6$ mm, si la banda de desgaste del flanco no se ha desgastado regularmente en la zona B.
- Ancho medio de la banda de desgaste del flanco $VB_B = 0,3$ mm, si se considera que la banda de desgaste del flanco se ha desgastado regularmente en la zona B.
- La profundidad del cráter KT dada, en milímetros, por la ecuación 9.

$$KT = 0,06 + 0,3f \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde f es el avance en milímetros por revolución. Esto lleva a los siguientes valores de KT para los avances especificados en la recomendación, donde KT aplica como un criterio, como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Valores de KT para las condiciones de corte normalizadas

Avance f , mm/rev	0,1	0,25	0,4	0,63
Profundidad de cráter KT , mm	0,09	0,14	0,18	0,25

Fuente: *The American Society of Mechanical Engineers. Tool life testing with single-point turning tools.*

5.5.4 Criterio para herramientas cerámicas. El criterio más comúnmente usado para las herramientas de cerámica es:

- Ancho máximo de la banda de desgaste del flanco $VB_B máx. = 0,6$ mm, si la banda de desgaste del flanco no se ha desgastado regularmente en la zona B.
- Ancho medio de la banda de desgaste del flanco $VB_B = 0,3$ mm, si se considera que la banda de desgaste del flanco se ha desgastado regularmente en la zona B.
- Falla catastrófica.

5.5.5 **Criterio para el acabado en el torneado.** La rugosidad superficial es un criterio común para el acabado en el torneado y se recomiendan los siguientes valores de rugosidad aritmética promedio, R_a , según ANSI B46.1-1978, *Surface texture*:

0,4 - 0,8 - 1,6 - 3,2 - 6,3 - 12,5 μm

5.5.6 **Otro criterio.** Los criterios especificados arriba...véase los numerales 5.5.2, 5.5.3 y 5.5.4... son con frecuencia suficientes para el torneado de acero y fundiciones. Algún otro criterio se puede elegir para un caso en especial...véase el numeral 3.1.6...

5.5.7 **Mediciones de desgaste.** Partículas adheridas al flanco directamente bajo la banda de desgaste pueden dar apariencia de un ancho más grande de la banda de desgaste. También, un depósito en el cráter produce menores valores de la profundidad del cráter. El material suelto se debe remover cuidadosamente pero sin usar productos químicos, estos pueden ser usados hasta el final de la prueba.

Para el propósito de las mediciones del desgaste, el filo de corte principal se debe dividir en las siguientes zonas:

- Zona C está la parte curvada del borde de corte en la punta de la herramienta.
- Zona A es el cuarto de la longitud del filo de corte desgastado b más distante de la punta de la herramienta.
- Zona B es la parte recta restante del filo entre la zona C y la zona A.
- Zona N se extiende más allá del área de contacto mutuo entre la herramienta y la pieza de trabajo, aproximadamente de 0,5 mm a 2 mm a lo largo del filo de corte principal. El desgaste es de tipo muesca

El ancho de la banda de desgaste del flanco, VB_B , se debe medir dentro de la zona B y desde la posición original del filo de corte principal.

La profundidad del cráter KT se debe medir como la distancia máxima entre el fondo del cráter y la cara original en la zona B.

5.6 EQUIPOS

5.6.1 Máquina herramienta. La máquina herramienta utilizada para la realización del ensayo de vida del filo debe ser rígida, de manera que no presente tendencia a vibraciones que puedan influir en el desgaste de la herramienta de corte. Sus componentes deben garantizar las tolerancias especificadas para las tolerancias de mecanizado.

La máquina debe permitir avances suficientemente variables de modo que cubra todo el campo de condiciones escogidas para el ensayo. Además, debe estar equipada con un mando de husillo de velocidad infinitamente variable que cubra el rango de velocidades de husillo usadas. Esto es particularmente importante en torneado para mantener la misma velocidad de corte, debido a que el diámetro de la pieza de trabajo se reduce por los cortes sucesivos. Además, un mando de velocidad variable permite predeterminación precisa de las velocidades de corte y reduce el tiempo requerido para obtener los datos de una curva de vida de herramienta.

5.6.2 Otros equipos de medición. Los equipos destinados a la medición, en el ensayo, así como aquellos usados en la caracterización del material, deben tener suficiente resolución para distinguir las tolerancias especificadas para la realización del ensayo.

La relación de equipos con sus respectivas características deben acompañar las demás informaciones del ensayo, como forma de explicar la aceptación de los resultados en cuanto a los medios usados para su obtención.

5.7 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Sólo es posible describir el procedimiento de ensayo de vida de herramienta en términos generales, porque las condiciones varían con cada situación.

Cuando no se dispone de un equipo de recolección automática de datos, los equipos deben montarse de tal manera que el ensayo sea conducido con facilidad y sobre riguroso control.

La división de las tareas para que dos personas realicen el ensayo, proporciona mayor eficiencia en su control y realización. Por tanto, los equipos son arreglados físicamente en dos grupos:

- Grupo operacional, donde actuará el operador de la máquina herramienta.
- Grupo de registro de datos y control del ensayo, donde actuará el experimentador.

Los componentes de la máquina herramienta para el accionamiento de avances, profundidades de corte y rotaciones, además de los equipos de medición deben revisarse. La revisión puede liberarse en caso de que se certifique que fue efectuada recientemente, manteniendo aún su validez. La revisión muestra si los equipos están operando correctamente en el rango de tolerancia especificadas para el ensayo y, en caso de errores, puedan ser efectuadas las correcciones.

Las piezas de trabajo deben prepararse para el ensayo, o sea, deben realizarse pre-mecanizados para garantizar la perfecta fijación de la máquina y para eliminar eventuales irregularidades en la superficie, como cascarilla de laminación y fundición.

Los filos de las herramientas de corte deben verificarse en cuanto el estado de conservación con amplificación mínima de 10x...véase el numeral 5.2.5...

Cada pieza de trabajo así como cada filo de la herramienta de corte debe ser debidamente identificada por marcas, facilitando el control del ensayo.

Una vez definidas las combinaciones de condiciones de mecanizado, el material de las piezas de trabajo y el material de las herramientas de corte se hace la selección del criterio de fin de vida del filo a ser usado en el ensayo.

Las mediciones de desgaste se deben realizar de acuerdo a intervalos de tiempos regulares, debidamente cronometrados, obedeciendo preferiblemente a una serie de números normalizados...véase la tabla 12... conforme sigue: 2 - 4 - 8 - 12,5 - 16 - 20 - 25 - 31,5 minutos, siendo recomendadas de seis a ocho mediciones de desgaste para cada filo de la herramienta de corte. En el caso de poco desgaste, es decir, que la tasa de desgaste sea lenta, el mecanizado puede prolongarse de 40 a 50 minutos, buscando alcanzar el criterio de vida previamente establecido. En el caso que la tasa de desgaste sea acelerada, el mecanizado puede reducirse a cuatro mediciones de desgaste y no menos, para que el criterio de vida de herramienta pueda evaluarse con la suficiente exactitud.

Las lecturas deben ser trazadas en un diagrama desgaste de la herramienta (en la ordenada) contra tiempo (en la abscisa), véase la figura 28 y la figura 29. Bajo ninguna circunstancia la vida de la herramienta se debe determinar extrapolando el diagrama de desgaste de la herramienta contra tiempo.

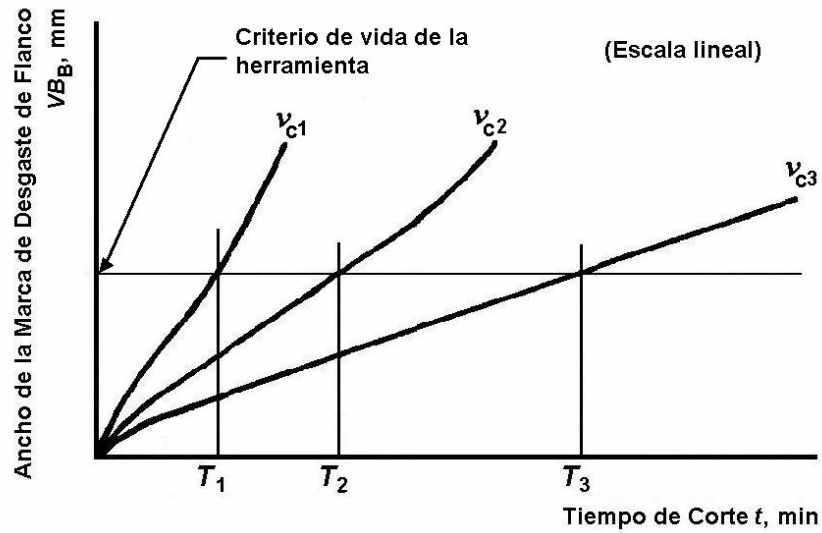
La preparación, anticipadamente al ensayo, de hojas de registro de datos en una secuencia predefinida, es un procedimiento que contribuye para la eficiencia del trabajo. Cada hoja de registro de datos debe ser exclusiva para un filo de herramienta, una combinación de condiciones de mecanizado y un criterio de fin de vida.

Una bitácora de ensayo, efectuada durante su realización, puede ser importante para esclarecer hechos que a causa de cualquier eventualidad fueran necesarias para el análisis de los resultados. En esta bitácora se debe relatar cualquier anomalía, factor inesperado, alteración en el procedimiento previamente establecido y observaciones generales que puedan ocurrir.

Otro factor, entre los ya citados, que contribuye para la eficiencia del ensayo es que sus ejecutores, experimentador y operador de máquina, realicen anticipadamente el planeamiento de su desempeño conjunto en el ensayo.

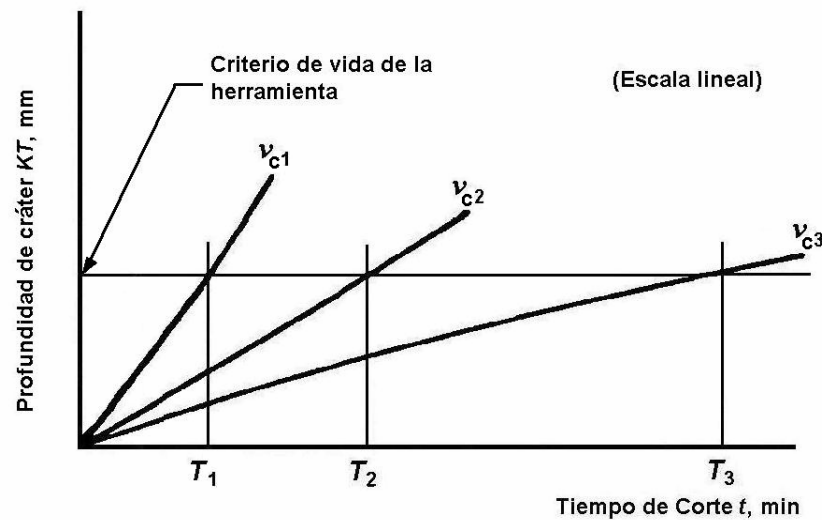
Un ensayo preliminar se recomienda para que con sus resultados conocidos, se pueda estimar el resultado del ensayo final y, por tanto, desarrollarlo con mayor objetividad. Mediante los resultados de estos pre-ensayos se puede estimar la cantidad de material a ser consumido en las experiencias definitivas.

Figura 28. Desarrollo del desgaste de flanco para diferentes velocidades de corte



Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

Figura 29. Desarrollo del desgaste de cráter para diferentes velocidades de corte



Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

5.8 REGISTRO E INFORME DE LOS RESULTADOS

5.8.1 **Ensayo de vida de herramienta.** Las medidas del desgaste del flanco contra el tiempo tomadas a varias velocidades de corte proporcionan las curvas como se muestran en la figura 28. Se obtendrán las curvas correspondientes midiendo el cráter como se muestra en la figura 29 o la rugosidad de la superficie, según el criterio escogido.

Si la falla catastrófica se usa como un criterio, la vida de la herramienta, T , se traza directamente contra la velocidad de corte, V_c , que proporcionarán las curvas de vida de herramienta.

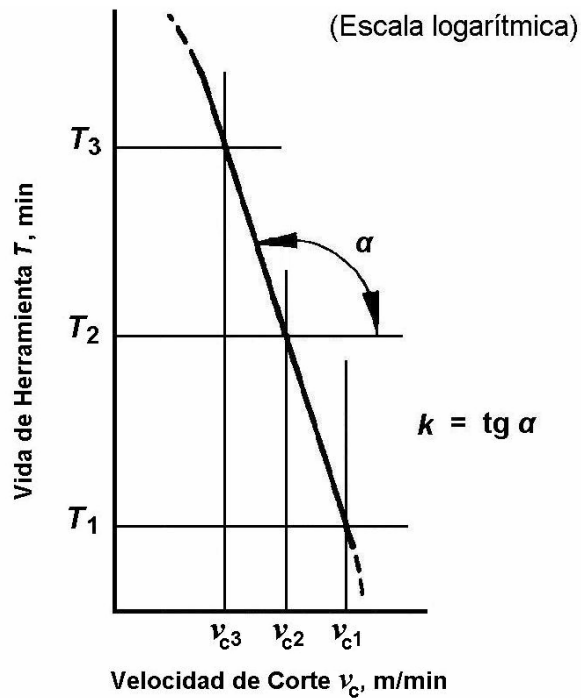
Trazando las coordenadas (V_{c1}, T_1) , (V_{c2}, T_2) y así sucesivamente, obtenidas en la figura 28 o en la figura 29, en un diagrama bi-logarítmico de velocidad de corte contra vida de herramienta (el mismo módulo a lo largo de ambos ejes), producirá una curva $V_c - T$ como se muestra en la figura 30.

Estas curvas $V_c - T$ pueden ser consideradas lineales dentro de un cierto rango de velocidad. La ecuación para esta porción lineal de las curvas se representa por la ecuación reducida de Taylor... véase la ecuación 7 en el numeral 3.4...

$$V_c T^{-1/k} = C$$

Los valores de k y C en la ecuación anterior se deben registrar, los métodos para su determinación se dan más adelante...véase el numeral 5.9...

Figura 30 Curva de vida de herramienta



Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

En el caso de emplearse un criterio de desgaste mixto, y el desgaste de flanco se alcanza antes que el desgaste de cráter o viceversa, se debe graficar una curva $V_c - T$ del tipo mostrado en la figura 26, normalmente la curva de $V_c - T$ determinada por el desgaste de cráter debe presentar mayor inclinación que la curva determinada por el desgaste de flanco.

5.8.2 Formatos y diagramas. Se realizan con el fin de reunir y registrar con facilidad y comodidad los datos obtenidos del ensayo. Se sugiere que los formatos contengan información relacionada a la pieza de trabajo, herramienta de corte, condiciones de corte, mediciones de desgaste, equipos, diagrama de vida de herramienta y resultados. Se recomiendan los siguientes formatos:

Tabla 14. Formato para características de la pieza de trabajo

LOGOTIPO EMPRESA	PROCESO DE TORNEADO								DD MM AA					
	Ordenado por								Fecha ____ ____ ____					
	Ejecutado por								Pág. No. ____ De ____					
Ensayo No. ____														
Objetivo del ensayo														
PIEZA DE TRABAJO														
CARACTERÍSTICAS														
Material														
Designación								Norma						
Fabricante								País						
Fecha de suministro								Cantidad						
CROQUIS DE LA PIEZA						FORMA		<input type="checkbox"/> Barra maciza <input type="checkbox"/> Tubo <input type="checkbox"/> Otra						
						DIMENSIONES		Díam. Ext. ____ mm Díam. Int. ____ mm Longitud ____ mm						
FORMA DE OBTENCIÓN				<input type="checkbox"/> Desconocido <input type="checkbox"/> Fundido <input type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/> Forjado				<input type="checkbox"/> Conformado en frío <input type="checkbox"/> Conformado en caliente <input type="checkbox"/> Extrusado <input type="checkbox"/> Otro						
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO				<input type="checkbox"/> Desconocido <input type="checkbox"/> Sin tratam. térmico <input type="checkbox"/> Normalizado <input type="checkbox"/> Templado				<input type="checkbox"/> Transform. Bainítica <input type="checkbox"/> Recocido <input type="checkbox"/> Bonificado <input type="checkbox"/> Otro						
COMPOSICIÓN QUÍMICA		%	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V		
De norma														
De fabricante														
De ensayo														
MICROFOTOGRAFÍA		Amplif. ____x		MICROESTRUCTURA		COMPONENTES		Desconocido ____ Forma						
								Ferrita ____ %						
								Cementita ____ %						
								Perlita ____ %						
								Bainita ____ %						
								Austenita ____ %						
								Martensita ____ %						
								Grafito ____ %						
								Otra ____ %						
								INCLUS		Desconocidas ____ Tipo				
				Sulfuros ____										
				Óxidos ____										
PROPIEDADES MECANICAS														
Dureza				Desconocida				Rockwell A ____ HRA						
				Vickers ____ HV				Rockwell B ____ HRB						
				Brinell ____ HB				Rockwell C ____ HRC						
Esfuerzo último de tracción MPa				Esfuerzo a la fluencia MPa				Porcentaje de elongación %						

Fuente: Los autores.

Tabla 15. Formato para montaje de la pieza de trabajo, máquina herramienta, herramienta de corte y fluido de corte

LOGOTIPO EMPRESA	PROCESO DE TORNEADO		DD MM AA		
	Ordenado por		Fecha ____		
	Ejecutado por		Pág. No. ____ De ____		
Ensayo No. ____					
PIEZA DE TRABAJO					
FORMA DE FIJACIÓN					
CROQUIS DE LA PIEZA A MECANIZAR		Longitud total- l_{tot} _____ mm Long. de fijación- l_{fij} _____ mm Long. no torneada- l_{ntn} _____ mm Long. a tornear- l_{tn} _____ mm Longitud libre- l_{lb} _____ mm Diám. max de pieza- d_{max} _____ mm Diám. max a tornear- d_{mtn} _____ mm Diám. min a tornear- d_{min} _____ mm Diám. de fijación- d_{fij} _____ mm			
TIPO DE FIJACIÓN	<input type="checkbox"/>	Plato de 3 mordazas	<input type="checkbox"/>	Luneta	
	<input type="checkbox"/>	Plato de 4 mordazas	<input type="checkbox"/>	Contrapunto	
	<input type="checkbox"/>	Perro de arrastre	<input type="checkbox"/>	Otro _____	
PRESIÓN DE FIJACIÓN	<input type="checkbox"/>	Manual	<input type="checkbox"/>	Automática	
	Presión de mordazas		Presión de contrapunto		
	kPa		kPa		
MÁQUINA HERRAMIENTA					
Tipo		Modelo			
Fabricante		País			
Fecha de fabricación		Horas de uso			
Potencia de salida	kW	Máximo diámetro torneable	Máxima longitud torneable		
		mm	mm		
Velocidad máx. de husillo	rpm	Sensibilidad de la velocidad	Montaje (Descripción)		
		±	rpm		
HERRAMIENTA DE CORTE					
Tipo de herramienta		<input type="checkbox"/>	Enteriza	<input type="checkbox"/>	Inserto
Material		Grupo de aplicación			
Designación		Norma			
Fabricante		País			
Fecha de suministro		Cantidad			
Designación portaherramienta		Norma			
GEOMETRÍA DE MONTAJE		γ _____ °	λ_s _____ °	ϵ_r _____ °	
DE LA HERRAMIENTA		α _____ °	K_r _____ °	r_ϵ _____ mm	
FLUIDO DE CORTE					
Se usa fluido de corte	SI NO	Tipo		Designación	
Presión	kPa	Temperatura	K	Caudal	
				l/min	

Fuente: Los autores.

Tabla 16. Formato para mediciones de desgaste

LOGOTIPO EMPRESA	PROCESO DE TORNEADO				DD MM AA		
	Ordenado por _____				Fecha ____ ____ ____		
	Ejecutado por _____				Pág. No. ____ De ____		
Prueba No. ____							
CONDICIONES DE CORTE							
Operación			Inserto No.	Filo No.	Rompeviruta	SI NO	
Velocidad de corte m/min			Avance mm/rev		Profundidad de corte mm		
DATOS DEL ENSAYO DE DESGASTE							
Medición No.	Tiempo T_m min	Desg. de flanco		Desg. de cráter		Forma de viruta	Observaciones
		VB_B mm	$VB_B máx$ mm	KT mm	KM mm		
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
CRITERIO DE FIN DE VIDA DE HERRAMIENTA			VB_B _____ mm		KT _____ mm		
			$VB_B máx$ _____ mm		KM _____ mm		
CURVA DE DESGASTE CONTRA TIEMPO DE MECANIZADO							

Fuente: Los autores.

Tabla 17. Formato guía para el cálculo de C y k para la ecuación de Taylor de vida de herramienta

LOGOTIPO EMPRESA		PROCESO DE TORNEADO				DD MM AA	
		Ordenado por _____				Fecha ____ ____ ____	
		Ejecutado por _____				Pág. No. ____ De ____	
						Ensayo No. ____	
CÁLCULOS DE C Y k PARA LA ECUACIÓN DE VIDA DE HERRAMIENTA							
1	2	3	4	5	6	7	8
Prueba No.	V_c m/min	T min	$x = \log V_c$	$y = \log T$	xy	x^2	y^2
1							
2							
3							
4							
5							
			$\sum x =$	$\sum y =$	$\sum xy =$	$\sum x^2 =$	$\sum y^2 =$
			$(\sum x)^2 =$	$\sum x \cdot \sum y =$			
			$\frac{(\sum x)^2}{n} =$	$\frac{(\sum x \cdot \sum y)}{n} =$			
<p>Número de pruebas $n =$ _____</p> <p>$\bar{x} = \sum x/n =$ _____</p> <p>$a = \bar{y} = \sum y/n =$ _____</p> <p>$k = \frac{\sum xy - (\sum x \cdot \sum y)/n}{\sum x^2 - (\sum x)^2/n} = \frac{\quad -}{\quad -} =$ _____</p> <p>$k =$ <input style="width: 100px;" type="text"/></p> <p>$-1/k =$ _____</p> <p>$\log C = \bar{x} - \bar{y}/k =$ _____</p> <p>$C =$ <input style="width: 100px;" type="text"/> (m/min)</p>							
ECUACIÓN DE TAYLOR PARA VIDA DE HERRAMIENTA							
$V_c \cdot T^{-1/k} = C \quad \Rightarrow \quad V_c \cdot T^{\quad} = \quad$							

Fuente: Los autores.

Tabla 18. Formato para resultados de vida de herramienta

LOGOTIPO EMPRESA	PROCESO DE TORNEADO		DD MM AA
	Ordenado por		Fecha ____ ____ ____
	Ejecutado por		Pág. No. ____ De ____
Ensayo No. ____			
PARÁMETROS DEL ENSAYO			
Material de la pieza	Material de la herramienta	Designación de herramienta	
Fluido de corte	Avance mm/rev	Profundidad de corte mm	
GEOMETRÍA DE MONTAJE DE LA HERRAMIENTA	γ °	λ_s °	ϵ_r °
	α °	K_r °	r_ϵ mm
DIAGRAMA DE VIDA DE HERRAMIENTA			
		Hoja de ensayo No.	Tiempo de vida T, min
		Criterio de vida de herramienta	Velocidad de corte Vc, m/min
OBSERVACIONES			

Fuente: Los autores.

5.9 EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE VIDA DE HERRAMIENTA

Cualquier evaluación de datos de ensayos de vida de herramienta se vuelve inútil si no se toman las precauciones durante el experimento para asegurar que las observaciones obtenidas son realmente independientes de todos los factores que afecten lo que está siendo investigado.

Las constantes de la ecuación reducida de Taylor... véase la ecuación 7... para la vida de la herramienta puede estimarse de los ensayos de vida de la herramienta por un método gráfico simple...véase el numeral 5.9.1... o por un método matemático...véase el numeral 5.9.2...

5.9.1 Evaluación "A ojo". Con la evaluación "a ojo" es posible estimar las constantes C y k rápidamente con una exactitud que es aceptable en muchos casos. Sin embargo, debe tenerse presente que la evaluación "a ojo" no es objetiva, puesto que es improbable que dos individuos lleguen a exactamente el mismo resultado.

En un papel de escala bi-logarítmica se grafica la vida de herramienta, T , (variable dependiente) sobre la escala vertical y la velocidad de corte, V_c , (variable independiente) sobre la escala horizontal. Todas las observaciones de V_c y T para el criterio particular de vida de herramienta deben graficarse, con excepción de obviamente datos falsos.

La mejor línea recta se debe ajustar a la grafica de $\text{Log } V_c$ contra $\text{Log } T$. Teóricamente, la línea se debe dibujar de tal manera que la suma de los cuadrados de las distancias verticales entre la línea y los puntos actuales se

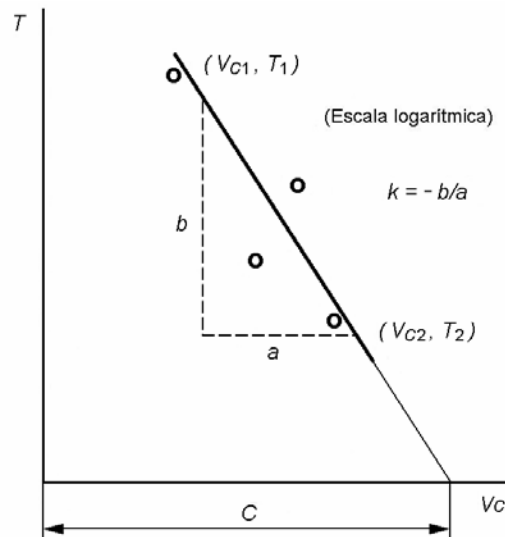
estimen, a ojo, para que sean tan pequeñas como sea posible. En la figura 31 se indica este método.

La constante k se obtiene de la pendiente de la línea o desde dos conjuntos de observaciones (V_c, T) a través de los cuales la línea realmente pase, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$k = \frac{\log T_2 - \log T_1}{\log V_{c2} - \log V_{c1}} \quad \text{Ecuación 10}$$

La constante C se lee directamente desde la gráfica como la velocidad de corte para un minuto de vida de herramienta.

Figura 31. Evaluación "a ojo" de la curva de vida de herramienta



Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

Alternativamente, C puede calcularse de la ecuación 11:

$$C = V_{c1} \times T_1^{-1/k} \quad \text{Ecuación 11}$$

5.9.2 Evaluación por análisis de regresión. El análisis de regresión es un método estadístico, el cual ayuda a ajustar la mejor línea a un conjunto de datos, en vez de dibujar una línea por simple ojo. La línea es ajustada por el método de mínimos cuadrados que requieren que la suma de los cuadrados de las desviaciones entre los puntos de observación y la línea sea mínima.

Para los cálculos se debe usar el esquema mostrado en la tabla 17. Las columnas 1, 2 y 3 se completan inicialmente registrando los valores V_c y T , de los datos experimentales tomados.

Las columnas 4 y 5 de la tabla 17 se completan calculando los logaritmos de V_c y T . Entonces, se obtiene la suma de los valores de x e y , y sus valores medios \bar{x} e \bar{y} se calculan de:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \text{e} \quad \bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde n es el número de observaciones experimentales.

La transformación de la ecuación de vida de herramienta de Taylor junto con la apropiada elección de ejes da la siguiente ecuación:

$$y = a + k(x - \bar{x}) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde $a = k(\bar{x} - \log C) = \bar{y}$, y (\bar{x}, \bar{y}) son las coordenadas del punto centroidal.

Es necesario encontrar los valores de C y k tal que la suma de los cuadrados de los residuos de y sea un mínimo. Una guía para los cálculos se da en la tabla 17.

La constante k , la cual es la tangente del ángulo entre la línea de regresión y el eje X , se da por:

$$k = \frac{\sum xy - [(\sum x \cdot \sum y)/n]}{\sum x^2 - (\sum x)^2/n} \quad \text{Ecuación 14}$$

Los productos xy se tabulan en la columna 6 de la tabla 17, para después obtener su suma. Los valores separados de $\sum x$ y $\sum y$ se obtienen de las columnas 4 y 5, respectivamente. El producto $\sum x \cdot \sum y$ se divide entonces por n .

En la columna 7, se calcula la suma de los cuadrados $\sum x^2$. Entonces, de la columna 4, se obtiene la sumatoria $\sum x$, se eleva al cuadrado y se divide por n .

Finalmente, la constante C se calcula de:

$$\log C = \bar{x} - \bar{y}/k \quad \text{Ecuación 15}$$

6. DESARROLLO DE ENSAYO

La metodología del ensayo de vida de herramienta diseñada se aplicó para determinar la duración del filo de una plaquita marca SANDVIK de referencia CNMG 120408 PM 4025. Se realizó una operación de cilindrado manteniendo fijo los valores de avance, $f=0.25$ mm/rev, y profundidad, $a_p=2.5$ mm, y tres diferentes velocidades de corte, 250 m/min, 315 m/min y 400 m/min, estas condiciones de corte se encuentran en el rango de trabajo del inserto. Se mecanizó acero ASTM 1045 en forma de barras cilíndricas en un centro de torneado Leadwell T6. En la prueba, se mide el desgaste de flanco a ciertos intervalos de tiempo para cada velocidad de corte hasta alcanzar el criterio de desgaste del flanco establecido, para luego determinar el fin de vida del filo de corte por medio de la ecuación reducida de Taylor.

El desarrollo del ensayo que se presenta a continuación se realizó siguiendo los parámetros especificados en el capítulo 5 del presente trabajo de grado, que permiten la caracterización de la pieza de trabajo, herramienta de corte, condiciones de corte, equipos y evaluación de los resultados del proceso de mecanizado.

6.1 PIEZA DE TRABAJO

6.1.1 Identificación y clasificación del material de trabajo. En las pruebas de mecanizado se utilizó acero ASTM 1045*, el cual es de gran aplicación a

* Otras equivalencias aproximadas en otras normas son, DIN: CK-45; IHA: F-114; BOEHELER: H; AFNOR: XC-45; SAE/AISI: 1045.

nivel mundial en la construcción de componentes técnicos de la industria metalmeccánica y ampliamente utilizado en la industria automotriz. Se usa en partes de máquinas que requieran dureza y tenacidad como manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes, acoplamientos, árboles, bielas, cigüeñales o piezas de armas. También se utiliza para la fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas. Además se encuentra entre los materiales de referencia citado en ANSI/ ASME B94.55M- 1985.

6.1.2 Proceso de obtención. La obtención del acero se realiza en un horno de arco eléctrico (EAF, Electric Arc Furnace), el cual se carga con chatarra de acero cuidadosamente seleccionada. Al aplicarse la corriente eléctrica, la formación del arco entre los electrodos gigantes produce un calor intenso. Cuando la carga se ha derretido completamente, se agregan dentro del horno cantidades medidas de los elementos de aleación requeridos. La masa fundida resultante se calienta, permitiendo que se quemen las impurezas y que los elementos de aleación se mezclen completamente. Para acelerar la remoción del carbono, el oxígeno gaseoso se introduce generalmente en forma directa dentro de acero fundido por medio de un tubo o lanza. El oxígeno quema el exceso de carbono y algunas de las impurezas, mientras otras se desprenden como escoria por la acción de varios fundentes. Cuando la composición química de la masa fundida cumple con las especificaciones, el horno se inclina para verter el acero fundido dentro de una olla de colada.

El acero derretido se puede refinar aún más para producir acero de alta pureza y homogeneidad, dicho ajuste metalúrgico se lleva a cabo en hornos de cuchara (LF, Ladle Furnace), donde se remueven los gases (oxígeno, hidrógeno y nitrógeno) en el acero derretido que fueron absorbidos o formados durante el proceso de fabricación. Si los gases no se remueven antes

que el acero se solidifique, su presencia o sus reacciones con otros elementos en el acero puede producir defectos tales como: inclusiones (partículas sólidas de óxido), sopladuras (bolsas de gas), descascarillamiento (grietas internas) y fragilidad (pérdida de ductilidad). Así, por medio de una agitación suave con argón (AOD, Argon Oxygen Decarburization) se realiza lo anterior, mejorando la calidad del acero. Después se sigue con la etapa de la colada continua en planchones y palanquillas, para pasar a la etapa de laminación del acero y obtener los productos terminados finales.

El material usado proviene de India y se compró a Aceros Industriales S.A. ...véase anexo H... El acero se suministró en forma de barras cilíndricas con diámetro de 101.6 mm y longitud de 400 mm. La colada se identificó con el número 411181.

La ruta del proceso se muestra en el certificado de composición química dado por el fabricante, Rampra Steel Industries Private Ltda. ... véase anexo I...

6.1.3 Composición química. El acero ASTM 1045 según la norma ASTM-A29, *Standard specification for steel bars, carbon and alloy, hot-wrought, General requirements for*, tiene la siguiente composición química, C: 0,43%- 0,50%, Mn: 0,60%- 0,90%, P: 0,040 máx, S: 0.050 máx, Si: 0,20%- 0,35%.

La colada fue caracterizada por la composición química indicada a continuación, C: 0,430%, Mn: 0,80%, P: 0,032, S: 0.031%, Si: 0,240%...véase anexo J...

6.1.4 Tratamientos térmicos. El acero ASTM 1045 utilizado en las pruebas no tiene ningún tratamiento térmico.

6.1.5 **Determinación de la dureza.** Se realizó la respectiva medición de dureza en el Laboratorio de preparación de materiales, de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Para esto se dispuso de discos con 35 mm de diámetro y 10 mm de espesor, retirados del material de ensayo; estos discos se cortaron con la segueta automática ubicada en el taller de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para luego por diferentes juegos de lijas conseguir una superficie más regular. La dureza se midió en un durómetro marca Clark, con penetrador de cono de diamante y carga aplicada de 60 kg. Se determinó una dureza de 52 Rockwell A (HRA), de acuerdo a la norma ASTM A 370-90a, *Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products*, en la tabla 2B de números de conversión aproximados de dureza para aceros no austeníticos, corresponde a 164 Brinell (carga de 3000 kg y penetrador de 10 mm de diámetro). En la figura 32 se muestra la fotografía del equipo de medición y el disco usado en éste.

Figura 32. Medición de dureza



(a) Durómetro Clark



(b) Disco de acero ASTM 1045

Fuente: Los autores.

6.1.6 **Determinación de la resistencia a la tensión y elongación.** Aceros Industriales S.A en el certificado de composición química entregado, registra un valor para la resistencia última a la tensión de 64,5 kg/mm² (632,5 MPa), la resistencia a la fluencia de 38,0 kg/mm² (372,7 MPa), y porcentaje de elongación de 24%...véase anexo I...

6.1.7 **Microestructura.** Se realizó la preparación metalográfica del acero ASTM 1045 en el laboratorio de preparación de materiales de la escuela de Ingeniería metalúrgica. Se extrajo una muestra del material de 35 mm de diámetro y 10 mm de espesor, mediante una segueta automática. Se utilizó refrigerante, tratando en todo momento evitar calentamientos fuertes de la probeta. También se biselan las aristas mediante desbaste en un esmeril, para evitar cortes y agarres de la probeta en los papeles y paños de pulido.

Después se realiza el desbaste que consiste en frotar la superficie de la probeta, que se desea preparar, sobre una serie de papeles abrasivos, cada vez más finos. Una vez obtenido un rayado uniforme sobre un determinado papel, se gira la probeta 90° para facilitar el control visual del nuevo desbaste, véase la figura 33 (b). Cada fase será completada cuando desaparezcan todas las rayas producidas por el paso por el papel abrasivo anterior.

El desbaste se hace en húmedo, para evitar los calentamientos que pueden modificar la estructura de la probeta. El desbaste se realizó de forma manual en una caja de desbaste donde se colocan ordenados, de izquierda a derecha, de mayor a menor rugosidad, los papeles abrasivos, véase la figura 33 (a). Se utilizaron papeles abrasivos de carburo de silicio (SiC) marca Buehler, número 180, 240, 320, 400 y 600. Este número corresponde en modo inverso al

tamaño de partícula del abrasivo, es decir, mayor número menor tamaño de la partícula de abrasivo, y viceversa.

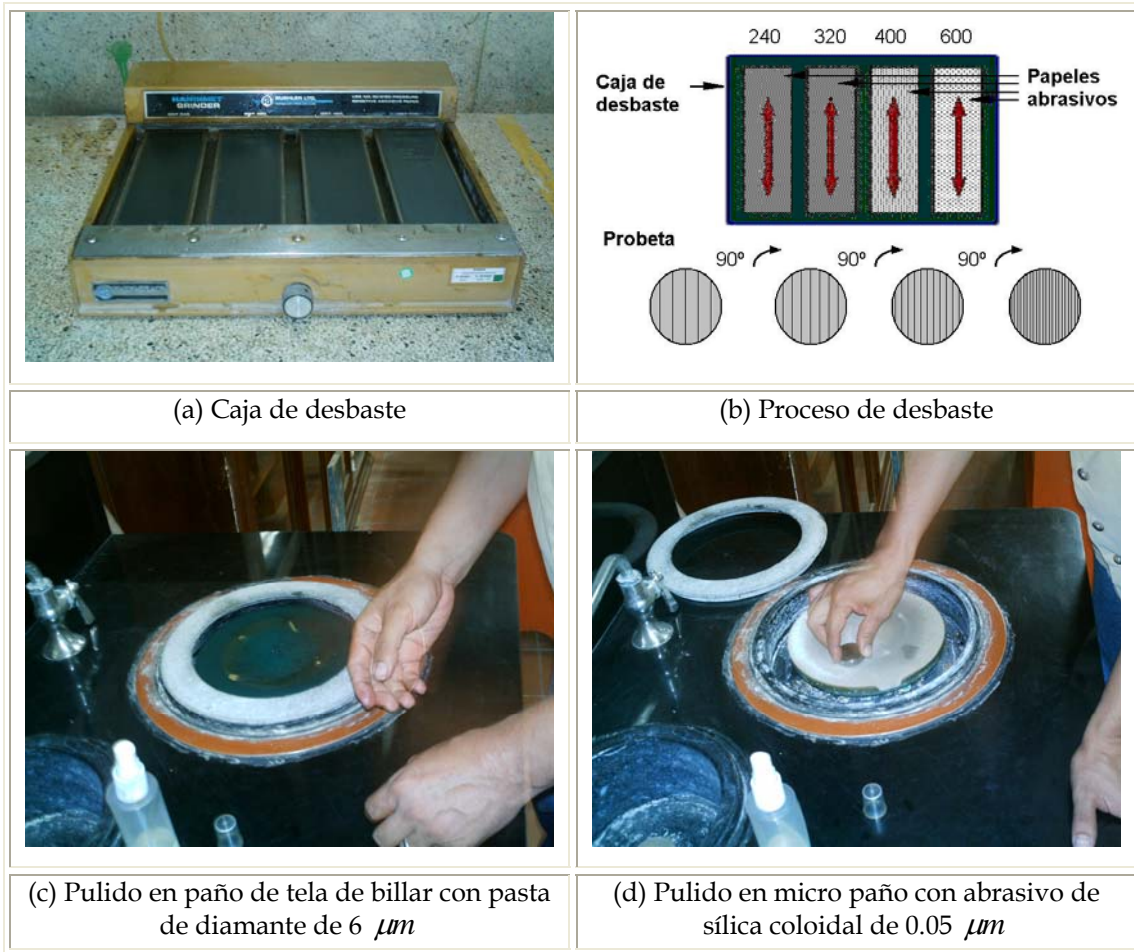
Mediante el desbaste se consigue poner al descubierto la superficie del material, eliminando todo lo que pudiera obstaculizar su examen, a la vez que se obtiene una superficie plana. Esto es importante porque la pequeña profundidad de foco de los sistemas ópticos de observación a grandes aumentos no permitiría enfocar la imagen simultáneamente en planos situados a distintos niveles

El pulido de una probeta metalográfica tiene por objeto eliminar las rayas producidas en la operación de desbaste y obtener una superficie semejante a un espejo, para que sólo pueda aparecer en ella detalles propios de su estructura, y no circunstancias ajenas a ella que puedan enmascararla.

El pulido se efectúa en una rueda giratoria a una velocidad de aproximadamente 150 rpm. Se realiza el primer paso de pulido en la rueda húmeda cubierta con un paño de tela de billar, cargado con partículas abrasivas de pasta de diamante de $6 \mu m$, como se muestra en la figura 33 (c). Después se trabaja un paño de pelillo suave con pasta de diamante de $1 \mu m$. El tercer paso de pulido se realiza en un micro paño con partículas abrasivas de sílica coloidal de $0.05 \mu m$, véase la figura 33 (d).

La probeta debe ser limpiada después de cada paso de pulido. Se limpia con una solución de agua-jabón, luego se deja bajo un chorro de agua y se frota con un algodón. Después de la limpieza se enjuaga con un chorro de alcohol y se seca rápidamente bajo un chorro de aire caliente.

Figura 33. Desbaste y pulido para preparación metalográfica



Fuente: Los autores.

La probeta se debe atacar para "revelar" la microestructura (fases, límites de grano, impurezas, zonas deformadas). El ataque químico se realiza por inmersión de la muestra durante el tiempo necesario sumergiéndola boca abajo en un reactivo contenido en una caja de Petri. El reactivo utilizado es Nital, una solución de 2% a 5% de ácido nítrico en alcohol metílico, que se encarga de oscurecer la perlita en aceros al carbono y de revelar los límites de grano de la ferrita.

Inmediatamente después del ataque la probeta debe ser lavada con agua y secada con un chorro de alcohol y aire caliente. La muestra pulida no se debe frotar con alguna tela o con los dedos, porque se altera la condición superficial del metal.

Todas las operaciones descritas en la preparación metalográfica tienen por objeto revelar, en la superficie plana de la muestra, sus constituyentes estructurales para ser observados al microscopio. El equipo utilizado para tal fin es un microscopio Olympus, una cámara JVC TK-128OU y el software Leica Q500MC⁶, este sistema se ilustra en la figura 34.

Figura 34. Sistema de adquisición y análisis de muestras metalográficas



Fuente: Los autores.

⁶ Este software fue desarrollado por estudiantes de la escuela de Ingeniería Metalúrgica de la UIS.

La imagen tomada de la microestructura a 100 x se muestran en la figura 35 ...en el anexo N se encuentran las microfografías a 100x, 200x y 500x...

Figura 35. Microfotografía del acero ASTM 1045 a 100 x



Fuente: Los autores.

El análisis de la muestra de acero ASTM 1045 da como resultado que se encontró aproximadamente un 54% de perlita de forma laminar y un 46% de ferrita de forma equiaxial, además se encontraron inclusiones de sulfuro de manganeso de grado tipo 1,5 que es un valor normal dentro los límites para este material.

Se determinó el tamaño de grano por el método de comparación basado en la tabla *Grain size chart for classification for steels* de la norma ASTM E 19 *plate II* para una magnificación de 100 x. El 40% es número 4, es decir contiene de 6 a 12 granos por pulgada cuadrada y el 60% es número 5, es decir contiene de 12 a 24 granos por pulgada cuadrada.

6.1.8 Dimensiones de la pieza de trabajo. La pieza de trabajo inicial llegó con diámetro de 101,6 mm y longitud de 400 mm, para un número total de cinco barras de estas dimensiones para la realización de las pruebas.

Las dimensiones iniciales antes mencionadas se seleccionaron por cálculos realizados con anterioridad para una cierta estimación de vida de herramienta, condiciones de corte y relación longitud/diámetro, ya establecidas para las pruebas, que permitieran un uso eficiente de la cantidad de material necesaria para los mecanizados.

Se maquinó hasta obtener barras finales con dimensiones de 35 mm de diámetro y 350 mm de longitud mecanizada, conservándose la relación recomendada de longitud/diámetro menor o igual a 10.

Además, más adelante se consideró la posibilidad de aprovechar el material sujetado en las mordazas, para realizar los mecanizados necesarios en caso de superarse la duración de herramienta supuesta en un principio para los cálculos preliminares de cantidad de material requerido, se referirá a este como material remanente.

6.1.9 Pre-mecanizado de la pieza de trabajo. Las asperezas de fábrica de las barras se retiraron con un corte de limpieza, a las siguientes condiciones de mecanizado: velocidad de corte de 250 m/min, avance de 0.25 mm/rev, llevándose hasta un diámetro de 100 mm. Se empleó un mismo filo de un inserto CNMG 120408 PM 4025 marca Sandvik para las pasadas de limpieza.

6.1.10 Fijación de la pieza de trabajo en la máquina herramienta. La máquina herramienta marca Leadwell modelo T6, cuenta para la fijación de la

pieza de trabajo con un plato de sujeción de tres mordazas y contrapunto, cada uno con diferentes presiones de sujeción de acuerdo a la necesidad.

Para la fijación de las barras se dispuso de una longitud de sujeción de 30 mm por medio de las mordazas.

6.1.11 Número de piezas de trabajo necesarias. El número de piezas de trabajo para la realización de los ensayos se estimó a partir de: la duración de la herramienta calculada de una fuente de literatura, indicada en la tabla 19, de la cual se toma C y n , para la combinación de pieza de trabajo de acero y herramienta de metal duro recubierto, los valores que figuran de estos parámetros son aproximados para torneado con $f = 0,25$ m/rev y $a_p = 2,5$ mm; las condiciones de corte para el rango indicado en el catálogo de herramientas para la pastilla CNMG 120408 PM 4025 marca Sandvik; la densidad del acero usado; y las dimensiones iniciales y finales de la pieza de trabajo. Lo anterior se realizó en una hoja de cálculo...véase el anexo K... para un total de cinco piezas de trabajo. Las piezas fueron debidamente identificadas.

6.2 HERRAMIENTA DE CORTE

6.2.1 Material de la herramienta. El material de la pieza de trabajo corresponde a un grupo P, seleccionándose un inserto de metal duro recubierto, tipo de aplicación desbaste ligero y medio de aceros y aceros fundidos, velocidad de corte de medias a altas, con regímenes de arranque de metal relativamente altos; y calidad GC 4025. Esta calidad lleva una capa de alúmina, Al_2O_3 , de grosor relativo alto, sobre una capa de titanio (carburo o nitruro) de grosor relativo medio. La fina capa exterior de nitruro de titanio,

TiN, hace que tenga un color amarillo que facilita la detección del desgaste. El espesor total del recubrimiento es de aproximadamente $10 \mu m$. La combinación de una capa gruesa resistente al desgaste y de un sustrato tenaz enriquecido con cobalto, proporciona a la calidad GC 4025, una excelente combinación de alta resistencia al desgaste, junto con una buena seguridad del filo de corte.

Tabla 19. Valores representativos de n y C en la ecuación de vida de herramientas de Taylor

Material de herramienta	n	C	
		[pies/min]	[m/min]
Acero de herramientas al carbono			
Corte de metales*	0,1	200	70
Corte de acero**	0,1	60	20
Acero de alta velocidad			
Corte de metales*	0,125	350	120
Corte de acero**	0,125	200	70
Carburo cementado			
Corte de metales*	0,25	2700	900
Corte de acero**	0,25	1500	500
Cermet			
Corte de acero**	0,25	2000	600
Carburo recubierto			
Corte de acero**	0,25	2200	700
Cerámico			
Corte de acero**	0,6	10000	3000

* El corte de metales se refiere a metales fáciles de maquinar como aluminio, latón y fundición de hierro

** El corte de acero se refiere al maquinado de acero suave no endurecido

Fuente: GROOVER, M. Fundamentos de manufactura moderna

6.2.2 Geometría de la herramienta. Los respectivos ángulos de montaje del inserto de corte CNMG 120408 PM 4025 sobre el portaherramientas DCLNL 2020K 12, se indican en la tabla 20.

Tabla 20. Ángulos de montaje del inserto de corte CNMG 120408 PM 4025 sobre el portaherramientas DCLNL 2020K 12

Material de la herramienta de corte	Ángulo de ataque* γ	Ángulo de incidencia* α	Inclinación del filo de corte λ_s	Ángulo de posición del filo de corte K_r	Ángulo de punta ϵ_r
Metal duro recubierto	-6° **	6°	-6°	95°	80°

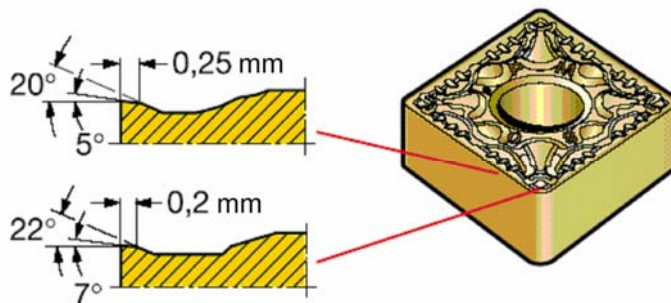
* Estos ángulos son medidos en el plano ortogonal de la herramienta ...véase la figura 23 en el capítulo 5...

** Este valor esta dado por el portaherramienta DCLNL 2020K12 para inserto plano, es decir CNMA 120408. Para el inserto CNMG 120408, considerando la geometría del filo de corte ...véase la figura 36..., el ángulo de ataque γ real es de -1°.

Fuente: SANDVIK Coromant. Herramientas para torneear. 2005

6.2.3 **Tipo y tamaño de herramienta.** El inserto de metal duro recubierto CNMG 120408 PM 4025, es de forma rómbica con ángulo de punta 80°, cuatro filos de corte, ángulo de incidencia del inserto de 0°, longitud de filo de corte de 12,7 mm, espesor de 4,76 mm, radio de punta de 0,8 mm, grupo de aplicación materiales ISO P, tipo de operación mecanizado medio y grado 4025. En la figura 36 se muestra la geometría del filo de corte.

Figura 36. Geometría del filo de corte del inserto CNMG 120408 PM 4025

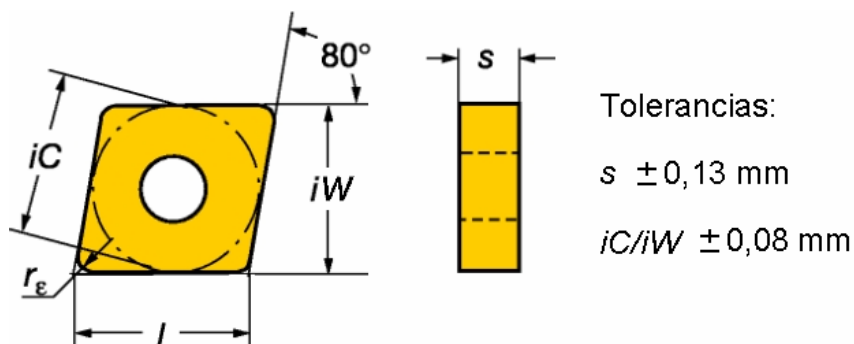


Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Sandvik Coromant [en línea].

Se dejó una distancia mínima de la punta de la herramienta hasta el frente de las mordazas del centro de torneado de 20 mm.

6.2.4 **Tolerancias.** El fabricante de los insertos garantiza el cumplimiento de las tolerancias en las dimensiones del inserto de acuerdo a estándares internacionales, como se indica en la figura 37.

Figura 37. Tolerancias para el inserto CNMG 120408 PM 4025



Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Sandvik Coromant [en línea].

6.2.5 **Inspección previa de la herramienta.** Los filos de corte empleados en el ensayo se examinaron a una magnificación de 15 x bajo el sistema óptico implementado para la medición de desgaste. Se observaron los filos regulares y en buen estado.

6.2.6 **Fijación en la torreta de herramientas.** El portaherramientas DCLNL 2020K 12 de sección transversal de 20 x 20 mm, se fijó en la torreta del centro de torneado por medio de un sistema de cuñas.

6.2.7 **Fijación de los insertos intercambiables.** El portaherramientas empleado DCLNL 2020K 12, el cual se muestra en la figura 38 (a), es el

indicado para la referencia de pastilla seleccionada. El portaherramientas tiene un sistema de sujeción del inserto por brida, véase la figura 38 (b), ángulo de posición del filo de corte de 95°, avance de la herramienta en dirección izquierda, ancho y altura de 20 x 20 mm, y longitud de 125 mm.

Figura 38. Portaherramientas DCLNL 2020K 12



(a) Portaherramientas DCLNL 2020K 12

(b) Despiece

Fuente: Los autores

Se empleó un chorro de aire comprimido cada vez que se realizó el montaje de la pastilla en el portaherramientas, garantizándose un asentamiento perfecto y consecuentemente una correcta geometría de corte.

Se comprobó que la proyección de la superficie inferior del inserto sobre la base que lo soporta en el portaherramientas no supera 0,3 mm, al medirse 0,24 mm en el sistema óptico.

6.3 FLUIDO DE CORTE

No se empleó fluido de corte, de acuerdo a recomendaciones para el mecanizado con herramientas de metal duro recubierto dadas en la norma ANSI/ ASME B94.55M.

6.4 CONDICIONES DE CORTE

6.4.1 **Consideraciones iniciales.** Este ensayo buscó el cálculo de las constantes de la ecuación reducida de Taylor. Para lo cual, se consideró como variable de prueba la velocidad de corte, fijándose valores para el avance y la profundidad de corte para una misma geometría de corte.

Se seleccionó una de las condiciones de corte normalizadas, esta se muestra en la tabla 21...véase el numeral 5.4.1...

Tabla 21. Condición normalizada de corte para el ensayo implementado

Condiciones de corte	B
Avance f , mm/rev	0,25
Profundidad de corte a_p , mm	2,5
Radio de punta r_ϵ , mm	0,8

Fuente: *International Organization for Standardization. Tool-life testing with single-point turning tools.*

Las tolerancias para las condiciones de mecanizado...véase la tabla 10... se garantizan en la precisión del control que posee el centro de torneado.

6.4.2 **Otras condiciones de corte.** No aplican, puesto que se plantearon condiciones normalizadas de corte para el ensayo.

6.4.3 **Velocidad de corte.** Se seleccionaron tres diferentes velocidades de corte cada una para un filo de corte de herramienta, tomándose un escalonamiento entre las velocidades de corte de acuerdo a la serie geométrica de números normalizados R10, indicadas en la tabla 22...véase tabla 12...

Tabla 22. Velocidades de corte para el ensayo implementado

Filo	Velocidad de corte [m/min]
A	250
B	315
C	400

Fuente: Los autores

La velocidad de corte (m/min), se determinó en la superficie de la pieza de trabajo a ser cortada... véase la ecuación 1...obteniéndose la velocidad de rotación del husillo para ser introducida en el programa de mecanizado del centro de torneado, dicha velocidad del husillo es compensada automáticamente por la máquina en caso de pérdidas, por ejemplo las causadas por la entrada del inserto al material de trabajo. Además, se hace necesario el cálculo de la velocidad de avance lineal, f_r , para así conseguir los diferentes tiempos de maquinado establecidos, T_m , relacionados a la longitud torneada, L . A continuación se muestra un calculo tipo...véase el anexo K...

De la ecuación 1, para una velocidad de corte de 250 m/min y un diámetro de 100 mm, se tiene una velocidad de rotación del husillo de:

$$N = \frac{V_c * 1000}{\pi * D_0} = \frac{250 * 1000}{\pi * 100} = 796 \text{ rpm}$$

De la ecuación 2, la velocidad de avance lineal, para el avance de 0,25 mm/rev es:

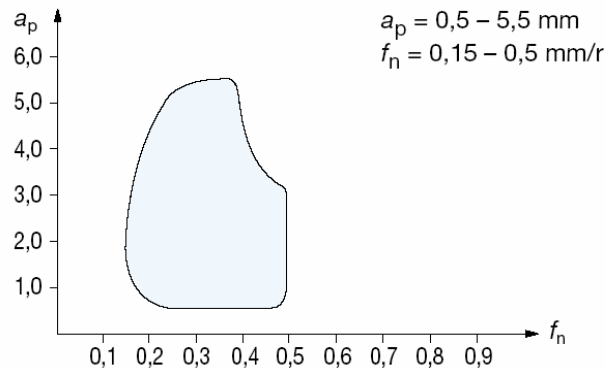
$$f_r = N f = 796 * 0.25 = 198,94 \text{ mm / min}$$

De la ecuación 4, el tiempo de maquinado para una pasada, es decir, longitud de 350 mm:

$$T_m = \frac{L}{f_r} = \frac{350}{198,94} = 1.76 \text{ min}$$

6.4.4 **Avances y profundidades de corte.** Se escogen estos parámetros según recomendación dada por Sandvik, para el inserto CNMG 120408 PM 4025, como se ilustra en la figura 39.

Figura 39. Área de trabajo para el inserto CNMG 120408 PM 4025



Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Sandvik Coromant [en línea].

6.5 CRITERIO DE VIDA DE HERRAMIENTA Y MEDICIONES DE DESGASTE

6.5.1 **Criterio de vida de herramienta.** El tipo de desgaste seleccionado para determinar el fin de vida de herramienta es el desgaste del flanco. El

criterio usado es el ancho medio de la banda de desgaste del flanco, VB_B , con un valor de 0,3 mm, sin embargo con base en los resultados y el análisis microscópico efectuado a los insertos, existe un fuerte indicativo que el desgaste $VB_B=0,19$ mm ya representa un valor crítico, pues a partir de ahí, se pierde la capa de micro revestimiento del inserto, y su substrato no soporta las condiciones de mecanizado, desgastándose rápidamente.

6.5.2 Mediciones de desgaste. Para el propósito de las mediciones del desgaste, se estimó la longitud del filo de corte desgastado, b , a partir de la profundidad de corte, a_p , y el ángulo de posición del filo de corte, K_r :

$$b = \frac{a_p}{\text{sen}(K_r)} = \frac{2,5}{\text{sen}(95^\circ)} = 2,51 \text{ mm}$$

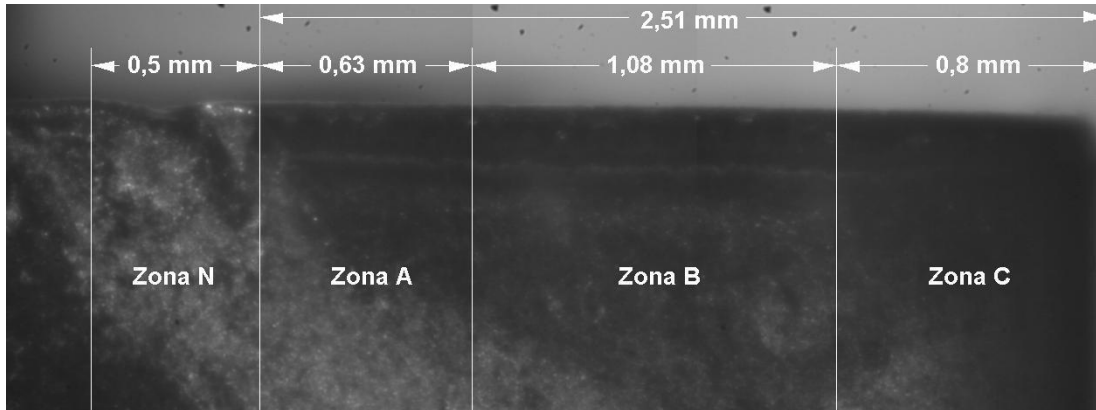
El filo de corte principal se dividió en cuatro zonas, véase la figura 40.

- Zona C: es la parte curvada del borde de corte en la punta de la herramienta, y corresponde a una longitud de 0,8 mm de b .
- Zona A: es un cuarto de la longitud del filo de corte desgastado b más distante de la punta de la herramienta, y tiene una longitud de 0,63 mm.
- Zona B: es la parte recta del filo de corte entre la zona C y la zona A, y corresponde a 1,08 mm.
- Zona N: esta después de la longitud de desgaste b y equivale a 0,5 mm.

El ancho de la banda de desgaste del flanco se midió desde la posición original del filo de corte principal.

No se observaron partículas de material de trabajo adheridas al flanco del filo de corte de la herramienta.

Figura 40. Zonas del filo de corte principal del inserto



Fuente: Los autores.

Tabla 23. Medidas del ancho medio de desgaste del flanco VB_B

Vc [m/min]	T [min]	VB_B [μm)]
250	2	No se determinó*
250	4	137
250	8	140
250	12,5	147
250	16	149
250	20	159
250	25	161
250	31,5	No se determinó*
250	40	178
250	42,5	182
250	45	187
250	47,5	191
315	2	85
315	4	105
315	8	132
315	12,5	147
315	16	173
315	20	193
315	22,4	211
315	23,6	No se determinó*
400	2	127
400	4	162
400	5,3	191

* Estos valores de desgaste VB_B no se determinaron, debido a la baja calidad de las imágenes adquiridas para realizar el procesamiento digital.

Fuente: Los autores.

En la tabla 23 se indica el resultado de las mediciones del ancho medio del desgaste de flanco del inserto de corte, a partir de las imágenes tomadas en el sistema óptico y su posterior procesamiento en el algoritmo implementado en Matlab 7.0 ...véase el numeral 4.3...

6.6 EQUIPOS

6.6.1 Máquina herramienta. El ensayo se llevó a cabo en el centro de torneado marca Leadwell modelo T6, mostrado en la figura 41, ubicado en el Laboratorio de Manufactura Flexible de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS, máquina herramienta idónea para la realización del ensayo de vida del filo, ya que no presenta condiciones que puedan influir en el desgaste de la herramienta de corte, además de la seguridad ofrecida para el operario durante el maquinado.

Se realizaron sucesivos torneados externos a la pieza de trabajo fijando las condiciones de corte establecidas, por medio de un programa de control numérico en lenguaje G...véase el anexo M...

6.6.2 Otros equipos de medición. Los equipos destinados a la medición, en el ensayo, consistieron en cronómetro marca Invicta ultimate para la verificación del proceso de duración del maquinado; calibrador marca Mitutoyo, modelo CD- 15CP, para la comprobación de las dimensiones de la pieza de trabajo; micrómetro marca Micro-control, para el desplazamiento bidimensional de la platina soporte del inserto de corte en el sistema óptico; y durómetro, marca Clark, para la medición de la dureza del material de la pieza de trabajo.

Figura 41. Centro de torneado marca Leadwell modelo T6



Fuente: Los autores

6.7 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Se definieron las combinaciones de condiciones de mecanizado...véase el numeral 6.4... el material de las piezas de trabajo como acero 1045...véase el

numeral 6.1... el material y la geometría del inserto... véase el numeral 6.2... y se hizo la selección del criterio de fin de vida... véase el numeral 6.5...

A partir de la estimación de duración del filo del inserto para cada una de las velocidades de corte...véase el numeral 6.1.11... se seleccionaron un cierto número de mediciones de desgaste a ciertos intervalos de tiempo, sin embargo esto varió de acuerdo a las observaciones y mediciones realizadas durante el ensayo. Llevando a cabo un aumento de los intervalos de tiempo, haciéndolos más cortos, al suponer la cercanía de la falla del inserto por el cambio del tipo de viruta producida, y así lograr mayor número de mediciones. Los parámetros de experimentación se indican en la tabla 24.

Los intervalos de tiempo, mencionados en el párrafo anterior, se eligen de acuerdo a la serie geométrica de números normalizados... véase la tabla 12...

Tabla 24. Parámetros de experimentación del ensayo para el inserto CNMG 120408 PM 4025

Filo	Velocidad [m/min.]	Tiempos a los que se realizó medición [min.]	No. De mediciones de desgaste
A	250	2- 4- 8- 12,5- 16- 20- 25- 31,5- 40- 42,5- 45- 47,5	12
B	315	2- 4- 8- 12,5- 16- 20- 22,4- 23,6	8
C	400	2- 4- 5,3	3

Fuente: Los autores

El ensayo se dividió en dos grupos de tareas: las de mecanizado y las de metrología y control del ensayo.

Las tareas de mecanizado consistieron en la programación del centro de torneado, montaje y desmontaje de la pieza de trabajo a través de mordazas y contrapunto, y la realización del maquinado.

Las tareas relacionadas a la metrología y control, estuvieron formadas por las mediciones a las piezas de trabajo, cálculos de las longitudes de corte para los tiempos establecidos, adecuación del sistema óptico, adquisición de imágenes del flanco principal del inserto, y medición del desgaste de flanco presentado.

El procedimiento del ensayo para determinar la vida de inserto CNMG 120408 PM 4025 en operación de torneado, fue realizado de la siguiente forma:

- Se adecuó el sistema óptico formado por estéreo microscopio, cámara, iluminación, computador, sistema de desplazamiento y fijación del inserto ...véase el numeral 4.3.1...
- Se realizó el orificio central de diámetro 8 mm, en forma de cono de 120° para la ubicación del contrapunto sobre cada pieza de trabajo, en un torno convencional propiedad del taller de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
- Se identificaron los filos de los insertos CNMG 120408 PM 4025 marca Sandvik, para cada una de las velocidades de corte, además del usado para el mecanizado de limpieza, a través de la ubicación de la marcación de calidad que trae el inserto de fábrica. Se utilizaron dos insertos, tomándose de cada uno dos filos de la misma cara. Además cada pastilla se colocó en una bolsa independiente etiquetada con las velocidades de corte de los filos, como se ilustra en la figura 42.
- Se verificó el estado del filo de corte antes del inicio de cada prueba, una para cada velocidad de corte, mediante la adquisición de su imagen en el

sistema óptico, lo cual servirá de referencia para las posteriores mediciones de desgaste del flanco, debido a que se hacen a partir del filo original de corte.

Figura 42. Identificación de los filos de los insertos



Fuente: Los autores.

- Se realizó el montaje del portaherramientas DCLNL 2020K 12 en la torreta del centro de torneado, para después montar la pastilla sobre éste. Véase la figura 43.

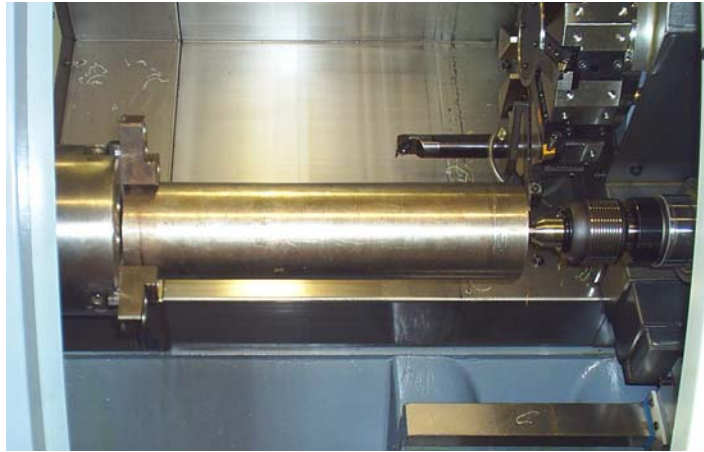
Figura 43. Montaje del inserto y del portaherramientas



Fuente: Los autores.

- Se efectuó el montaje de la pieza de trabajo entre las mordazas, con una distancia de sujeción de 30 mm, y el contrapunto. El montaje se muestra en la figura 44.

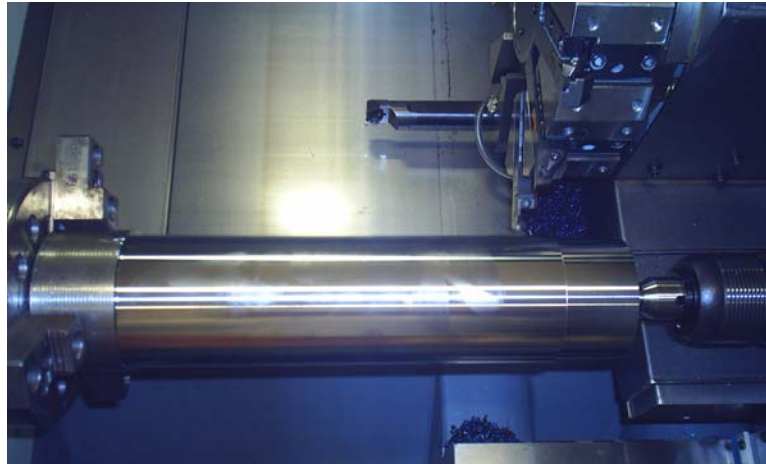
Figura 44. Montaje de la pieza de trabajo



Fuente: Los autores.

- Se efectúa un mecanizado de limpieza, a partir de un diámetro inicial de 101,6 mm hasta un diámetro final de 100 mm, a lo largo de una longitud de 350 mm; a velocidad del husillo de 796 rpm y avance de 0,25 mm/rev.
- Se introduce el programa al centro de torneado con las condiciones de corte para la primera prueba, velocidad de corte de 250 m/min, avance de 0,25 mm/rev y profundidad de 2,5 mm, para cierta longitud de torneado relacionada con el tiempo de duración...véase el anexo L... Se realiza el mecanizado para estas condiciones como se ilustra en la figura 45.
- Se limpia el inserto empleando un chorro de aire comprimido, se espera a que disminuya la temperatura del inserto, se desmonta del portaherramientas y se vuelve a limpiar con el chorro de aire.
- Se traslada el inserto al Laboratorio de óptica y tratamiento de señales de la Escuela de Física.

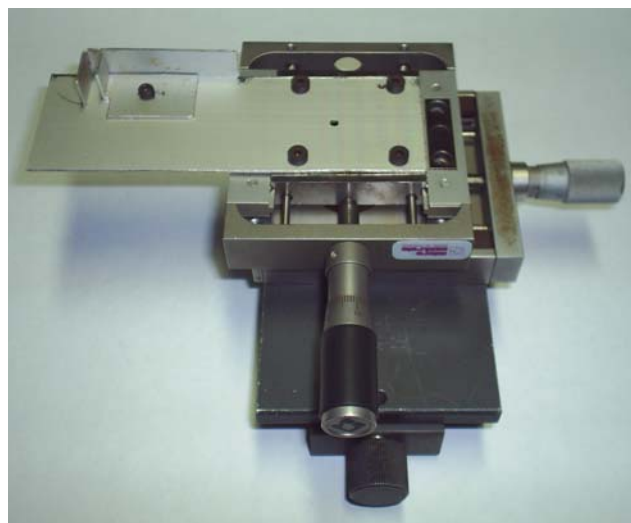
Figura 45. Mecanizado de la pieza de trabajo



Fuente: Los autores.

- Se realiza el montaje del inserto en la platina soporte, diseñada y construida de forma que permita que la pastilla conserve la misma posición, al retirarse e instalarse sucesivas veces. Véase la figura 46.
- Se lleva a cabo la adquisición de la imagen de desgaste del flanco presentado en el filo de corte principal.

Figura 46. Dispositivo de sujeción y desplazamiento del inserto



Fuente: Los autores.

- Se desmonta el inserto de la platina soporte.
- Se traslada el inserto al Laboratorio de manufactura flexible.
- Se realiza el montaje del inserto en el portaherramientas, realizándose una limpieza previa del asiento de la pastilla con el chorro de aire, para garantizar su adecuada fijación.
- Se continúa con el mecanizado para el intervalo de tiempo de la siguiente medición de desgaste, hasta alcanzar el criterio de desgaste establecido. Véase la tabla 24.
- Se realiza el respectivo registro de los datos de la prueba para la velocidad de corte de 250 m/min.
- Se repite el anterior procedimiento para las velocidades restantes mostradas en la tabla 24.

En los formatos del ensayo se registra la información requerida por ellos, donde cada hoja de registro de datos es exclusiva para un filo de herramienta y una combinación de condiciones de mecanizado.

Se llevó una bitácora de ensayo, efectuada durante su realización, donde se consignó las observaciones y eventualidades que aportarán al posterior análisis de los datos y resultados.

6.8 REGISTRO E INFORME DE LOS RESULTADOS

6.8.1 Ensayo de vida de herramienta. El ensayo para determinar la vida del inserto Sandvik CNMG 120408 PM 4025 bajo criterio de desgaste del flanco en el proceso de mecanizado medio de acero ASTM 1045, se llevó a cabo cumpliendo con todas las especificaciones planteadas en el capítulo 5.

Los formatos con los registros y los resultados obtenidos durante el ensayo se enseñan a continuación.

6.8.2 Formatos y diagramas. Se realizó la caracterización del material de la pieza de trabajo en la tabla 25, considerando su proceso de obtención, tratamiento térmico, composición química, y metalografía, factores del material del trabajo que influyen en la duración de la herramienta de corte.

El montaje de la pieza de trabajo, las características de la máquina herramienta, del inserto y fluido de corte, se registraron en la tabla 26, la cual describe: forma de fijación de la pieza de trabajo, donde se establece sus dimensiones originales al inicio del ensayo, así como la sujeción usada para el desarrollo de éste; las principales especificaciones técnicas de la máquina herramienta que permiten determinar el estado del equipo para la realización de las pruebas; el tipo de herramienta de corte usado para el mecanizado, que referencia el grupo de aplicación del tipo de material que mecaniza, geometría y montaje; y el uso de fluido de corte, su tipo y las condiciones a que se proporciona en caso emplearse.

Se registraron las mediciones de desgaste del flanco del inserto Sandvik CNMG 120408 PM 4025, a cada tiempo de mecanizado seleccionado de acuerdo a la serie geométrica de números normalizados, para cada una de las velocidades de corte, graficando las respectivas curvas de desgaste contra tiempo, que permiten observar su comportamiento y su tendencia, lo cual se observa en la tabla 27, tabla 28 y tabla 29. En éstas, se muestra en conjunto el desgaste de flanco y el desgaste de cráter en caso de hacerse uso de un criterio combinado, o en su defecto elegir el predominante que se presente; se registra la forma de la viruta, que es un indicativo de la duración de la herramienta

cuando el borde pierde su capacidad del control de las virutas ...véase en el anexo O la caracterización de la viruta... Se diligencia un formato por cada velocidad de corte empleada en el ensayo.

Después, para el criterio de desgaste del flanco escogido 0,19 mm, se toman los tiempos de vida de herramienta para cada una de las velocidades de prueba, trazándose en un diagrama bi-logarítmico la curva de vida de herramienta del inserto Sandvik CNMG 120408 PM 4025, como se indica en la tabla 31.

Los valores de k y C de la ecuación reducida de Taylor para vida de herramienta ...véase la ecuación 7 en el capítulo 3... se determinan por el método de evaluación por análisis de regresión, como se muestra en la tabla 30, en la cual se organiza por medio de columnas los cálculos necesarios para determinar los coeficientes de dicha ecuación.


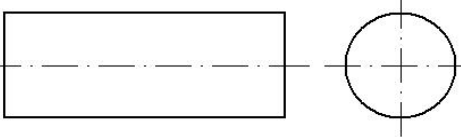

6.9 EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE VIDA DE HERRAMIENTA

Una vez se obtienen los valores del ancho medio de desgaste del flanco VB_B se procede a determinar la ecuación de la curva resultante de desgaste contra tiempo, para luego calcular el tiempo correspondiente al criterio de fin de vida seleccionado.

Se trabajó el software CurveExpert versión 1.3 para calcular los tiempos de fin de vida del inserto para cada una de las velocidades de corte ...véase el anexo P... los resultados se registran en la columna 3 de la tabla 30.



En la figura 47 se muestran las tres curvas de desgaste contra tiempo de mecanizado para el criterio VB_B de 0,19 mm.

Tabla 25. Registro de características de la pieza de trabajo

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PROCESO DE TORNEADO			DD	MM	AA		
		Ordenado por	Ariza y Sánchez		Fecha	07	12	05	
		Ejecutado por	Ariza y Sánchez		Pág. No.	01	De	07	
				Ensayo No.	01				
Objetivo del ensayo Determinar la ecuación reducida de Taylor									
PIEZA DE TRABAJO									
CARACTERÍSTICAS									
Material Acero de medio carbono									
Designación ASTM 1045				Norma ASTM					
Fabricante Rampra Steel Industries Private Ltda				País India					
Fecha de suministro 02 de diciembre de 2005				Cantidad 127 kg					
CROQUIS DE LA PIEZA			FORMA DIMENSIONES		<input checked="" type="checkbox"/> Barra maciza <input type="checkbox"/> Tubo <input type="checkbox"/> Otra				
					Dám. Ext. 101,6 mm Dám. Int. _____ mm Longitud 400 mm				
FORMA DE OBTENCIÓN		Desconocido			Conformado en frío				
		<input checked="" type="checkbox"/> Fundido			Conformado en caliente				
		<input checked="" type="checkbox"/> Laminado			Extrusado				
		<input type="checkbox"/> Forjado			Otro				
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO		Desconocido			Transform. Bainítica				
		<input checked="" type="checkbox"/> Sin tratam. térmico			Recocido				
		<input type="checkbox"/> Normalizado			Bonificado				
		<input type="checkbox"/> Templado			Otro				
COMPOSICIÓN QUÍMICA %		C	Si	Mn	P	S			
De norma		0,43-0,5	0,20-0,35	0,60-0,90	0,040	0,050			
De fabricante		0,430	0,240	0,80	0,032	0,031			
De ensayo									
MICROFOTOGRAFÍA Amplif. 100 x				Desconocido			Forma		
MICROESTRUCTURA COMPONENTES				<input checked="" type="checkbox"/> Ferrita			46	%	Equiaxial
				<input type="checkbox"/> Cementita			_____	%	
				<input checked="" type="checkbox"/> Perlita			54	%	Laminar
				<input type="checkbox"/> Bainita			_____	%	
				<input type="checkbox"/> Austenita			_____	%	
				<input type="checkbox"/> Martensita			_____	%	
				<input type="checkbox"/> Grafito			_____	%	
<input type="checkbox"/> Otra			_____	%					
INCLUS		Desconocidas			_____	Tipo			
		Sulfuro de Mn			_____	%	1,5		
		Óxidos			_____	%			
PROPIEDADES MECANICAS									
Dureza		Desconocida			<input checked="" type="checkbox"/> Rockwell A 52 HRA				
		Vickers _____ HV			<input type="checkbox"/> Rockwell B _____ HRB				
		Brinell _____ HB			<input type="checkbox"/> Rockwell C _____ HRC				
Esfuerzo último de tracción		Esfuerzo a la fluencia		Porcentaje de elongación					
632,53 MPa		372,65 MPa		24 %					


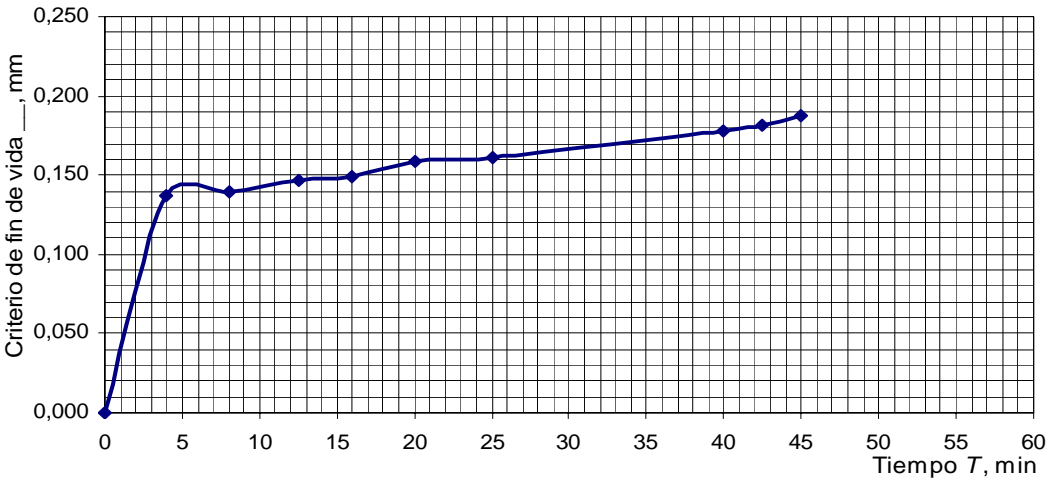
Fuente: Los autores.

Tabla 26. Registro del montaje de la pieza de trabajo, máquina herramienta, herramienta de corte y fluido de corte

 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PROCESO DE TORNEADO		DD MM AA
	Ordenado por	Ariza y Sánchez	Fecha <u>07</u> <u>12</u> <u>05</u>
	Ejecutado por	Ariza y Sánchez	Pág. No. <u>02</u> De <u>07</u> Ensayo No. <u>01</u>
PIEZA DE TRABAJO			
FORMA DE FIJACIÓN			
CROQUIS DE LA PIEZA A MECANIZAR			
	Longitud total- l_{tot} 400 mm Long. de fijación- l_{fij} 30 mm Long. no torneada- l_{ntn} 20 mm Long. a tornear- l_{tn} 350 mm Longitud libre- l_{lb} 370 mm Diám. max de pieza- d_{max} 101,6 mm Diám. max a tornear- d_{mtn} 100 mm Diám. min a tornear- d_{min} 35 mm Diám. de fijación- d_{fij} 101,6 mm		
TIPO DE FIJACIÓN	<input checked="" type="checkbox"/> Plato de 3 mordazas <input type="checkbox"/> Plato de 4 mordazas <input type="checkbox"/> Perro de arrastre	<input type="checkbox"/> Luneta <input checked="" type="checkbox"/> Contrapunto <input type="checkbox"/> Otro _____	
PRESIÓN DE FIJACIÓN	<input type="checkbox"/> Manual <input checked="" type="checkbox"/> Presión de mordazas 2758 kPa	<input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Presión de contrapunto 2068 kPa	
MÁQUINA HERRAMIENTA			
Tipo	Centro de torneado	Modelo	T 6
Fabricante	Leadwell CNC Machines Mfg Corp.	País	Taiwan
Fecha de fabricación	Abril de 2003	Horas de uso	31
Potencia de salida	11 kW	Máximo diámetro torneable	210 mm
Velocidad máx. de husillo	4500 rpm	Máxima longitud torneable	420 mm
		Sensibilidad de la velocidad	± 1 rpm
		Montaje (Descripción)	Por su propio peso
HERRAMIENTA DE CORTE			
Tipo de herramienta	Enteriza	<input checked="" type="checkbox"/> Inserto	
Material	Metal duro recubierto	Grupo de aplicación	P25
Designación	CNMG 120408 PM 4025	Norma	ISO 1832:1991
Fabricante	Sandvik Coromant	País	Suecia
Fecha de suministro	02 de diciembre de 2005	Cantidad	2 unidades
Designación portaherramienta	DCLNL 2020K 12	Norma	ISO 5608:1995
GEOMETRÍA DE MONTAJE DE LA HERRAMIENTA	γ -1 °	λ_s -6 °	ϵ_r 80 °
	α 6 °	K_r 95 °	r_ϵ 0,8 mm
FLUIDO DE CORTE			
Se usa fluido de corte	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Tipo	Designación
Presión	kPa	Temperatura	K
		Caudal	l/min


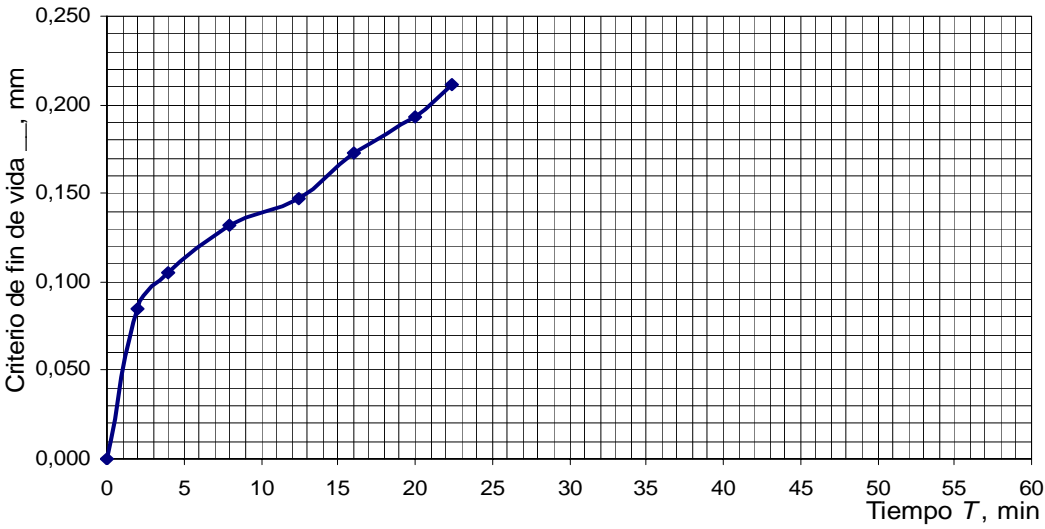
Fuente: Los autores.

Tabla 27. Registro de mediciones de desgaste a 250 m/min

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PROCESO DE TORNEADO		DD	MM	AA	
		Ordenado por	Ariza y Sánchez	Fecha	07	12	05
		Ejecutado por	Ariza y Sánchez	Pág. No.	03	De	07
				Prueba No.	01/03		
CONDICIONES DE CORTE							
Operación		Inserto	Filo	Rompeviruta		SI	
Cilindrado		No. 1	No. A			NO	
Velocidad de corte		Avance		Profundidad de corte			
250 m/min		0,25 mm/rev		2,5 mm			
DATOS DEL ENSAYO DE DESGASTE							
Medición No.	Tiempo T_m min	Desg. de flanco		Desg. de cráter		Forma de viruta	Observaciones
		VB_B mm	$VB_B máx$ mm	KT mm	KM mm		
1	0	0,000					
2	2					v.a.s	No se determinó
3	4	0,137				v.a.s	
4	8	0,140				v.a.s	
5	12,5	0,147				v.a.s	
6	16	0,149				v.a.s	
7	20	0,159				v.a.s	
8	25	0,161				v.a.s	
9	31,5					v.a.s	No se determinó
10	40	0,178				v.a.s	
11	42,5	0,182				v.a.s	
12	45	0,187				v.a.s	
13	47,5	0,191				v.a.s	
v.a.s = viruta en arco suelta							
CRITERIO DE FIN DE VIDA DE HERRAMIENTA		VB_B	0,19 mm	KT	_____ mm		
		$VB_B máx$	_____ mm	KM	_____ mm		
CURVA DE DESGASTE CONTRA TIEMPO DE MECANIZADO							
							


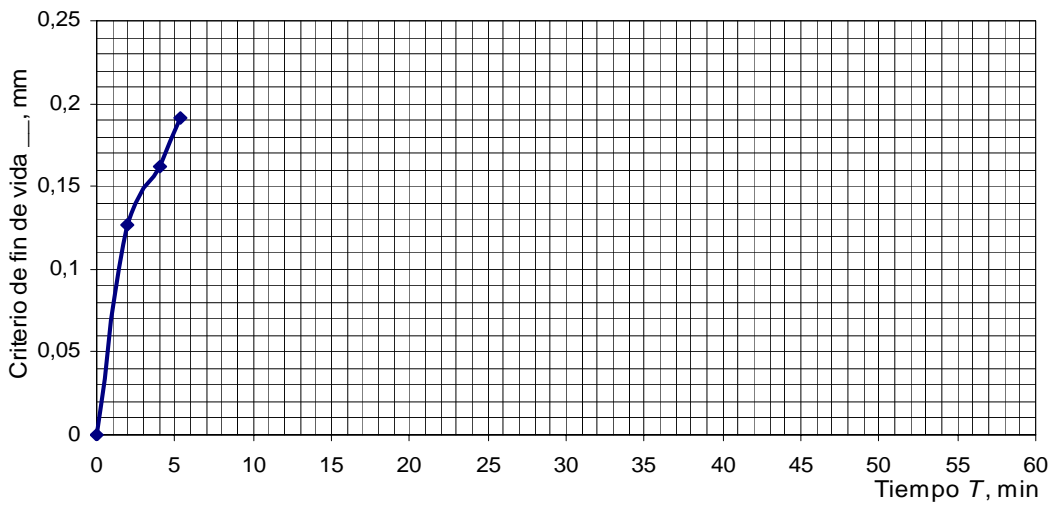
Fuente: Los autores.

Tabla 28. Registro de mediciones de desgaste a 315 m/min

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PROCESO DE TORNEADO		DD MM AA			
		Ordenado por	Ariza y Sánchez	Fecha <u>07</u> <u>12</u> <u>05</u>			
		Ejecutado por	Ariza y Sánchez	Pág. No. <u>04</u> De <u>07</u> Prueba No. <u>02/03</u>			
CONDICIONES DE CORTE							
Operación	Cilindrado	Inserto No. 2	Filo No. B	Rompeviruta	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
Velocidad de corte	315 m/min	Avance	0,25 mm/rev	Profundidad de corte	2,5 mm		
DATOS DEL ENSAYO DE DESGASTE							
Medición No.	Tiempo T_m min	Desg. de flanco		Desg. de cráter		Forma de viruta	Observaciones
		VB_B mm	$VB_B máx$ mm	KT mm	KM mm		
1	0	0,000					
2	2	0,085				v.a.s	
3	4	0,105				v.a.s	
4	8	0,132				v.a.s	
5	12,5	0,147				v.a.s	
6	16	0,173				v.a.s	
7	20	0,193				v.a.s	
8	22,4	0,211				v.a.s	
9	23,6					v.a.s	No se determinó
10							
11							
12							
v.a.s = viruta en arco suelta							
CRITERIO DE FIN DE VIDA DE HERRAMIENTA		VB_B	0,19 mm	KT	_____ mm		
		$VB_B máx$	_____ mm	KM	_____ mm		
CURVA DE DESGASTE CONTRA TIEMPO DE MECANIZADO							
							


Fuente: Los autores.

Tabla 29. Registro de mediciones de desgaste a 400 m/min

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PROCESO DE TORNEADO		DD	MM	AA	
		Ordenado por	Ariza y Sánchez	Fecha	07	12	05
		Ejecutado por	Ariza y Sánchez	Pág. No.	05	De	07
				Prueba No.	03/03		
CONDICIONES DE CORTE							
Operación		Inserto	Filo	Rompeviruta		SI	X
Cilindrado		No. 2	No. C			NO	
Velocidad de corte		Avance		Profundidad de corte			
400 m/min		0,25 mm/rev		2,5 mm			
DATOS DEL ENSAYO DE DESGASTE							
Medición No.	Tiempo T_m min	Desg. de flanco		Desg. de cráter		Forma de viruta	Observaciones
		VB_B mm	$VB_B máx$ mm	KT mm	KM mm		
1	0	0					
2	2	0,127				v.a.s	
3	4	0,162				v.a.s	
4	5,3	0,191				v.a.s	
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
v.a.s = viruta en arco suelta							
CRITERIO DE FIN DE VIDA DE HERRAMIENTA		VB_B	0,19 mm	KT	_____ mm		
		$VB_B máx$	_____ mm	KM	_____ mm		
CURVA DE DESGASTE CONTRA TIEMPO DE MECANIZADO							
							


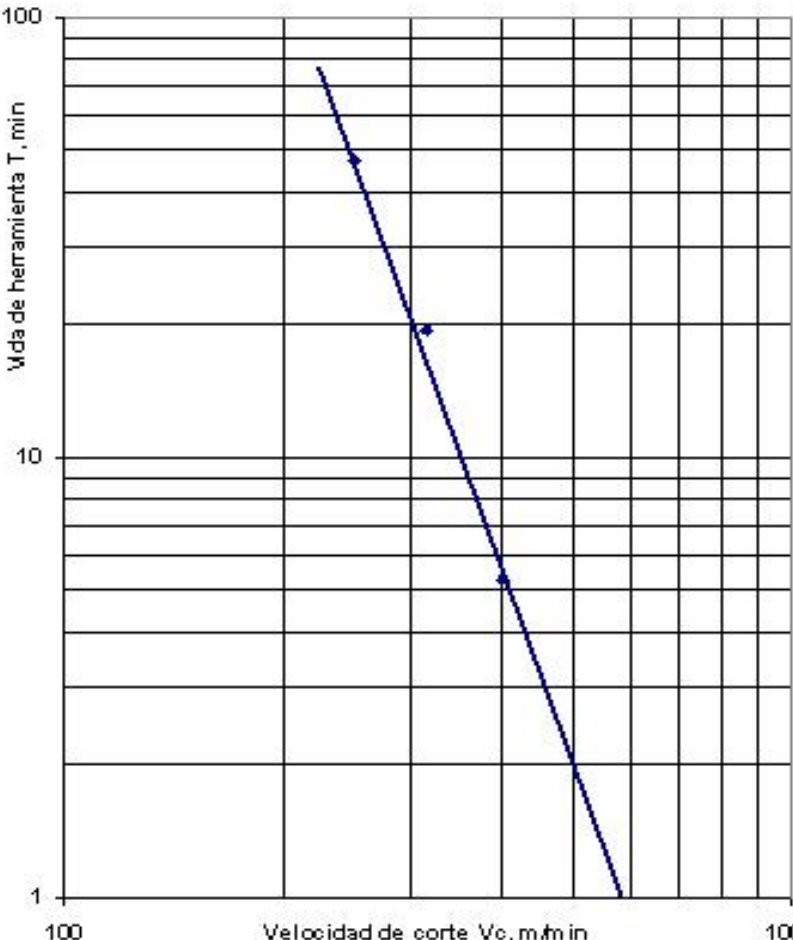
Fuente: Los autores.

Tabla 30. Registro del cálculo de C y k para la ecuación de Taylor de vida de herramienta

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PROCESO DE TORNEADO		DD MM AA			
		Ordenado por	Ariza y Sánchez	Fecha <u>07</u> <u>12</u> <u>05</u>			
		Ejecutado por	Ariza y Sánchez	Pág. No. <u>06</u> De <u>07</u>			
				Ensayo No. <u>01</u>			
CÁLCULOS DE C Y k PARA LA ECUACIÓN DE VIDA DE HERRAMIENTA							
1	2	3	4	5	6	7	8
Prueba No.	V_c m/min	T min	$x = \log V_c$	$y = \log T$	xy	x^2	y^2
1	250	47,07	2,3979	1,6727	4,0111	5,7501	2,7981
2	315	19,41	2,4983	1,2880	3,2179	6,2416	1,6590
3	400	5,27	2,6021	0,7218	1,8782	6,7707	0,5210
4							
5							
			$\sum x =$ 7,4983	$\sum y =$ 3,6826	$\sum xy =$ 9,1072	$\sum x^2 =$ 18,7624	$\sum y^2 =$ 4,9781
			$(\sum x)^2 =$ 56,2247	$\sum x \cdot \sum y =$ 27,6131			
			$\frac{(\sum x)^2}{n} =$ 18,7416	$\frac{(\sum x \cdot \sum y)}{n} =$ 9,2044			
Número de pruebas $n = 3$ $\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = 2,4994$ $a = \bar{y} = \frac{\sum y}{n} = 1,2275$ $k = \frac{\sum xy - (\sum x \cdot \sum y)/n}{\sum x^2 - (\sum x)^2/n} = -4,6632$ $k = -4,6632$ $-1/k = 0,2144$ $\log C = \bar{x} - \bar{y}/k = 2,7627$ $C = 578,9953 \quad m / \text{min}$							
ECUACIÓN DE TAYLOR PARA VIDA DE HERRAMIENTA							
$V_c \cdot T^{-1/k} = C \quad \Rightarrow \quad V_c \cdot T^{0,2144} = 579$							

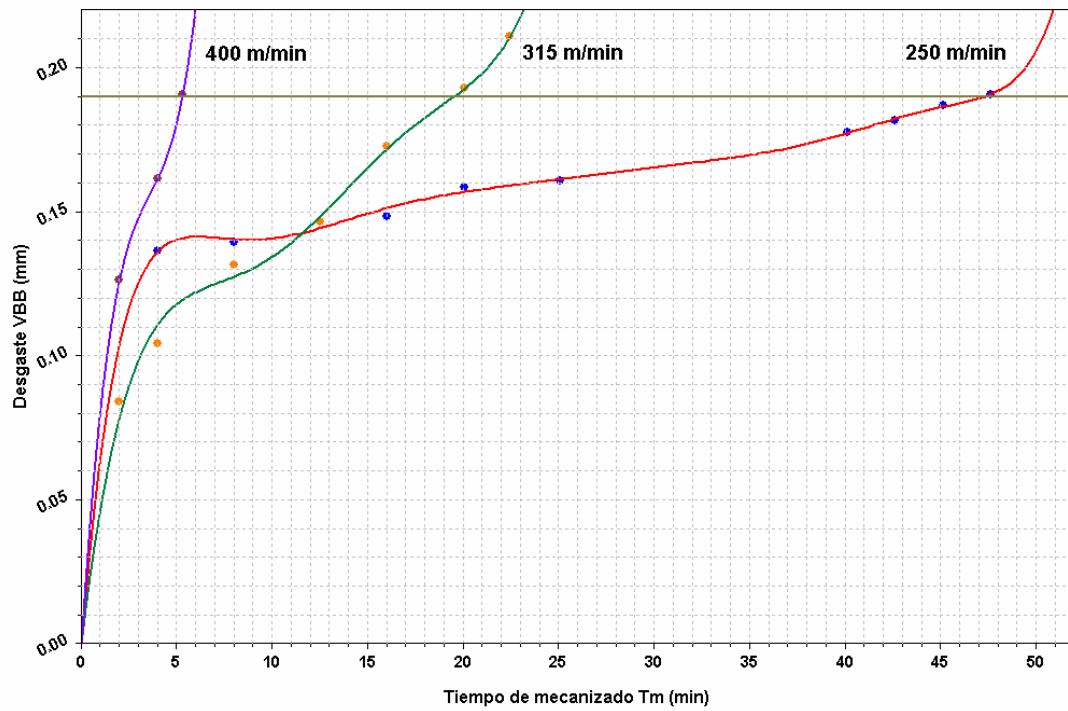
Fuente: Los autores.

Tabla 31. Registro de resultados de vida de herramienta

	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PROCESO DE TORNEADO		DD	MM	AA																
		Ordenado por	Ariza y Sánchez	Fecha	07	12	05															
		Ejecutado por	Ariza y Sánchez	Pág. No.	07	De	07															
				Ensayo No.	01																	
PARÁMETROS DEL ENSAYO																						
Material de la pieza		Material de la herramienta		Designación de herramienta																		
Acero ASTM 1045		Metal duro recubierto		CNMG 120408 PM 4025																		
Fluido de corte		Avance		Profundidad de corte																		
NO		0,25 mm/rev		2,5 mm																		
GEOMETRÍA DE MONTAJE DE LA HERRAMIENTA		γ	-1 °	λ_s	-6 °	ϵ_r	80 °															
		α	6 °	K_r	95 °	r_ϵ	0,8 mm															
DIAGRAMA DE VIDA DE HERRAMIENTA																						
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Hoja de ensayo No.</th> <th>Criterio de vida de herramienta</th> <th>Velocidad de corte Vc, m/min</th> <th>Tiempo de vida T, min</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>0,19</td> <td>250</td> <td>47,07</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0,19</td> <td>315</td> <td>19,41</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0,19</td> <td>400</td> <td>5,27</td> </tr> </tbody> </table>			Hoja de ensayo No.	Criterio de vida de herramienta	Velocidad de corte Vc, m/min	Tiempo de vida T, min	3	0,19	250	47,07	4	0,19	315	19,41	5	0,19	400	5,27
Hoja de ensayo No.	Criterio de vida de herramienta	Velocidad de corte Vc, m/min	Tiempo de vida T, min																			
3	0,19	250	47,07																			
4	0,19	315	19,41																			
5	0,19	400	5,27																			
OBSERVACIONES																						

Fuente: Los autores.

Figura 47. Desarrollo del desgaste VB_B para el ensayo



Fuente: Los autores.

La ecuación de Taylor calculada para los tiempos de vida obtenidos es $V_C T^{0,2144} = 579$. Los parámetros más significativos del ensayo y la curva de vida de herramienta que representa la ecuación anterior se enseñan en la tabla 31.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo principal del presente trabajo se cumplió ya que se obtuvo la ecuación reducida de Taylor $V_c T^{0,2144} = 579$, para vida de herramienta bajo criterio de medición del desgaste de flanco $VB_B=0,19$ mm, para una combinación de acero ASTM 1045 como material de pieza de trabajo e inserto marca SANDVIK Coromant CNMG 120408 PM 4025 en operación de cilindrado con velocidad de avance de 0,25 mm/rev y profundidad de corte de 2,5 mm.

En un principio se seleccionó como valor del criterio de fin de vida de herramienta para el ancho medio de la banda de desgaste del flanco, $VB_B=0,3$ mm, sin embargo con base en los resultados y el análisis microscópico efectuado a los insertos, existe un fuerte indicativo que el desgaste $VB_B=0,19$ mm ya representa un valor crítico, pues a partir de ahí, se pierde la capa de micro revestimiento del inserto, y su substrato no soporta las condiciones de mecanizado, desgastándose rápidamente.

Se comprobó la tendencia característica del comportamiento por regiones de las curvas de desgaste del flanco contra tiempo de mecanizado. Sin embargo, en los primeros 11 minutos de mecanizado la velocidad de 250 m/min presenta un desgaste mayor que la de 315 m/min, debido al comportamiento aleatorio que puede involucrar las repetidas y bruscas entradas del inserto de corte en la pieza de trabajo.

Se propone y desarrolla una metodología de experimentación que incluyó un diseño de formatos para la toma de datos primarios e informaciones más significativas, que permiten establecer la caracterización del ensayo de vida de herramienta, como son pieza de trabajo, herramienta de corte, condiciones de mecanizado, criterio de duración de herramienta, además permiten el análisis de los datos registrados y el reporte de resultados.

Adicionalmente se utiliza el software Matlab 7.0, una herramienta muy precisa y actual para el tratamiento digital de imágenes, y equipos de metrología óptica como son: cámara digital con sensor de elementos de estado sólido, tarjeta de adquisición Matrox Meteor y software de adquisición de imágenes Matrox Intellicam, que garantizan resultados con mayor calidad y precisión de $\pm 2,57 \mu m$, equivalente a 1 *pixel*.

Finalmente se deja una base muy sólida para la experimentación en el campo de la tecnología de corte y una metodología para la prestación de servicios sobre uso de herramientas a la industria nacional, basado en normas internacionales como ANSI/ASME B94.55M e ISO 3685: 1993.

Por falta de pericia de los experimentadores en este tipo de ensayos de vida de herramienta, se seleccionaron en algunos casos rangos de tiempos de la serie geométrica de números normalizados demasiado amplios. Se recomienda para futuros ensayos de vida de herramienta tomar intervalos de tiempos más estrechos para velocidades de corte altas, lo cual permitirá observar el desgaste de flanco con mayor confianza.

Se recomienda considerar el contraste entre las diferentes superficies a delimitar, durante la implementación del sistema de iluminación del filo del inserto en el sistema óptico. En este caso, se presentaron dificultades, para la diferenciación entre la región del desgaste y la región adyacente que presentaba una coloración similar debido a las altas temperaturas desarrolladas en el proceso de mecanizado.

Se aconseja que antes de iniciar el mecanizado de la pieza de trabajo, se verifique el programa de máquina en vacío, ya que durante el ensayo se presentó un maquinado a un avance diferente del deseado que obligó a iniciar la toma de datos para esas condiciones.

Para un futuro trabajo se recomienda realizar la medición del desgaste de la herramienta de corte por métodos de reconstrucción tridimensional o interferometría, porque así se pueden reconocer los cambios de profundidad que permitan una mejor identificación del límite de la marca real de desgaste.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR METALS HANDBOOK COMMITTEE. Metals Handbook. 8 ed. Columbus : ASM, 1954. v. 7, 1144 p.

AMERICAN STANDARD METALS HANDBOOK COMMITTEE. Metals Handbook. 9 ed. Columbus : ASM, 1994. v. 16, p. 1-146.

ARMAREGO, E.J.A. and BROWN, R.H. *The Machining of Metals.* Englewood Cliffs : Prentice Hall, 1967. p. 120-151

ARMAREGO E. J. A., VEREZUB, S. and SAMARANAYAKE P. The effect of coatings on the cutting process, friction, forces and predictive cutting models in machining operations [en línea]. Melbourne, Australia. IMechE, 2002. [citado 20 agosto de 2005]. Paper. p. 347 - 356. Disponible en internet: <http://sites.uws.edu.au/vip/samarana/Publication_PhD_2002.pdf>

ARRANZ, Fernando. et al. Correlaciones para ensayos de herramienta y maquinabilidad. En : *Tecnología y Desarrollo* : Revista de ciencia, tecnología y medio ambiente. Vol. 2 (2004).

ARRANZ, Fernando. et al. Comparación de ensayos de vida de herramienta para aceros inoxidables. Madrid : Universidad Alfonso X El Sabio, 2004. 7 p.

BLANPAIN, Eduardo. Teoría y práctica de las herramientas de corte. Barcelona : Gustavo Gili, 1962. 692 p.

BOOTHROYD, Geoffrey and KNIGHT, Winston. Fundamentals of metal machining and machine tools. 2 ed. New York : Marcel Dekker, 1989. 560 p.

CATALOGO ELECTRÓNICO DE HERRAMIENTAS [en línea]. Madison Heights (MI) : Valenite, marzo 2005- [citado 27 septiembre de 2005]. Disponible en Internet: www.valenite.com

CATALOGO ELECTRÓNICO DE HERRAMIENTAS [en línea]. Estocolmo : Sandvik Coromant, marzo 2005- [citado 27 septiembre de 2005]. Disponible en Internet: www.sandvik.com

CHILES, Vick et al. Principios de ingeniería de manufactura. México : CECSA, 2000. 646 p.

DA SILVA, M.B. and WALLBANK J. Surface finish and lubrication at low cutting speeds. En : Materials Science and Technology. Vol. 15 (feb. 1999); p. 221-225.

DE CHIFFRE, L. and BELLUCO W. Correlation of cutting fluid performance in different machining operations [en línea]. Lyngby, Dinamarca. [citado 12 de agosto de 2005]. Resumen. Disponible en internet: <http://www.tempo.ipl.dtu.dk/ipl/upload/publ/22_1.pdf>

GONZÁLEZ, Rafael y WOODS, Richard. Tratamiento digital de imágenes. Wilmintong : Addison-Wesley, 1996. 773 p.

GRAHAM, Don; HUDDLE, Dave y McNAMARA, Dennis. Mecanizar en seco: un ensayo que vale la pena [en línea]. Warren, Estados Unidos. Marzo

2004. [citado 20 de agosto de 2005]. Disponible en internet: <http://www.metalmecanica.com/pragma/documenta/metalmecanica/secciones/MM/ES/MAIN/IN/ESTUDIOS_CASO/doc_30485_HTML.html?idDocumento=30485>

GROOVER, M. Fundamentos de manufactura moderna. México : Prentice Hall, 2001. 1062 p.

GRUPO DE PESQUISA E TREINAMENTO EM COMANDO NUMERICO. Curso de usinagem dos metais. São Leopoldo : Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1988. 100 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá : INCONTEC, 2002. 110 p. (NTC 1075/ 1160/ 1307/ 1308/1486).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZACION. Tool life testing with single-point turning tools. Génova : ISO, 1993. 48 p. : il. (ISO 3685: 1993)

MACHADO, Alisson Rocha et al. An optimization procedure to determine the coefficients of the extended Taylor's equation in machining. En : International Journal of Machine Tools & Manufacture : Design, research and application. Vol. 39 (ene. 1999); p. 17-31.

RUSS, John. The image processing Handbook. 3 ed. Raleigh : CRC Press, 1999. 1652 p.

SANDVIK Coromant. Herramientas para tornear : productos para el mecanizado del metal. Copenhague : Stibo Graphic, 2000. p. A1 -A250

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE. Catalogo Nacional de Acciones de Formación Profesional : Operación de equipos, programación y control del proceso de mecanizado por arranque de viruta. Girón : SENA, 2005. p. 1-14

SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS. Fundamentals of Tool Design. 5 ed. Dearborn : SME, 2003. p. 33-88

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Tool life testing with single-point turning tools. Nueva York : ASME, 1985. 52 p. : il. (ANSI/ ASME B94.55M)

THE MATHWORKS. Matlab : The language of technical computing. Image processing. [Programa de computador en disco]. version 7.0. Natick : The mathworks. Actualizado en mayo de 2004.

ANEXO A. NOMENCLATURA DE LOS INSERTOS DE CORTE

GENERAL TURNING Code key for inserts

A

C N M G **1 2 0 4 0 8**

8 9 - **PF**
12

T 0 1 0 2 0
8 10 11

1 Insert shape	
80° C	55° D
55° K	R
S	T
35° V	80° W

2 Insert clearance angle	
B	C
E	N
P	O Specific description

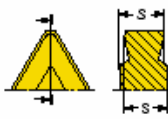
















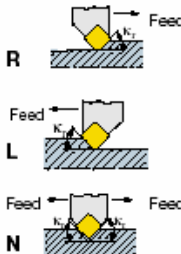
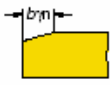

3 Tolerances ± on s and iC/iW		
Class s	iC / iW	
G ±0,13	±0,025	
M ±0,13	±0,05 - ±0,15 ¹⁾	
U ±0,13	±0,08 - ±0,25 ¹⁾	
E ±0,025	±0,25	
¹⁾ Varies depending on the size of iC. See below.		
Inscribed circle iC mm	Tolerance class	
	M	U
3,97		
5,0		
5,56		
6,0 ±0,05	±0,08	
6,35		
8,0		
9,525		
10,0		
12,0	±0,08	±0,13
12,7		
15,875		
16,0	±0,10	±0,18
19,05		
20,0		
25,0	±0,13	±0,25
25,4		
31,75	±0,15	±0,25
32,0		
For positive inserts iC is valid for a sharp corner. See cutting edge condition F. (Picture 8).		

5 Insert size = cutting edge length, l mm									
iC mm	iC inch	C	D	R	S	T	V	W	K
3,97	5,32"			05		08			
5,0				06		09			
5,56	7/32"			06		09			
6,0				06		11	11		
6,35	1/4"	06	07			11	11		
8,0				08		16	16	06	16 ¹⁾
9,525	3/8"	09	11	09	09	16	16	06	16 ¹⁾
10,0				10		12			
12,0				12		22			
12,7	1/2"	12	15	12	12	22	22	08	
15,875	5/8"	16		15	15	27			
16,0				16					
19,05	3/4"	19		19	19	33			
20,0				20					
25,0				25					
25,4	1"	25		25	25				
31,75				31					
32				32					

¹⁾For insert shape K (KNMX, KNUX) only the theoretical cutting edge length is indicated.

4 Insert type	
A	Q
G	R
M	T
N	W
P	
X	Special design



<p>6 Insert thickness, s mm</p>  <table border="0"> <tr><td>01</td><td>s = 1,59</td></tr> <tr><td>T1</td><td>s = 1,98</td></tr> <tr><td>02</td><td>s = 2,38</td></tr> <tr><td>03</td><td>s = 3,18</td></tr> <tr><td>T3</td><td>s = 3,97</td></tr> <tr><td>04</td><td>s = 4,78</td></tr> <tr><td>05</td><td>s = 5,58</td></tr> <tr><td>06</td><td>s = 6,35</td></tr> <tr><td>07</td><td>s = 7,94</td></tr> <tr><td>09</td><td>s = 9,52</td></tr> <tr><td>10</td><td>s = 10,00</td></tr> <tr><td>12</td><td>s = 12,00</td></tr> </table>	01	s = 1,59	T1	s = 1,98	02	s = 2,38	03	s = 3,18	T3	s = 3,97	04	s = 4,78	05	s = 5,58	06	s = 6,35	07	s = 7,94	09	s = 9,52	10	s = 10,00	12	s = 12,00	<p>7 Nose radius, r_c mm</p>  <table border="0"> <tr><td>M0, 00</td><td>r_c = Round insert</td></tr> <tr><td>04</td><td>r_c = 0,4</td></tr> <tr><td>08</td><td>r_c = 0,8</td></tr> <tr><td>12</td><td>r_c = 1,2</td></tr> <tr><td>16</td><td>r_c = 1,6</td></tr> <tr><td>24</td><td>r_c = 2,4</td></tr> </table>	M0, 00	r _c = Round insert	04	r _c = 0,4	08	r _c = 0,8	12	r _c = 1,2	16	r _c = 1,6	24	r _c = 2,4	<p>8 Cutting edge condition</p> <table border="0"> <tr><td>F</td><td></td><td>Sharp cutting edge</td></tr> <tr><td>E</td><td></td><td>ER treated cutting edge</td></tr> <tr><td>T</td><td></td><td>Negative land</td></tr> <tr><td>K</td><td></td><td>Double negative lands</td></tr> <tr><td>S</td><td></td><td>Negative land and ER treated cutting edge</td></tr> </table>	F		Sharp cutting edge	E		ER treated cutting edge	T		Negative land	K		Double negative lands	S		Negative land and ER treated cutting edge
01	s = 1,59																																																				
T1	s = 1,98																																																				
02	s = 2,38																																																				
03	s = 3,18																																																				
T3	s = 3,97																																																				
04	s = 4,78																																																				
05	s = 5,58																																																				
06	s = 6,35																																																				
07	s = 7,94																																																				
09	s = 9,52																																																				
10	s = 10,00																																																				
12	s = 12,00																																																				
M0, 00	r _c = Round insert																																																				
04	r _c = 0,4																																																				
08	r _c = 0,8																																																				
12	r _c = 1,2																																																				
16	r _c = 1,6																																																				
24	r _c = 2,4																																																				
F		Sharp cutting edge																																																			
E		ER treated cutting edge																																																			
T		Negative land																																																			
K		Double negative lands																																																			
S		Negative land and ER treated cutting edge																																																			
<p>9 Hand of tool</p>  <p>R</p> <p>L</p> <p>N</p>	<p>10 Chamfer width, mm</p>  <table border="0"> <tr><td>010</td><td>b_{rn} = 0,10</td></tr> <tr><td>025</td><td>b_{rn} = 0,25</td></tr> <tr><td>070</td><td>b_{rn} = 0,70</td></tr> <tr><td>150</td><td>b_{rn} = 1,50</td></tr> <tr><td>200</td><td>b_{rn} = 2,00</td></tr> </table>	010	b _{rn} = 0,10	025	b _{rn} = 0,25	070	b _{rn} = 0,70	150	b _{rn} = 1,50	200	b _{rn} = 2,00	<p>11 Chamfer angle</p>  <table border="0"> <tr><td>15</td><td>γ_n = 15°</td></tr> <tr><td>20</td><td>γ_n = 20°</td></tr> </table>	15	γ _n = 15°	20	γ _n = 20°																																					
010	b _{rn} = 0,10																																																				
025	b _{rn} = 0,25																																																				
070	b _{rn} = 0,70																																																				
150	b _{rn} = 1,50																																																				
200	b _{rn} = 2,00																																																				
15	γ _n = 15°																																																				
20	γ _n = 20°																																																				
<p>12 Manufacturer's option</p> <p>The ISO code consists of nine symbols including 8 and 9 which are used only when required. In addition the manufacturer may add further two symbols e. g.</p> <p>-WF = Wiper - finishing -PF = ISO P - finishing. -PR = ISO P - roughing.</p> <p>For ceramic and CBN inserts For additional code key information, see page A 79.</p>																																																					



Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Sandvik Coromant [en línea].

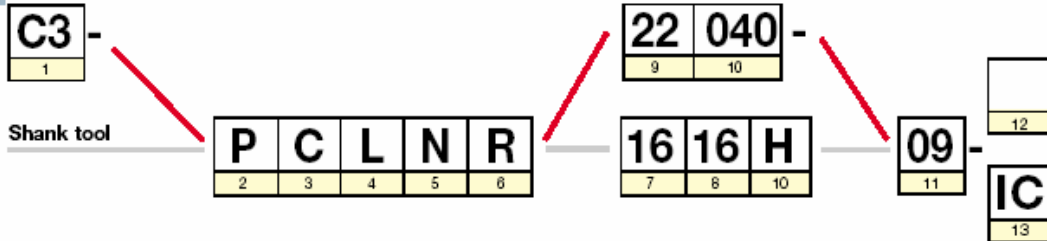
ANEXO B. NOMENCLATURA DE LOS PORTAHERRAMIENTAS

GENERAL TURNING External machining

A

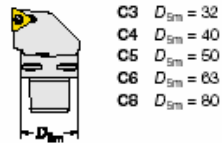
Code key for shank tools and Coromant Capto® cutting units

Coromant Capto®



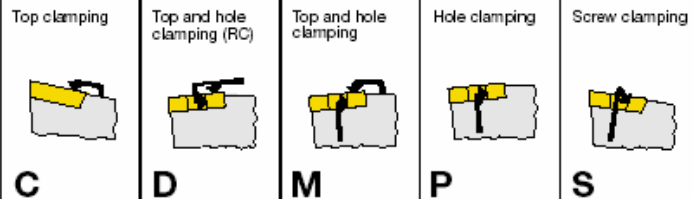
1 Coupling size, mm

C = Coromant Capto®
D_{sm} = Coupling size

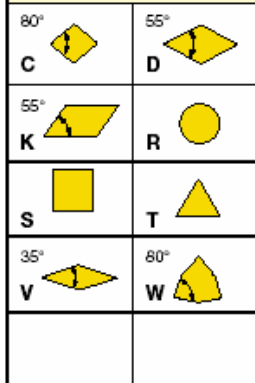


Coromant Capto®

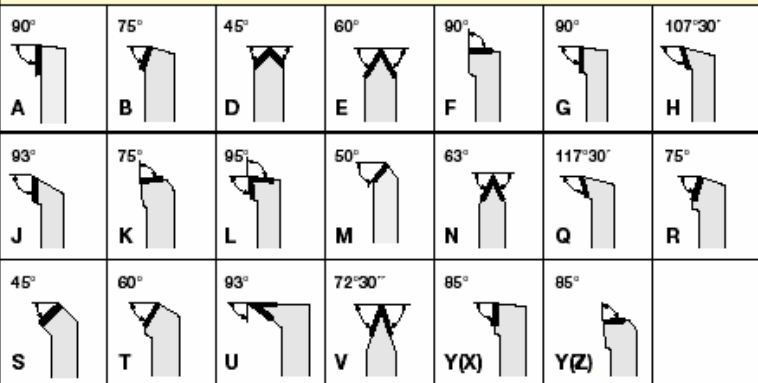
2 Clamping system

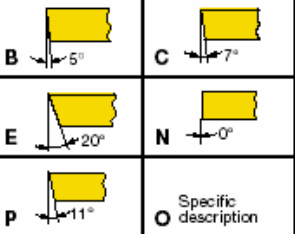
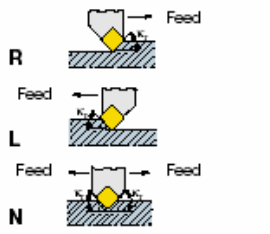
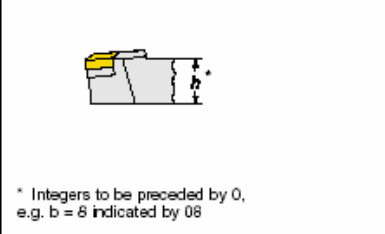
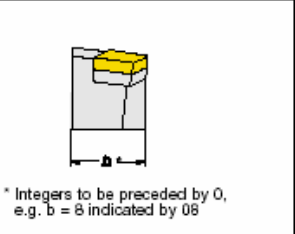
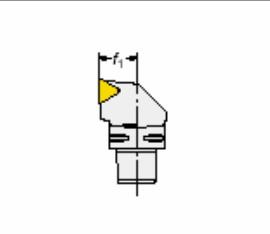
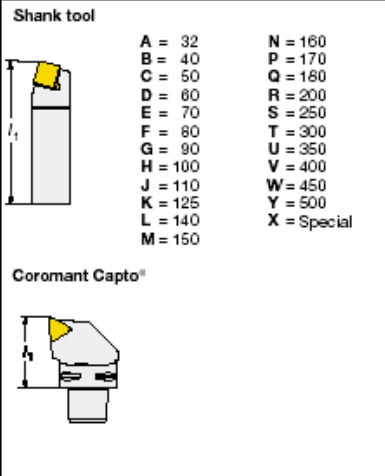
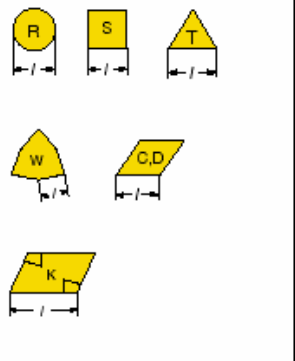


3 Insert shape



4 Holder style



<p>5 Insert clearance angle</p> 	<p>6 Hand of tool</p> 	<p>7 Shank height, h mm</p>  <p><small>* Integers to be preceded by 0, e.g. $b = 8$ indicated by 08</small></p>																								
<p>8 Shank width, b mm</p>  <p><small>* Integers to be preceded by 0, e.g. $b = 8$ indicated by 08</small></p>	<p>9 f_1 dimension, mm</p> 	<p>10 Tool length, l_1 mm</p> <p>Shank tool</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td>A = 32</td><td>N = 160</td></tr> <tr><td>B = 40</td><td>P = 170</td></tr> <tr><td>C = 50</td><td>Q = 180</td></tr> <tr><td>D = 60</td><td>R = 200</td></tr> <tr><td>E = 70</td><td>S = 250</td></tr> <tr><td>F = 80</td><td>T = 300</td></tr> <tr><td>G = 90</td><td>U = 350</td></tr> <tr><td>H = 100</td><td>V = 400</td></tr> <tr><td>J = 110</td><td>W = 450</td></tr> <tr><td>K = 125</td><td>Y = 500</td></tr> <tr><td>L = 140</td><td>X = Special</td></tr> <tr><td>M = 150</td><td></td></tr> </table> <p>Coromant Capto®</p> 	A = 32	N = 160	B = 40	P = 170	C = 50	Q = 180	D = 60	R = 200	E = 70	S = 250	F = 80	T = 300	G = 90	U = 350	H = 100	V = 400	J = 110	W = 450	K = 125	Y = 500	L = 140	X = Special	M = 150	
A = 32	N = 160																									
B = 40	P = 170																									
C = 50	Q = 180																									
D = 60	R = 200																									
E = 70	S = 250																									
F = 80	T = 300																									
G = 90	U = 350																									
H = 100	V = 400																									
J = 110	W = 450																									
K = 125	Y = 500																									
L = 140	X = Special																									
M = 150																										
<p>11 Cutting edge length, l mm</p> 	<p>12 Manufacturer's option</p> <p>When required a supplementary symbol of max 3 letters may be added to the ISO code, separated by a dash, e.g W for wedge design.</p>	<p>13 Clamping system</p> <p>Ceramics</p> <p>Top clamp design</p> <p>IC = Clamp with chip breaker ID = Clamp with pressure plate IP = Centre pin for hole clamping, only as option -2 = CoroTurn RC holders for inserts with hole -4 = CoroTurn RC holders for inserts without hole</p>																								



Fuente: Catálogo electrónico de herramientas, Sandvik Coromant [en línea].

**ANEXO C. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CENTRO DE TORNEADO
LEADWELL T6**

Capacity		
Max swing	mm (in)	450(17.7)
Max turning diameter	mm (in)	210(8.3)
Max turning length	mm (in)	420(16.5)
Bar capacity	mm (in)	51(2)
Travel		
X axis	mm (in)	105+20(4.9)
Z axis	mm (in)	460(18.1)
Spindle		
Spindle speeds range	rpm	4500
Chuck size	mm (in)	170(6)
Type of spindle nose		A2-5
Spindle motor power	KW(HP)	11(14.7)
Turret		
Number fo tool stations		12
Shank height for square tool	mm (in)	20(0.78)
Shank diameter for boring bar	mm (in)	Ø32(1.25)
X,Z-axis rapid traverse	m (in)/min	20,24(787)
X axis motor	KW(HP)	1.2(1.6)
Z axis motor	KW(HP)	1.2(1.6)
Quill diameter	mm (in)	75(3)
Quill indise taper	M.T	4
Total machine weight	Kg	3750
Machine dimensions	mm (in)	2340(92.1)
Machine dimensions	mm (in)	1580(62.2)
Machine dimensions	mm (in)	1595(62.8)
Power requirement	KVA	25

Fuente: Compact Turning Lathe [en línea]. Taitung (Taiwan): Leadwell CNC Machine Mfg, s.f.-[citado en 2005-10-22]. Disponible en Internet: <http://www.leadwell.com.tw/t-series.htm>

ANEXO D. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CÁMARA COHU

COHU INC. Electronics Division

Installation and Operation Manual for 2100 RS-170 and CCIR 1/3 and 1/2 inch Monochrome Cameras

EQUIPMENT SUPPLIED

The following list does not include any optional or special request items.

1. Camera, 2100 RS-170 or CCIR, 1/3 or 1/2 inch
2. CS mount (type 8359208-001) and CS/C mount adapter (type 2010695-001 5 mm extender)
3. Lens mount opening cap (if lens not mounted)
4. Setscrew, lens mount, 4-40 x 5/32, nylon tipped
5. Wrench, hex key, L-type 0.050 inch across flats
6. Plug, Cable, Aux (Sync)
7. Plug, Cable, Power
8. Manual, Installation and Operation (this manual)

EQUIPMENT REQUIRED BUT NOT SUPPLIED

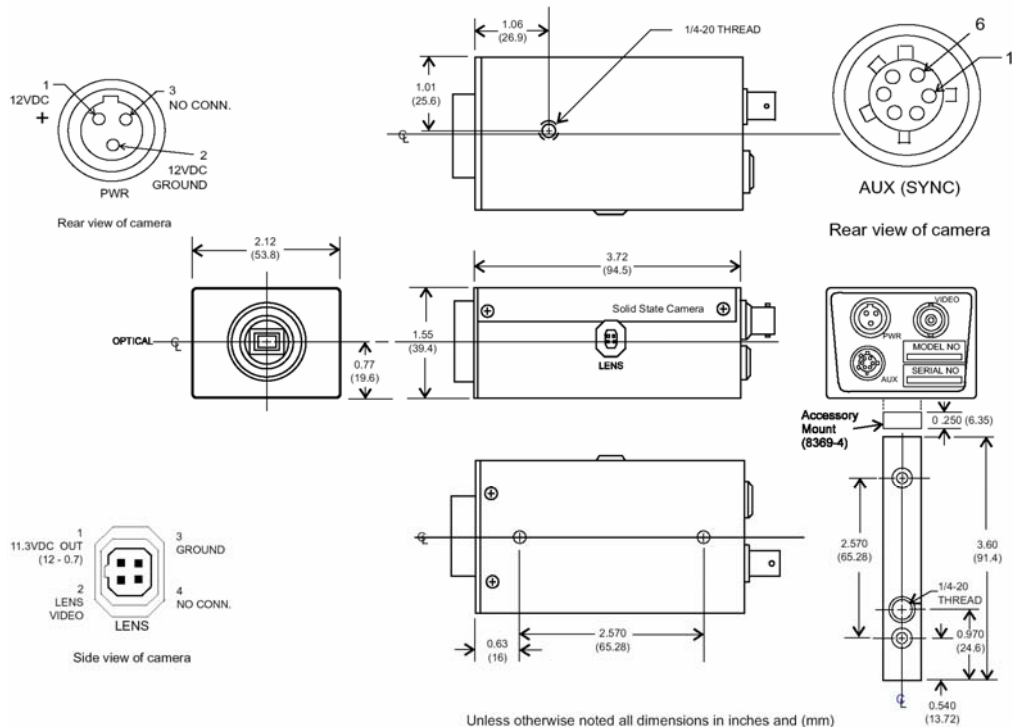
1. Power supply, 115 Vac to 12 V dc, 300 mA (type 8368-4)
2. Lens, tv type, CS- or C-mount
3. Monitor, RS-170 or CCIR, as required
4. Cables (video, power input, external sync, as required)

OPTIONS

1. Accessory base mount (type 8369-4)

AUX (SYNC) CONNECTOR PIN FUNCTIONS H & V TRIG. & ASYN RESET (SEE NOTE FOR GENLOCK CAMERA PIN FUNCTIONS)			
PIN NO.	NAME	INPUT/OUTPUT	FUNCTION
1	Vertical Trigger	Input	The input for a vertical trigger pulse when the camera is being synchronized to externally applied horizontal (pin 2) and vertical pulses
2	Horizontal Trigger	Input	An input for horizontal trigger pulses when the camera is being synchronized to externally applied horizontal and vertical (pin 1) pulses
3	—	—	No connection
4	Ground	—	A grounded pin for signals
5	Async Reset	Input	The input for asynchronously resetting the camera sync generator.
6	—	—	No connection

*NOTE: All signals 0 to 5 V active low.
For genlock cameras pin 1 is signal input, pin 4 is ground. All others not used.
A high-impedance / 75-ohm repositionable jumper is on genlock board.*



REF DESIG	NAME	FUNCTION
JB1	ARESET/NOR	Selects whether camera operates in asynchronous reset mode or normal mode
JB2	Lens Video Sync	Jumper is installed to provide sync on the auto-iris signal
R74	Manual Gain	Sets gain of camera through a 20 dB range when the Agc On/Off switch (S2) is in Off position
R105	Gamma	Sets gamma through a range of 0.45 to 1.0 (fully ccw=1.0)
R110	Sharpness	Rotating clockwise increases apparent contrast of scene by enhancing black/white and white/black transitions
R114	Black Level	Sets the level of blacks in the video, typically to 7.5 IRE units above blanking level
S1	DIP Switch Bank	Five DIP switches to select shutter speed or (in field mode) integration. Switch 6 selects field or frame mode. See table below for a listing of switch positions.
S2	Agc On/Off	Selects whether agc controls camera gain or whether the Manual Gain potentiometer (R74) sets a fixed gain for the camera (ccw=agc off; cw=agc on)

Note: These adjustments might require changes in the field due to the intended camera application. Making any change not listed could render the camera inoperable until a complete test-bench setup is performed with instruments. This would require use of the Maintenance Manual (6X-975(A)) where the complete step-by-step procedures are given. Use care when making any change in this table so that nothing else is accidentally changed.

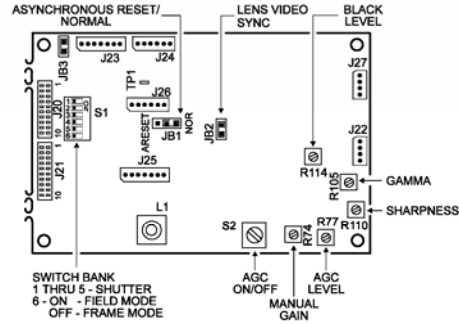
PLUG	COHU P/N	MFG P/N
POWER	1310356-103	Switchcraft TA3F
AUX/SYNC	1310349-006	Hirose SR-30-10PE-6P
LENS	1310419-004	Chuomusen E4-191J-100
VIDEO	—	Standard BNC Plug

SHUTTER SPEED	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5
OFF					
1/100 RS170				*	*
1/120 CCIR			Flickerless mode		
1/125			*		*
1/250		*			*
1/500		*	*		*
1/1000	*				*
1/2000	*		*		*
1/4000	*	*	*		*
1/10,000	*	*	*	*	*
FIELDS	S1-1	S1-2	S1-3	S1-4	S1-5
(Settings from 2 to 16 available in field mode only)					
2				*	
4			*	*	
6		*		*	
8	*	*	*	*	
10	*		*	*	
12	*	*	*	*	
14	*	*	*	*	
16	*	*	*	*	

NOTES: * = ON (low state)
For S1-6, ON = FIELD MODE; OFF = FRAME MODE.
Flickerless mode eliminates interference with ac power line lighting when a 60 Hz camera is used with 50 Hz lighting or a 50 Hz camera with 60 Hz lighting.

CAUTION

Be sure to maintain the correct pin to pin connections when plugging in the flexible jumper cables between the sensor board and the main board. Failure to do so will damage the camera. Also, replace the cable in the same orientation as it was when it was removed.



UL listed to Standard 1409, Video Equipment. UL File Number E117248(S)

Complies with VDE, 0871, Class B Requirements

Complies with CE CISPR-22, Class B, EN 55022, Class B, EN 50081-1; EN 50082-1

NOTE: This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class A digital device, pursuant to part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the equipment is operated in a commercial environment. This equipment generates, uses, and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instruction manual, may cause harmful interference to radio communications. Operation of this equipment in a residential area is likely to cause harmful interference in which case the user will be required to correct the interference at his own expense.

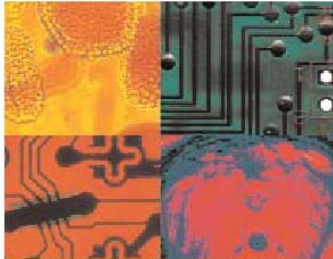
This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions: (1) This device may not cause harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

WARRANTY: Cohu, Inc., Electronics Division, warrants equipment manufactured to be free from defects of material and workmanship. Any part or parts will be repaired or replaced when proven by Cohu examination to have been defective within two years from date of shipment to the original purchaser for standard CCD cameras and one year from date of shipment to the original purchaser for intensified CCD cameras and all other Cohu manufactured products. All warranty repairs will be performed at the factory or as otherwise authorized by Cohu in writing. Transportation charges to Cohu shall be prepaid by purchaser. This warranty does not extend to Cohu equipment subjected to misuse, accident, neglect, or improper application, nor repaired or altered by other than Cohu or those authorized by Cohu in writing. Television image pickup tubes, image intensifiers, lenses, and products manufactured by companies other than Cohu are warranted by the original manufacturer. This warranty is in lieu of all other warranties expressed or implied. Cohu shall not be liable for collateral or consequential damages. A Return Authorization (RA) number must be obtained from Cohu prior to returning any item for warranty repairs or replacement.

February 8, 1995
Revision 1 Aug. 22, 1995
Revision 2 Sep. 21, 1996
Revision 3 Nov. 7, 1996
Revision 4 Sep. 21, 1997
Revision 5, June 7, 1999

5755 KEARNY VILLA ROAD • SAN DIEGO, CA • 92123-1111
PHONE (619) 277-6700 FAX (619) 277-0221 INFO@COHU.COM

ANEXO E. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TARJETA MATROX METEOR



High-quality, low-cost PCI color and monochrome frame grabber with real-time transfer to system or display memory¹

Matrox Meteor



Key Features:

- captures NTSC/PAL/SECAM, RS-170/CCIR and standard RGB
- single slot PCI frame grabber
- real-time transfer to system or display RAM¹
- multiple video inputs (up to 4 channels)
- high-quality video scaling unit
- stable synchronization
- live video-in-a-window
- works with Matrox MGA Millennium-II or any VGA
- available software includes Matrox Imaging Library (MIL), MIL-Lite/ActiveMIL-Lite and Matrox Inspector
- support for Windows NT, Windows 95, and DOS4GW 32-bit DOS extender

Applications:

- Security
- Biomedical Analysis
- Identification Systems
- Traffic Control
- Microscopy
- Inspection and Process Control
- Robotics
- Color Verification
- Medical Visualization
- Machine Vision
- Image Analysis

**MATROX
METEOR**

Matrox Meteor is a PCI frame grabber specifically designed as a low-cost solution for real-time transfer of images directly to host or display RAM.¹

Matrox Meteor

Matrox Meteor is a high-quality color and monochrome PCI frame grabber that provides real-time image transfer to host, video-in-a-window, and support for the Matrox Imaging Library (MIL) and Matrox Inspector interactive imaging software, all at an unbelievably low price. OEMs and integrators can develop powerful, yet cost-effective, host-based machine vision, image analysis and medical imaging systems.

Real-Time Transfers

Matrox Meteor transfers image data in real time to the CPU RAM for processing or the display buffer for real-time display. Matrox Meteor is capable of up to 45 MB/sec transfers.

Acquisition

Matrox Meteor comes in two versions:

Matrox Meteor

The base version captures standard color and monochrome video:

- Composite or Y/C (S-Video: S-VHS, Hi8)
- RS-170 (640 x 480) / CCIR (768 x 576)
- NTSC (640 x 480) / PAL (768 x 576) / SECAM (768 x 576)

Up to four software-selectable video input channels are available.

Matrox Meteor/RGB

In addition to capturing standard video, the RGB model supports 24-bit color grabbing from a standard RGB camera, providing independent control of gain and offset for the R, G, and B channels. Matrox Meteor/RGB also comes with a TTL trigger input² to synchronize acquisition to an external event.

Video Adjustment

The incoming video stream can be tuned through software adjustable brightness, contrast, hue, and saturation.

Stable Synchronization

Matrox Meteor provides excellent synchronization even when grabbing from still video cameras and VCRs in playback and pause modes.

Video-in-a-Window

Matrox Meteor provides high-quality live video-in-a-window display. The window can be scaled down to any size and positioned anywhere on the screen.

Flexible Data Formats

The Digital Video to PCI Interface unit supports various data transfer formats (8-bit mono, 15-bit and 24-bit RGB).

Multiple Board Support

Multiple boards can be supported in a single PC. The maximum number is system and application specific³.

Display

Matrox Meteor will work with the Matrox MGA Millennium-II for real-time display or any VGA for pseudo real-time display.

Software



Matrox Imaging Library (MIL)

MIL is a high-level 'C' library with commands for image processing, pattern matching,

blob analysis, gauging/measurement and OCR, as well as image acquisition, transfer, and display. MIL has been designed to fully exploit the power of Intel MMX™ technology.



MIL-Lite Development Library

MIL-Lite is a 'C' development library with commands for image acquisition, transfer, and display.

Software (continued)



New! ActiveMIL-Lite

For even faster Windows application development, MIL-Lite comes bundled with ActiveMIL-Lite, a collection of ActiveX controls (OCXs) for managing image capture, transfer and display.

Supported Environments

MIL/MIL-Lite supports Windows NT/95 (as DLL), as well as DOS4GW 32-bit DOS extender (as standard LIB). Active MIL-Lite supports Windows NT/95 (as OCXs).



Matrox Inspector

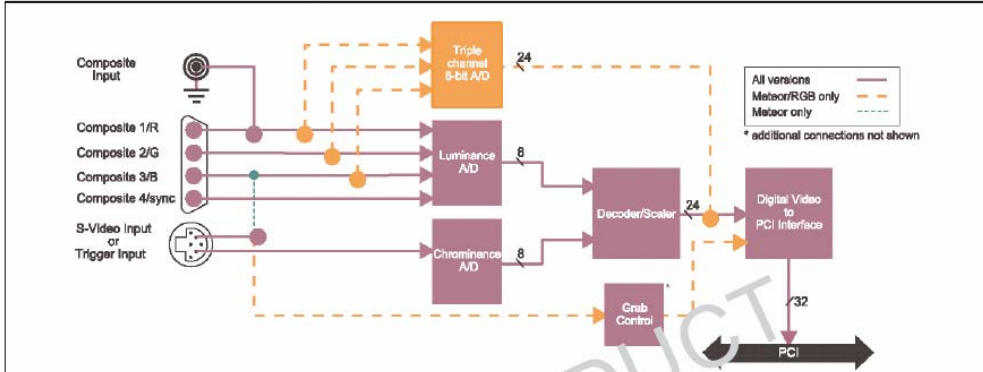
Matrox Inspector is Windows-based software that offers interactive access to an extensive set of imaging operations.



Matrox Intelcom Camera Configuration Utility

This Windows-based utility (provided with MIL/MIL-Lite) offers an interactive environment to quickly interface Matrox hardware to any video device.

Matrox Meteor Block Diagram



Specifications

Acquisition

- Software selectable video input (up to four channels)
- Programmable hue, brightness, contrast, and saturation
- Matrox Meteor: standard color and monochrome video (NTSC/PAL/SECAM, RS-170/CCIR, Composite or Y/C)
- Matrox Meteor/RGB: standard color and monochrome video and RGB (Gain and offset adjustable on each channel)
- Pixel Jitter: ± 3 ns (typical)

Scaling unit

- scale down to any size

Real-time transfers

- Depending on system or VGA card used:
- up to 45 MB/sec
- Note: Real-time acquisition to system or display memory requires:
 - 9 MB/sec for 640 x 480 x 8 @ 30 fps RS-170
 - 11 MB/sec for 768 x 576 x 8 @ 25 fps CCIR
 - 35 MB/sec for 640 x 480 x 24 @ 30 fps NTSC or RGB
 - 42 MB/sec for 768 x 576 x 24 @ 25 fps PAL or RGB

Interface and connectors

- PCI 32-bit interface
- Video input connector (DB9 for composite or RGB inputs)
- Separate Y/C input connector (4 pin mini din)
- Phono Jack for composite input

Connector pinouts

- Video in:
 - pin 1 Composite 1 or Red
 - pin 2 Composite 2 or Green
 - pin 3 Composite 3 or Luma in or Blue
 - pin 4 Composite 4 or Composite Sync
 - pin 5 Ground
 - pin 6 Ground
 - pin 7 Ground
 - pin 8 Ground
 - pin 9 Ground
- Y/C in:
 - pin 1 Ground
 - pin 2 Ground
 - pin 3 Y (Luma) In (Meteor)/Trigger In (Meteor/RGB)
 - pin 4 C (Chroma) In
- Phono Jack in:
 - pin 1 Composite 1
 - pin 2 Ground

Environmental

- Power consumption < 7.5 Watts
- Card size is 23.55 cm x 10.55 cm (9.3" x 4.2")
- Operating temperature from 0 to 55°C (32 to 131°F)
- Relative humidity: up to 95% (non-condensing)

Software Environments

	DOS	Windows NT/95
MIL/MIL-Lite	Watcom C++ (as LIB)	MS Visual C++ and Borland C++ (as DLL)
ActiveMIL-Lite	not applicable	MS Visual Basic, MS Visual C++ and Borland Delphi (as OCX)

Ordering Information

Part Number Description

Part Number	Description
METEOR	standard video
METEOR/RGB	standard video and RGB

Software (sold separately)

MIL-LITE/CD	MIL-Lite board control library
MIL-32/CD	Matrox Imaging Library (MIL)
INSPECTOR-32/CD	Matrox Inspector

Input cables (sold separately)

PC-OCABLE-4	4' input cable, 4 BNCs to DB-9
PC-OCABLE-10	10' input cable, 4 BNCs to DB-9

Notes:

- using Matrox MGA Millennium-II
- replaces VIC functionality
- please contact Matrox Sales for more information

For more information, please call: 1-800-804-6243 (toll free in North America) or (514) 969-6020 or e-mail: imaging.info@matrox.com or <http://www.matrox.com/imaging>

Corporate headquarters:

Canada and U.S.A.
Matrox Electronic Systems Ltd.
1555 St-Francis Blvd., Dorval
Quebec, Canada, H9P 2T4
Tel: (514) 969-6020
Fax: (514) 969-6273

Sales offices:

U.K.
Matrox (UK) Ltd.
6 Cherry Orchard West
Kensley Park, Swindon
United Kingdom SN2 8UP
Tel: (0)1793 44 1100
Fax: (0)1793 44 1199

France
Matrox Franco SARL
2, rue de la Couture,
Silex 025
94528 Rungis Cedex
Tel: (0)1 45 60 62 00
Fax: (0)1 45 60 62 05

Germany
Matrox GmbH
Inselkammerstr. 8
D-82008 Unterhaching
Germany
Tel: 089/614 4740
Fax: 089/614 9743

Asia Pacific
Matrox Asian Liaison Office
Rm. 1901, 19/F, Worthington Tower
78 Boston Street E.
Shuang Wan, Hong Kong
Tel: (852) 2877 5387
Fax: (852) 2537 3530

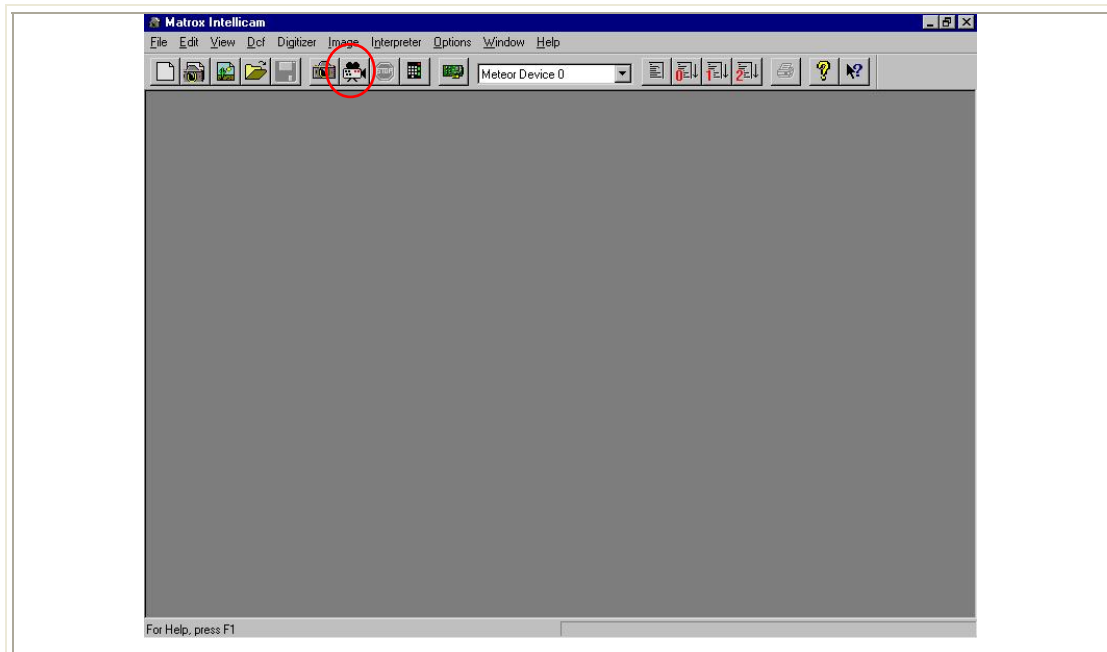


Matrox Imaging Products Group is a leading provider of high-performance imaging solutions. Our products are used in a wide range of applications, from medical imaging to industrial automation. We are committed to providing our customers with the highest quality products and services. For more information, please contact our sales department.

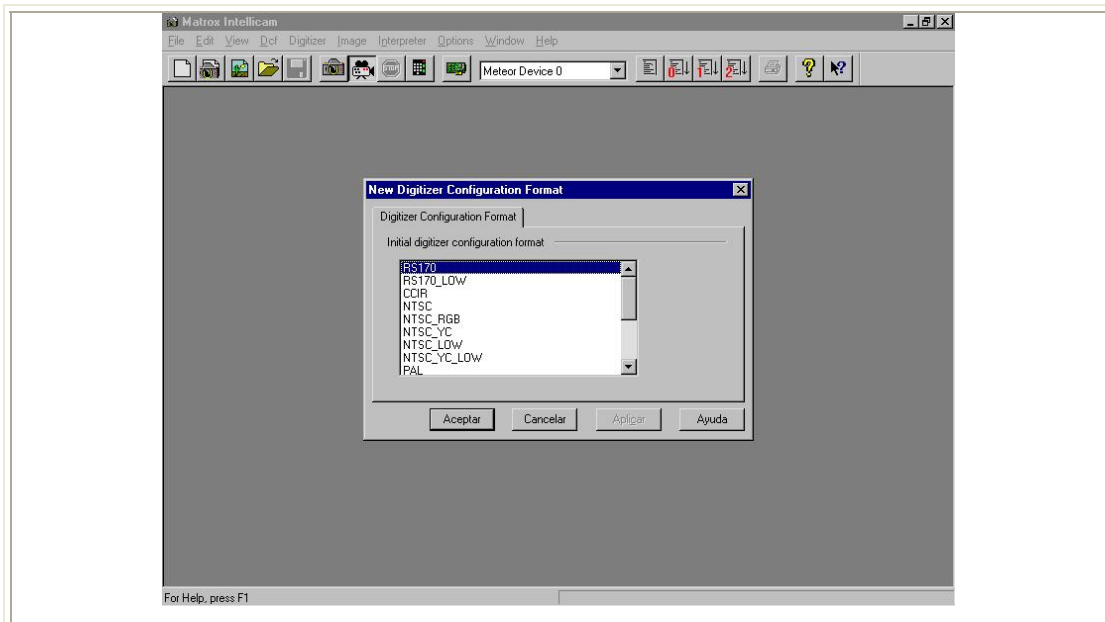
Fuente: Matrox Electronic Systems Ltd [en línea]. Québec (Canadá) : Matrox imaging products group.-[citado 8 de enero de 2006]. Disponible en Internet: http://www.matrox.com/imaging/support/old_products/meteor/b_meteor.pdf.

ANEXO F. MATROX INTELICAM VERSIÓN 2.0

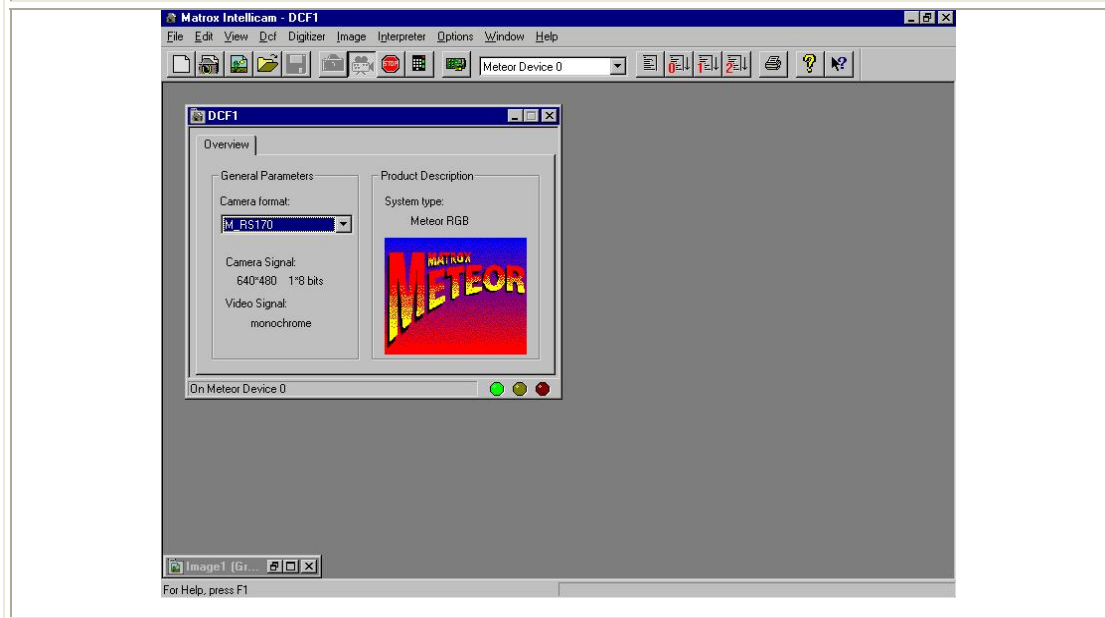
Matrox Intellicam 2.0 es un programa basado en Windows, de alto nivel, que proporciona interfase rápida con la cámara y acceso interactivo a todas las características de control y funcionalidad del digitalizador Matrox.



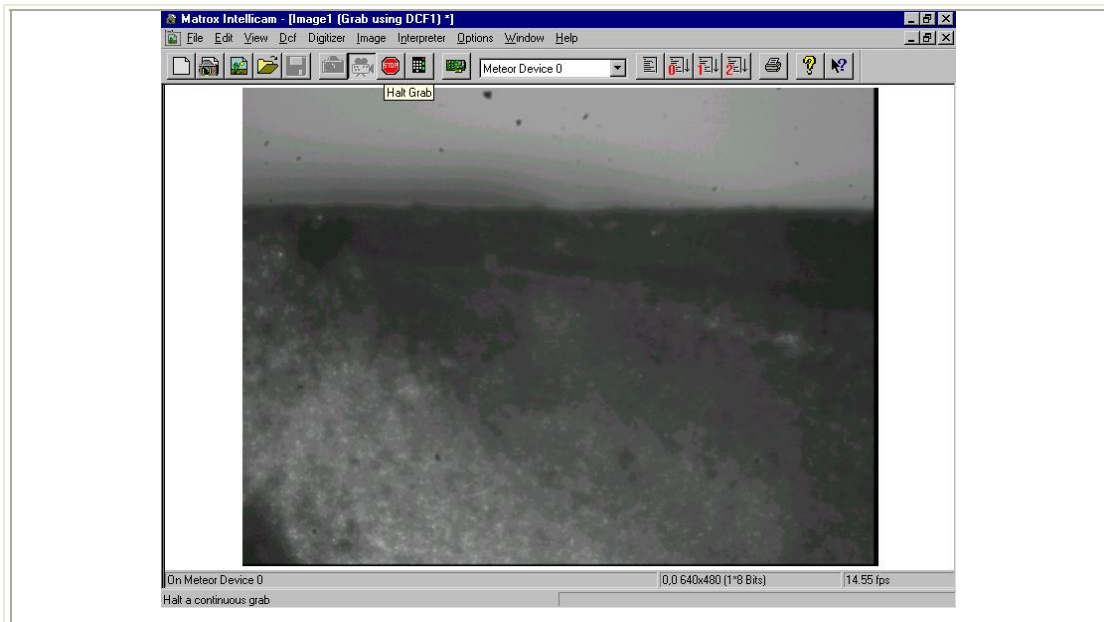
Se muestra la pantalla inicial que se visualiza al abrir el icono ubicado en el escritorio de Matrox Intellicam. Se observa la barra de menú y la barra de botones. Se hace clic en esta última, sobre el botón *Continuous Grab*, indicado en círculo rojo, para tener el video en tiempo real que se visualiza a través de las lentes del estéreo microscopio.



Al hacer clic sobre el botón *Continuous Grab*, se observa la pantalla emergente indicada, donde se selecciona el formato digitalizador, en este caso se usa el formato de video estándar monocromático, RS- 170.



Lo anterior define el formato de configuración del digitalizador, DCF, de la cámara. Un documento DCF, especifica tiempo de video y formato.



Se visualiza una imagen del desgaste de flanco del inserto, para obtener la imagen, se hace clic sobre el botón *Continuous Grab*, para detener el video y hacer la toma visualizada en la pantalla.



La toma se consigue haciendo clic sobre el botón *Grabbing a single image*, indicado en círculo rojo, lo cual permite conseguir un documento imagen.

ANEXO G. IMÁGENES DE DESGASTE

A continuación se muestran las imágenes adquiridas con el sistema óptico implementado en el Laboratorio de Óptica y Tratamiento de Señales (LOTS) de la Escuela de Física de la Universidad Industrial de Santander.

Las imágenes tienen tamaño de 640×480 *pixels* y 256 niveles en la escala de grises, representan un campo de visión de $1,66 \text{ mm} \times 1,22 \text{ mm}$, para el cual se calculó un tamaño medio de *pixel* de $2,57 \mu\text{m}$.

Figura 1. Imagen de desgaste a 250 m/min y 0 min de mecanizado

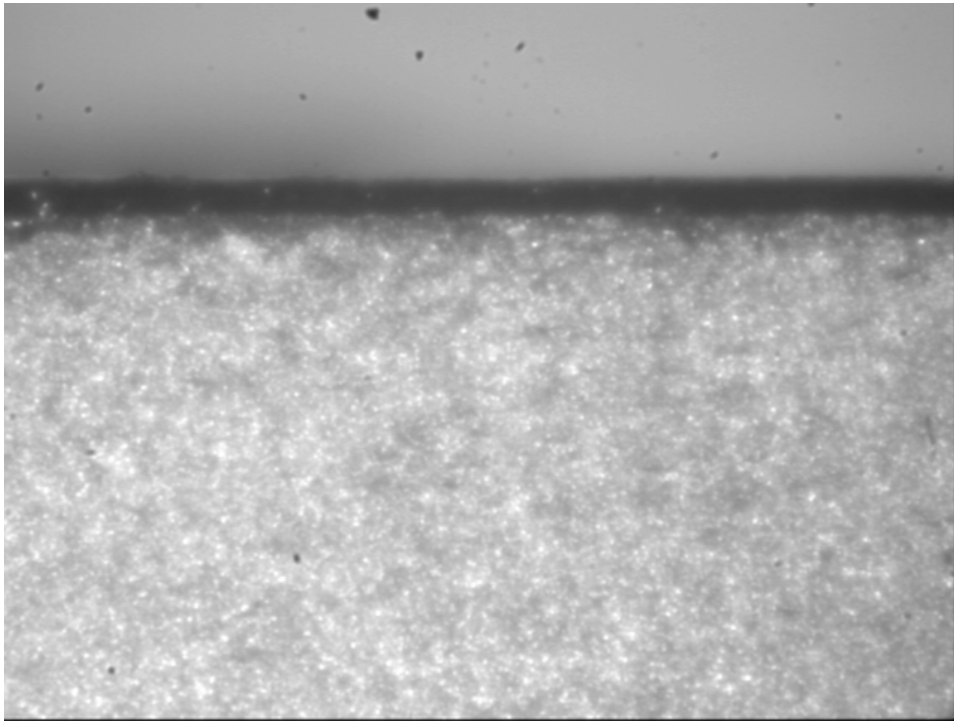


Figura 2. Imagen de desgaste a 250 m/min y 4 min de mecanizado

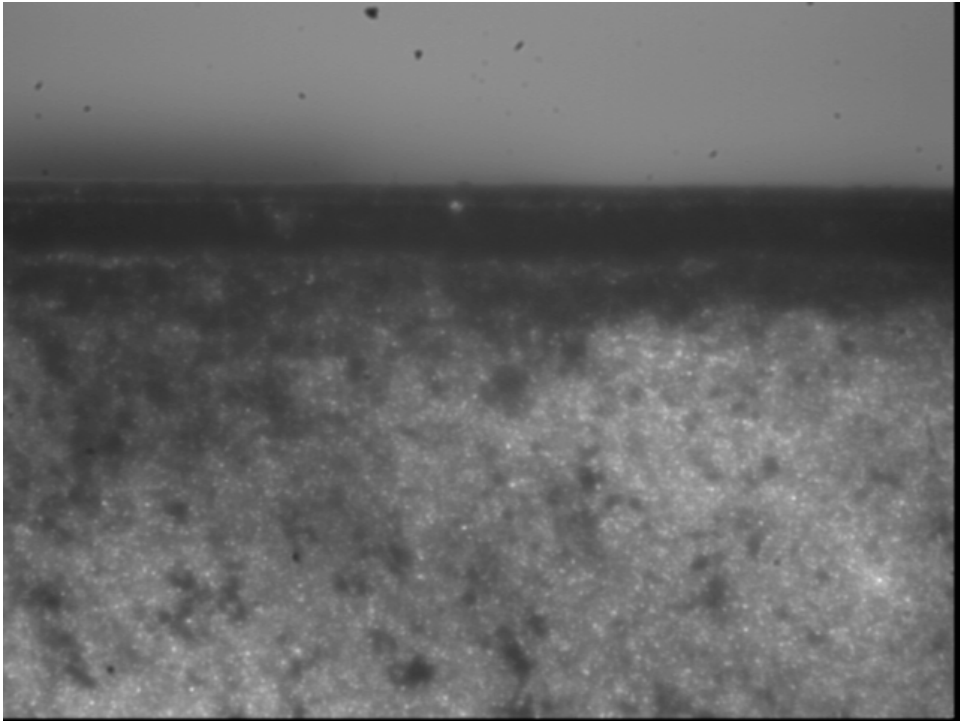


Figura 3. Imagen de desgaste a 250 m/min y 8 min de mecanizado

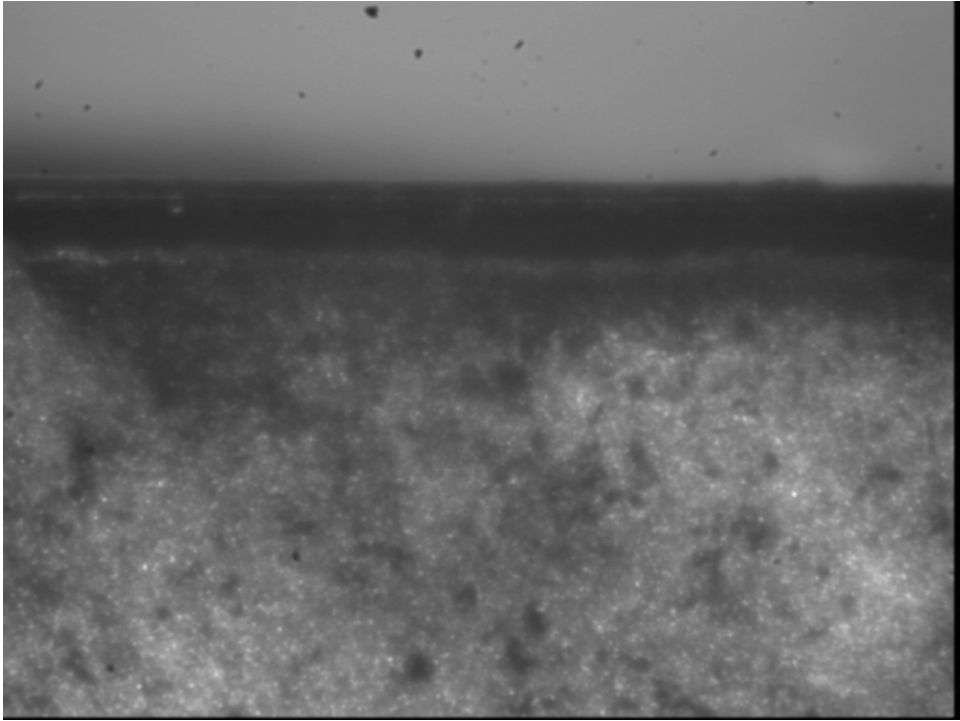


Figura 4. Imagen de desgaste a 250 m/min y 12,5 min de mecanizado

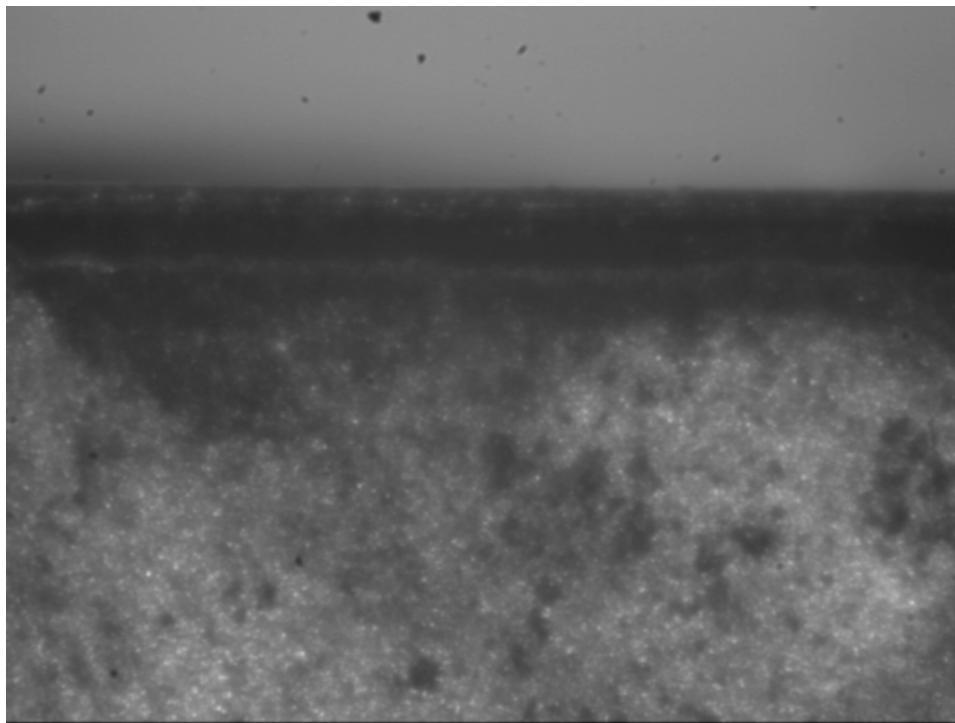


Figura 5. Imagen de desgaste a 250 m/min y 16 min de mecanizado

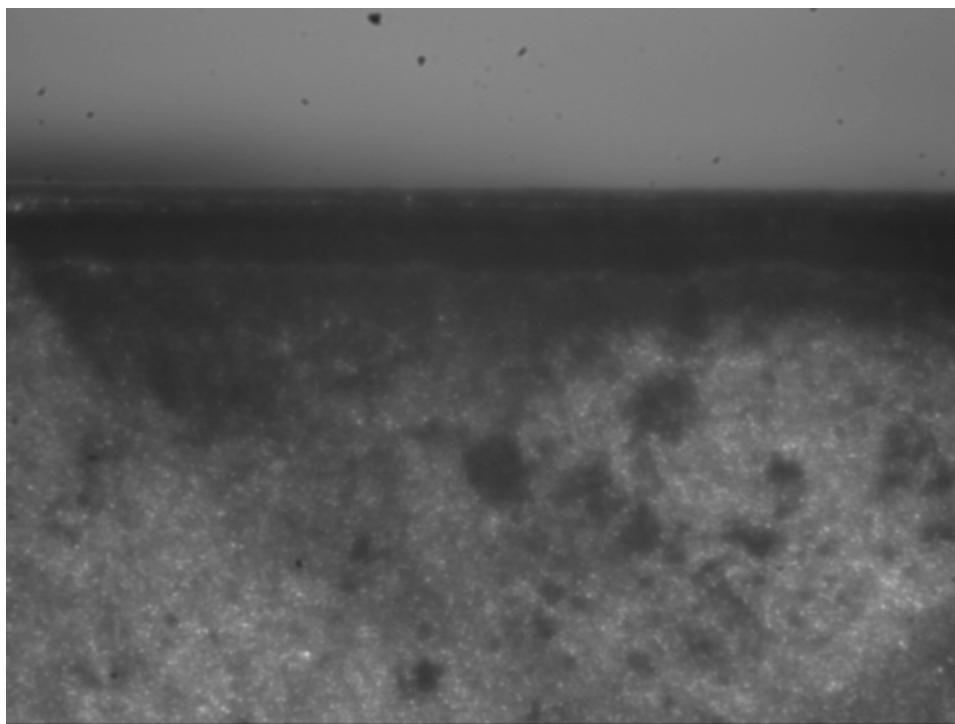


Figura 6. Imagen de desgaste a 250 m/min y 20 min de mecanizado

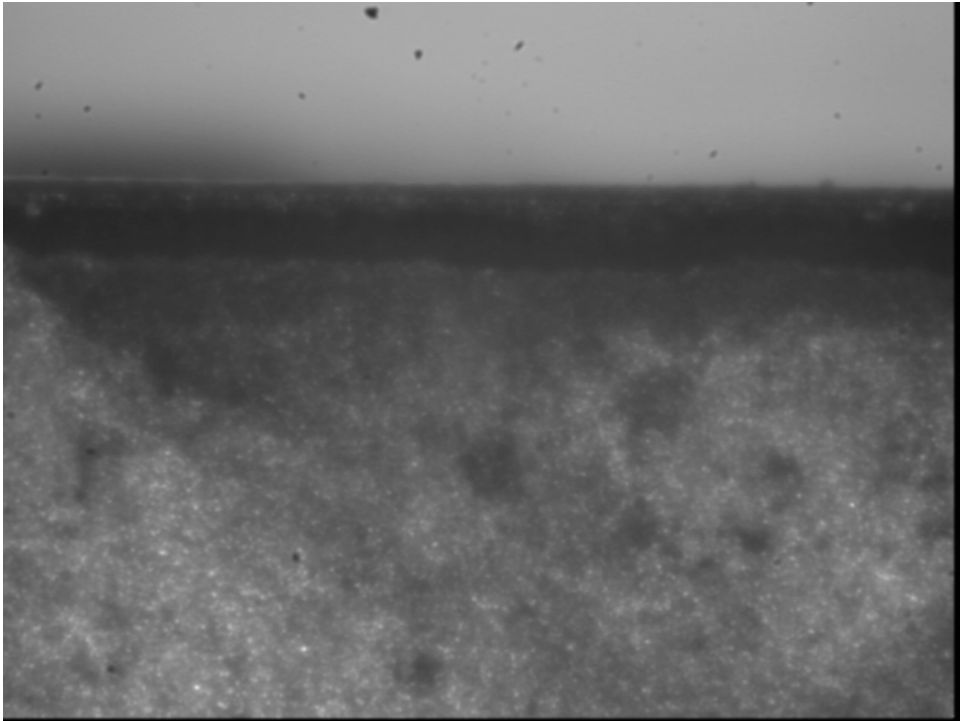


Figura 7. Imagen de desgaste a 250 m/min y 25 min de mecanizado

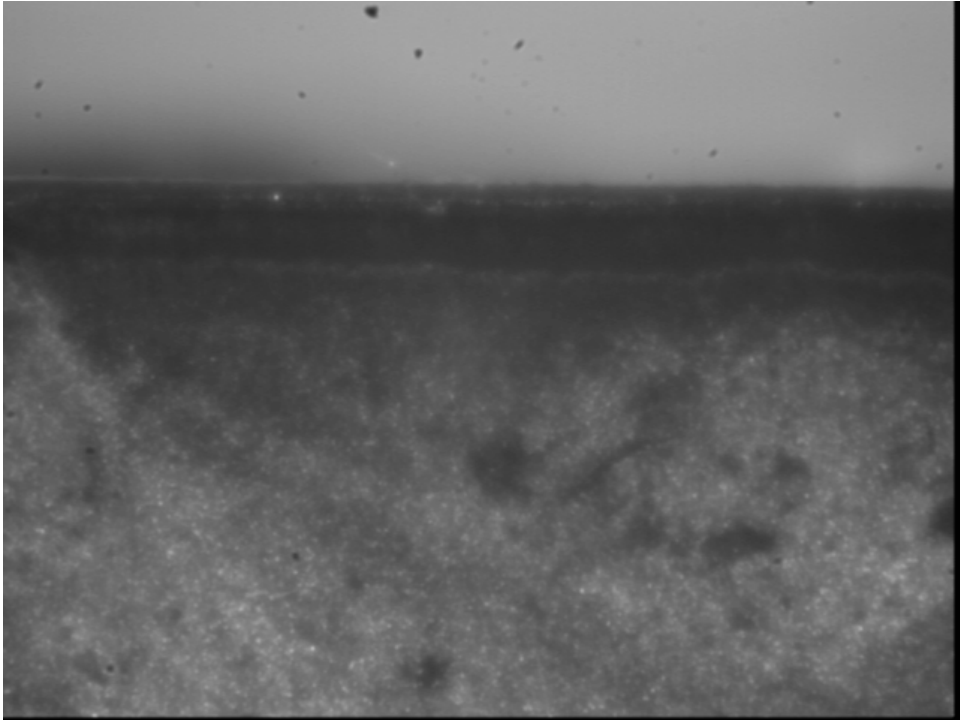


Figura 8. Imagen de desgaste a 250 m/min y 31,5 min de mecanizado

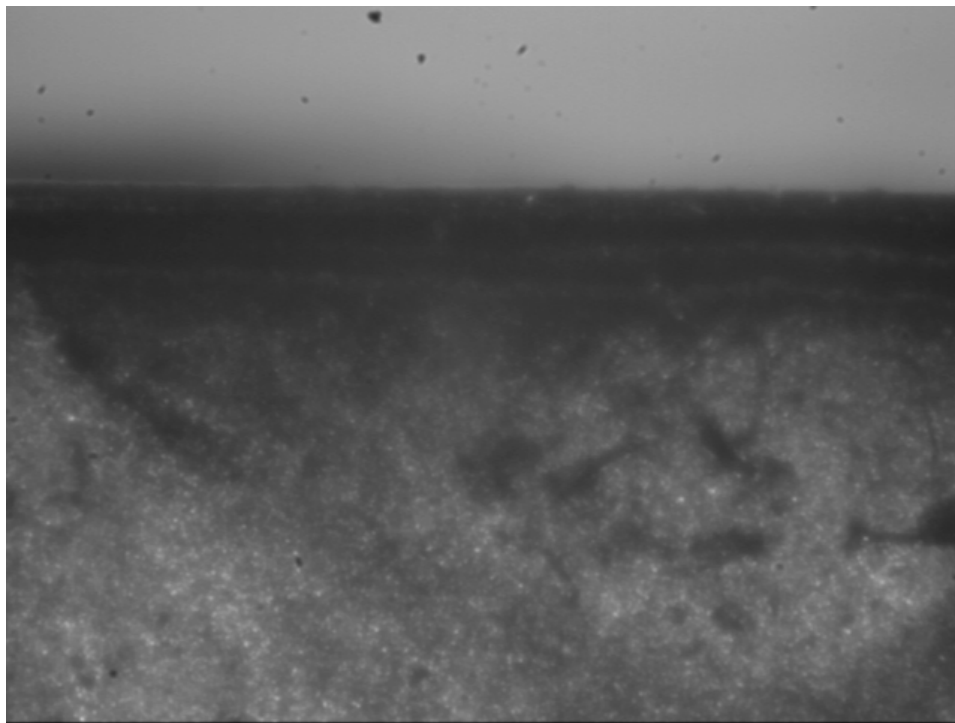


Figura 9. Imagen de desgaste a 250 m/min y 40 min de mecanizado

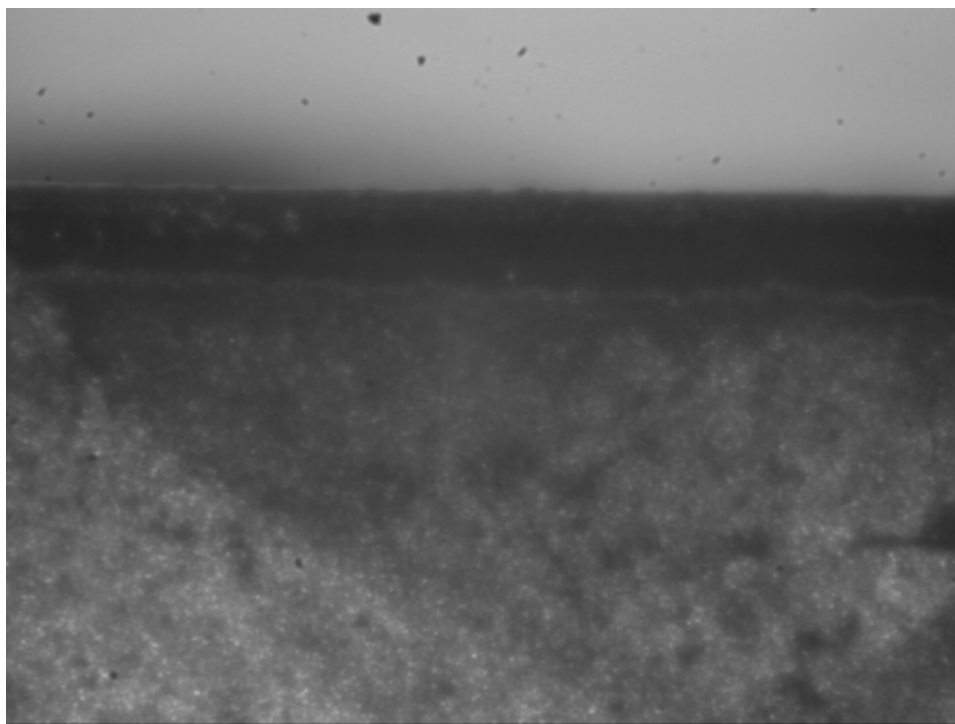


Figura 10. Imagen de desgaste a 250 m/min y 42,5 min de mecanizado

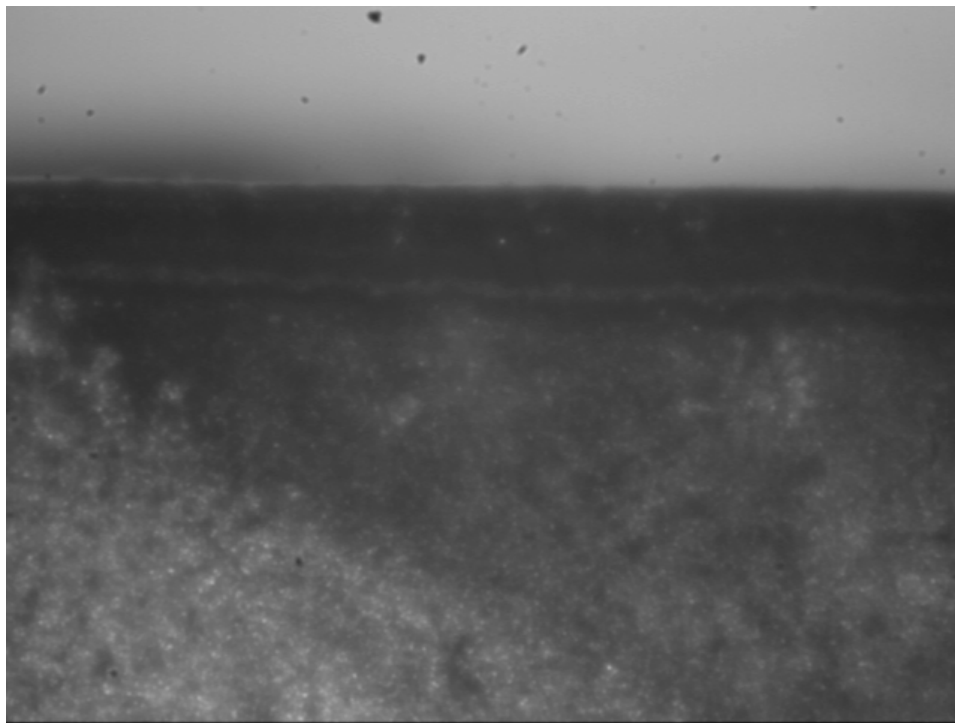


Figura 11. Imagen de desgaste a 250 m/min y 45 min de mecanizado

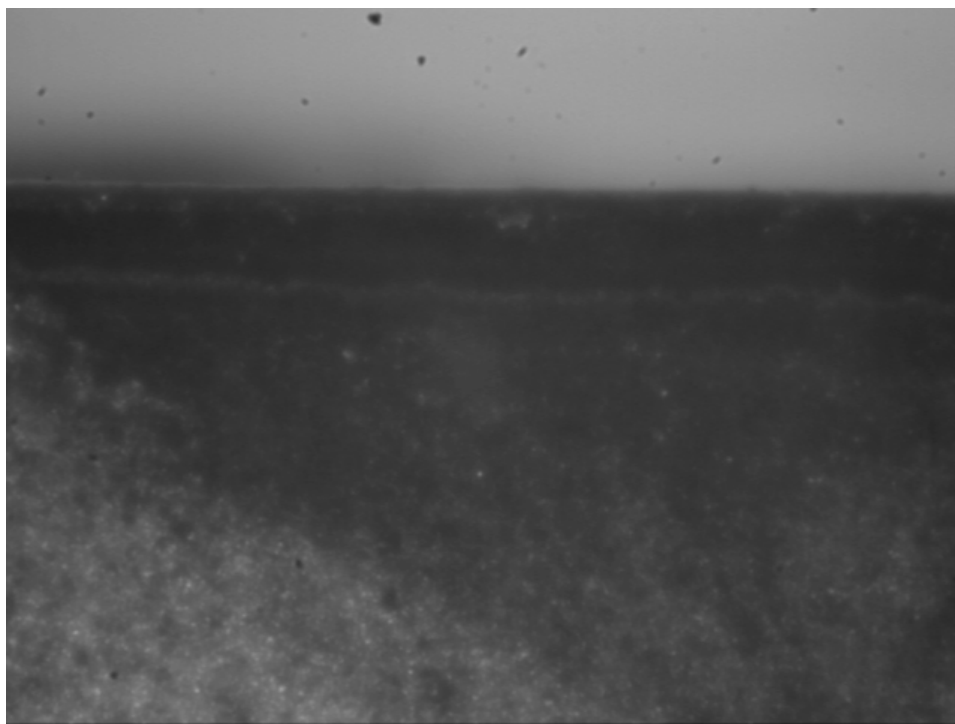


Figura 12. Imagen de desgaste a 250 m/min y 47,5 min de mecanizado

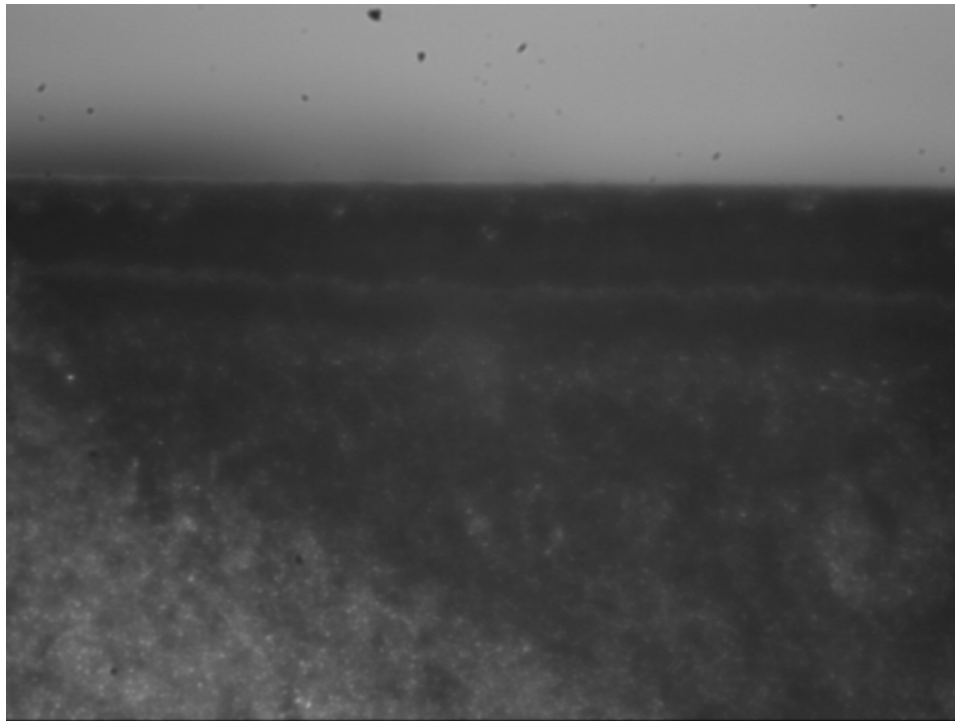


Figura 13. Imagen de desgaste a 315 m/min y 0 min de mecanizado

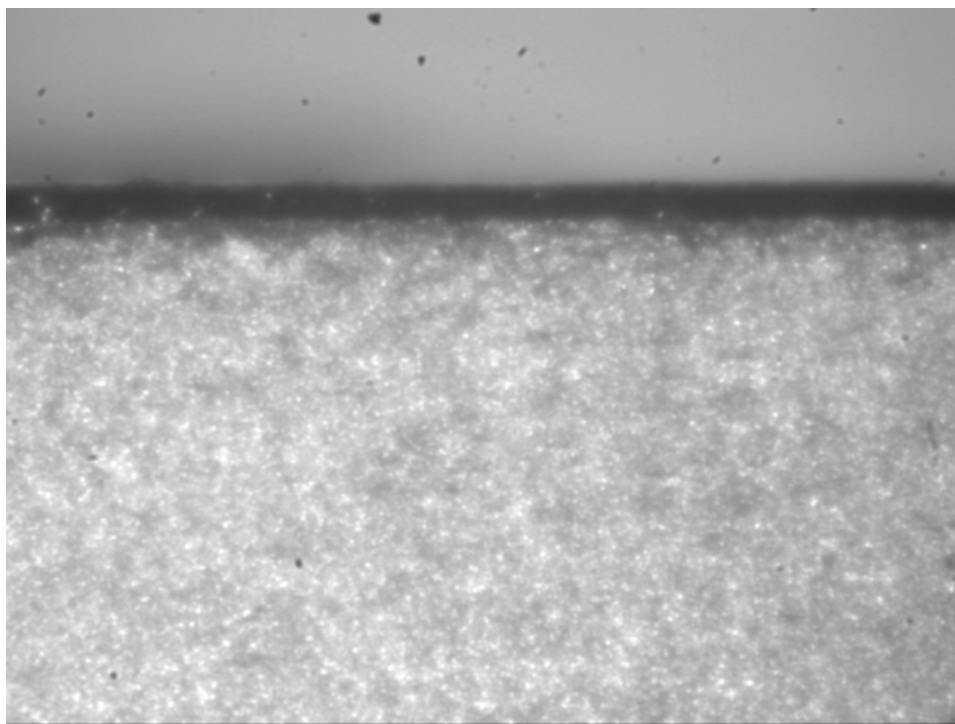


Figura 14. Imagen de desgaste a 315 m/min y 2 min de mecanizado

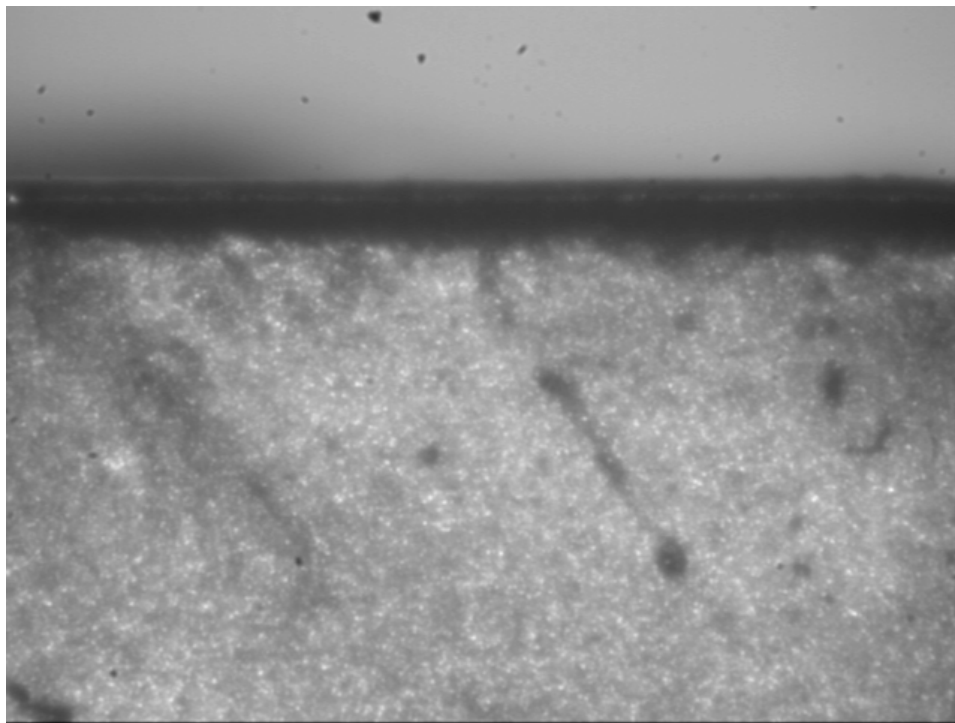


Figura 15. Imagen de desgaste a 315 m/min y 4 min de mecanizado

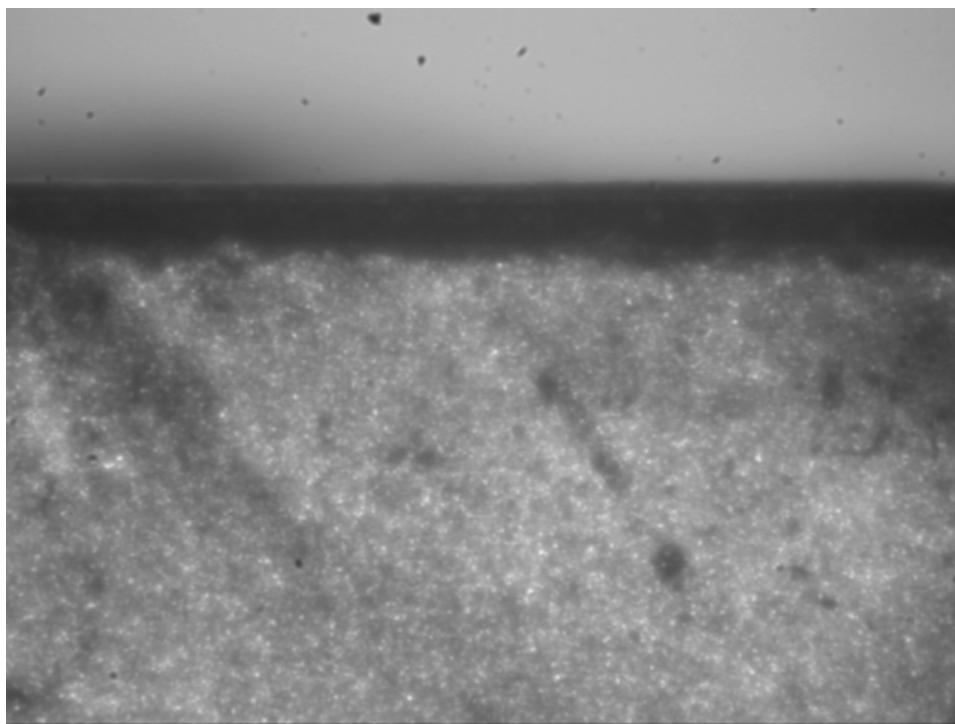


Figura 16. Imagen de desgaste a 315 m/min y 8 min de mecanizado

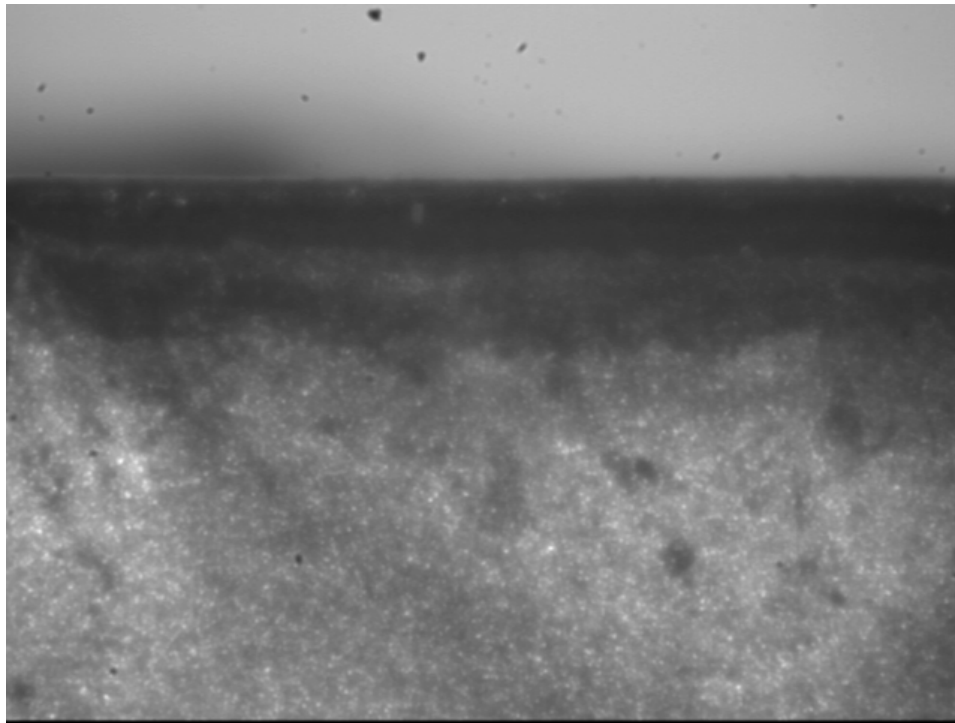


Figura 17. Imagen de desgaste a 315 m/min y 12,5 min de mecanizado

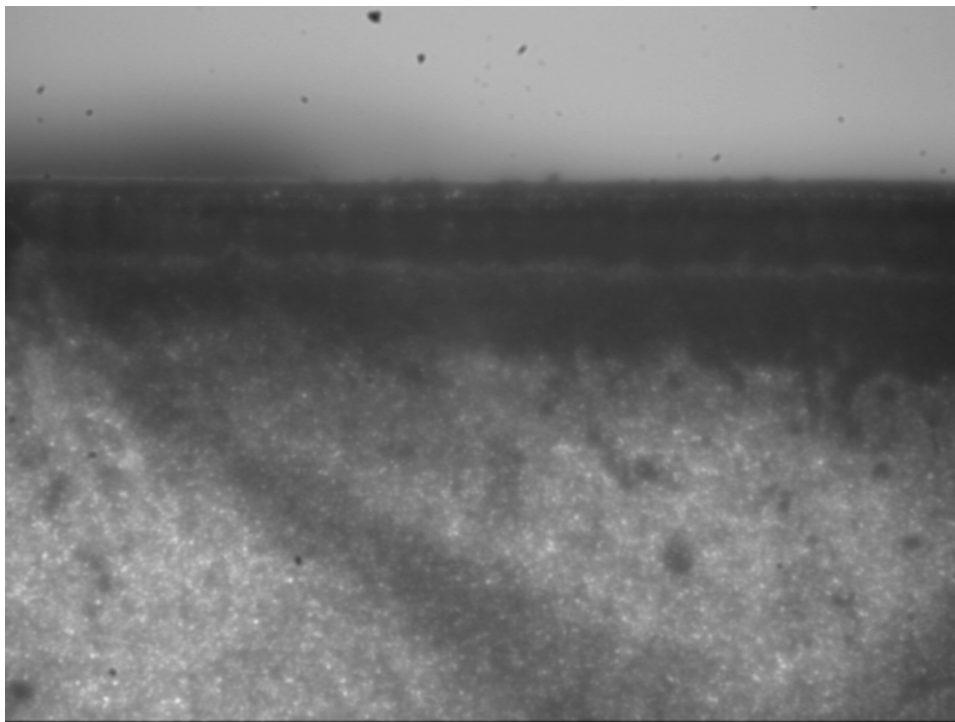


Figura 18. Imagen de desgaste a 315 m/min y 16 min de mecanizado

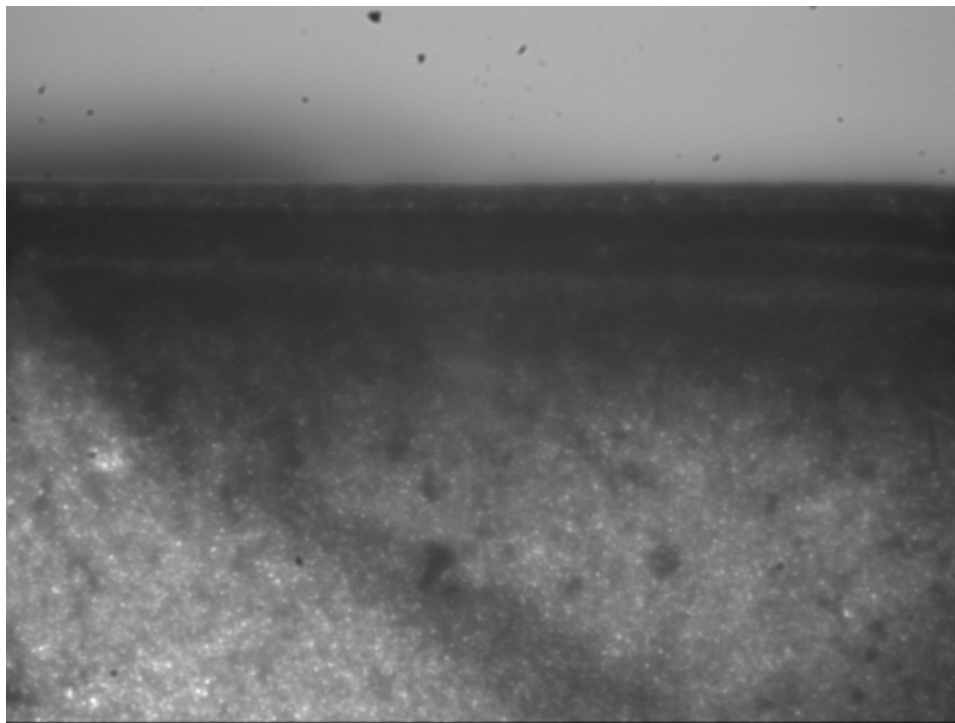


Figura 19. Imagen de desgaste a 315 m/min y 20 min de mecanizado

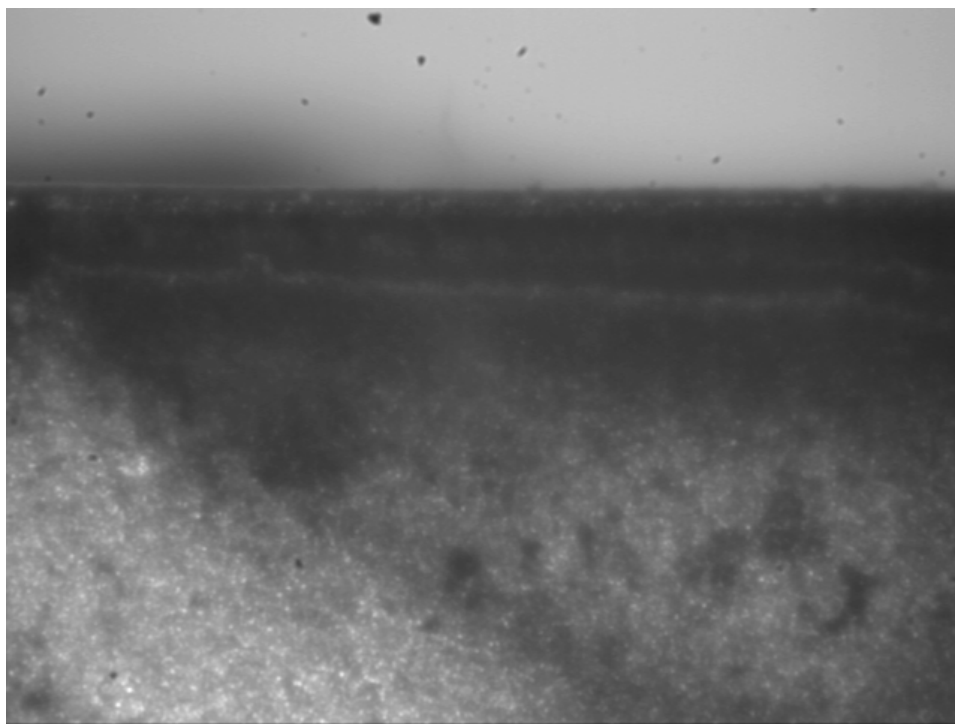


Figura 20. Imagen de desgaste a 315 m/min y 22,4 min de mecanizado

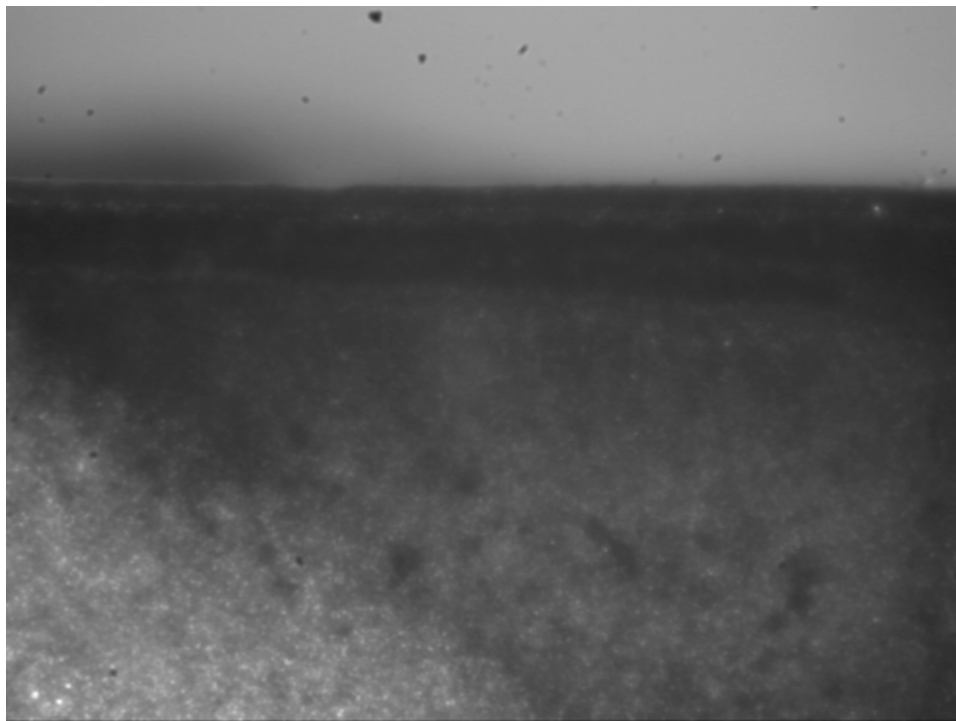


Figura 21. Imagen de desgaste a 315 m/min y 23,6 min de mecanizado

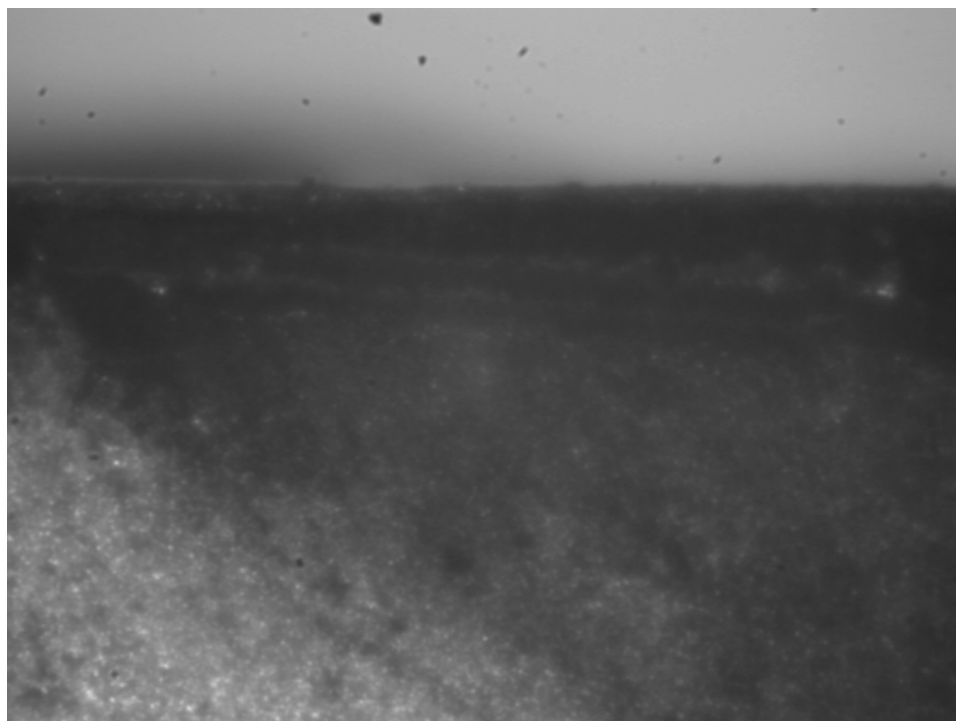


Figura 22. Imagen de desgaste a 315 m/min y 24,28 min de mecanizado (falla)

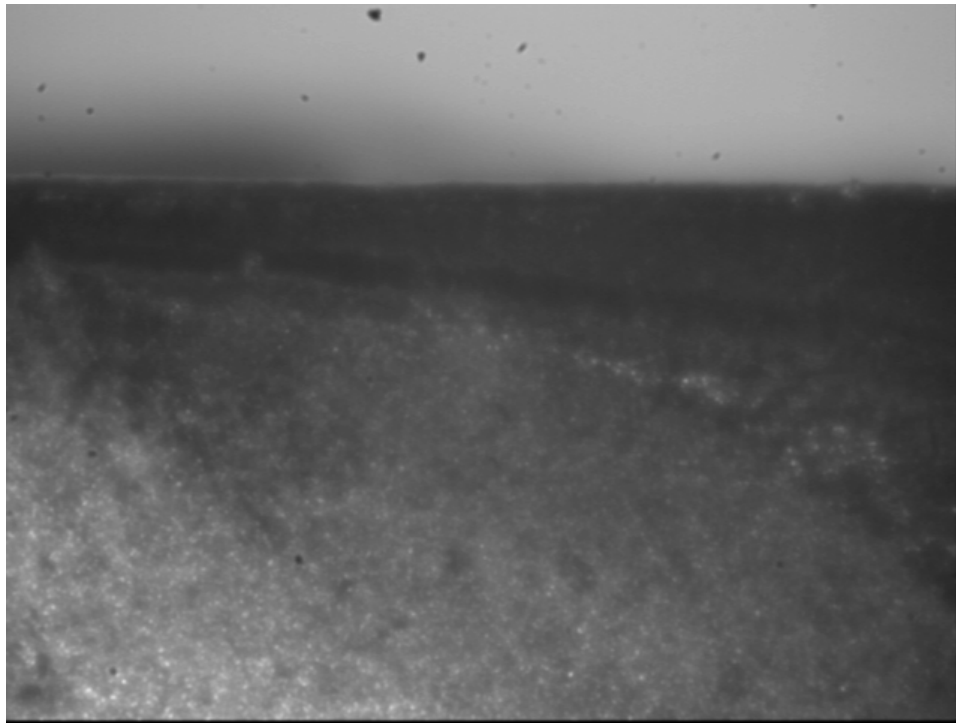


Figura 23. Imagen de desgaste a 400 m/min y 0 min de mecanizado

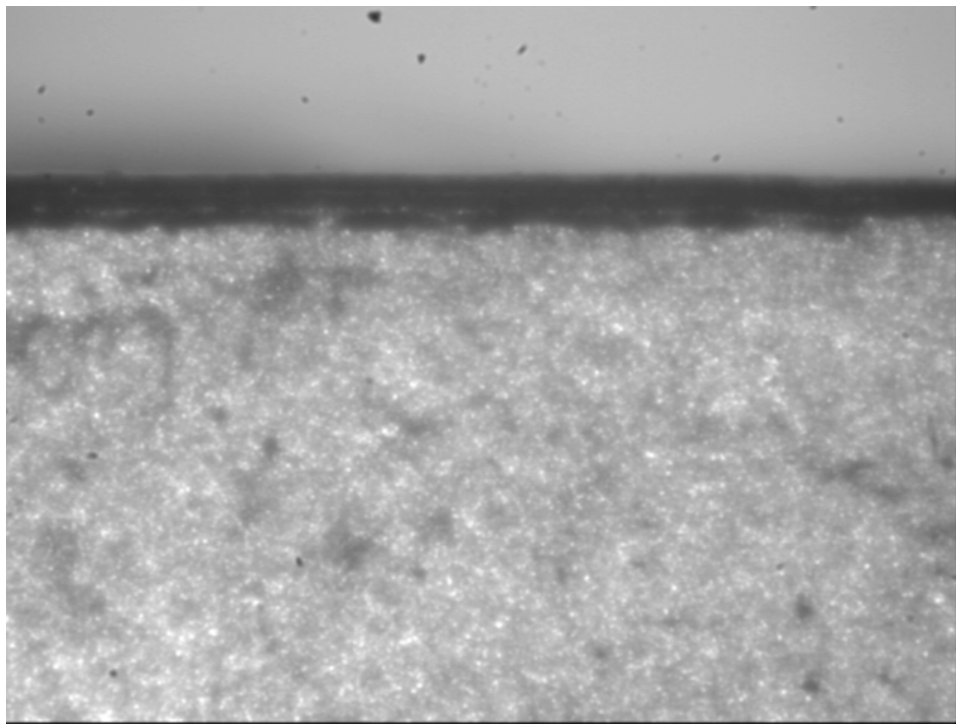


Figura 24. Imagen de desgaste a 400 m/min y 2 min de mecanizado

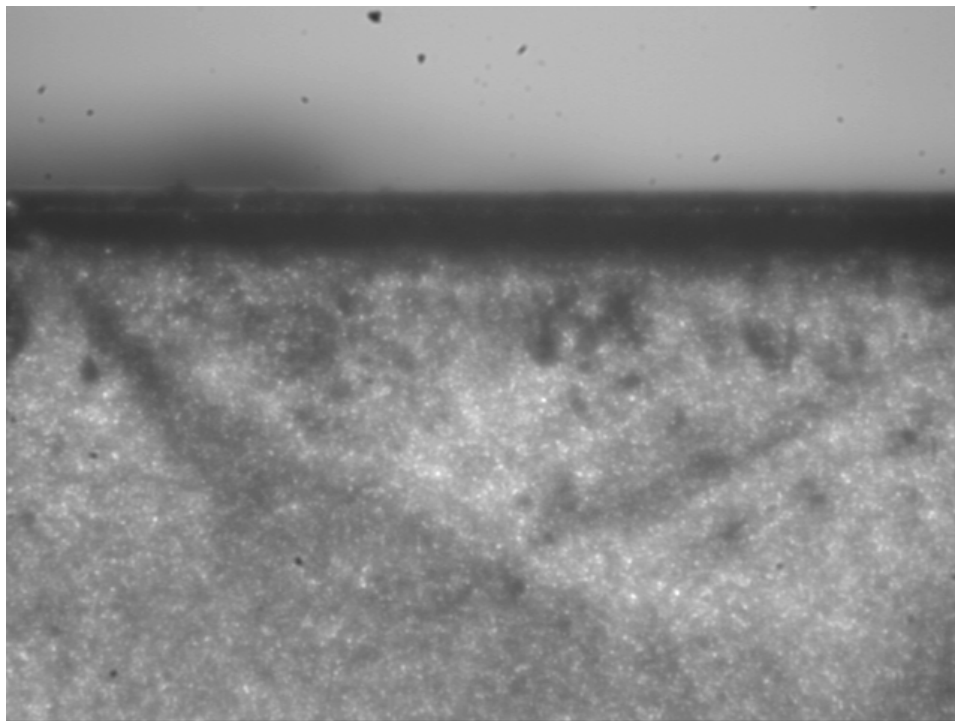


Figura 25. Imagen de desgaste a 400 m/min y 4 min de mecanizado

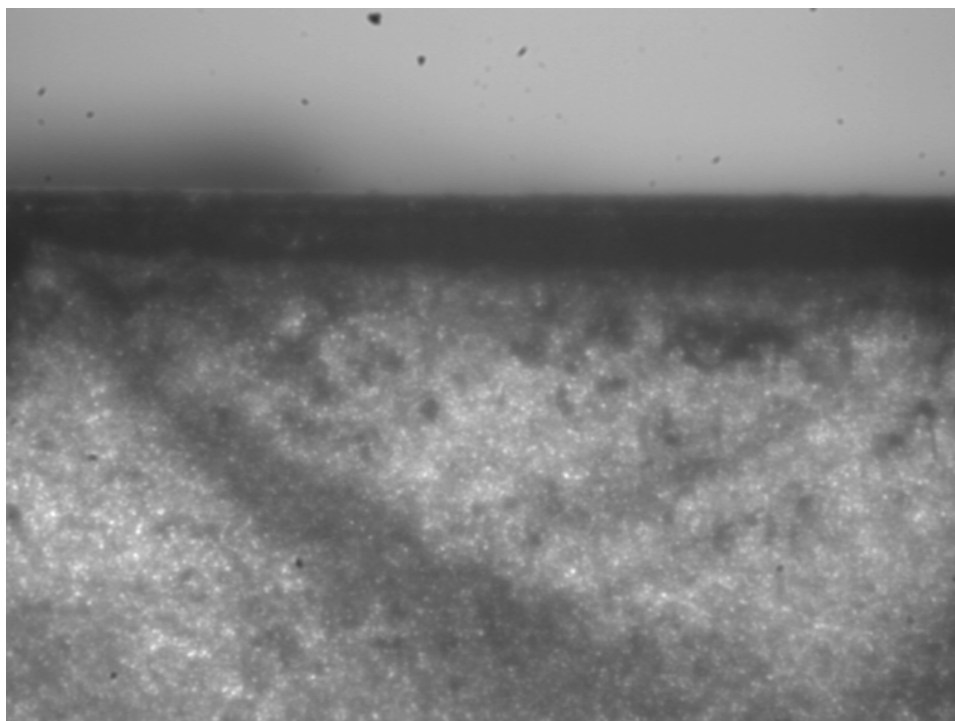
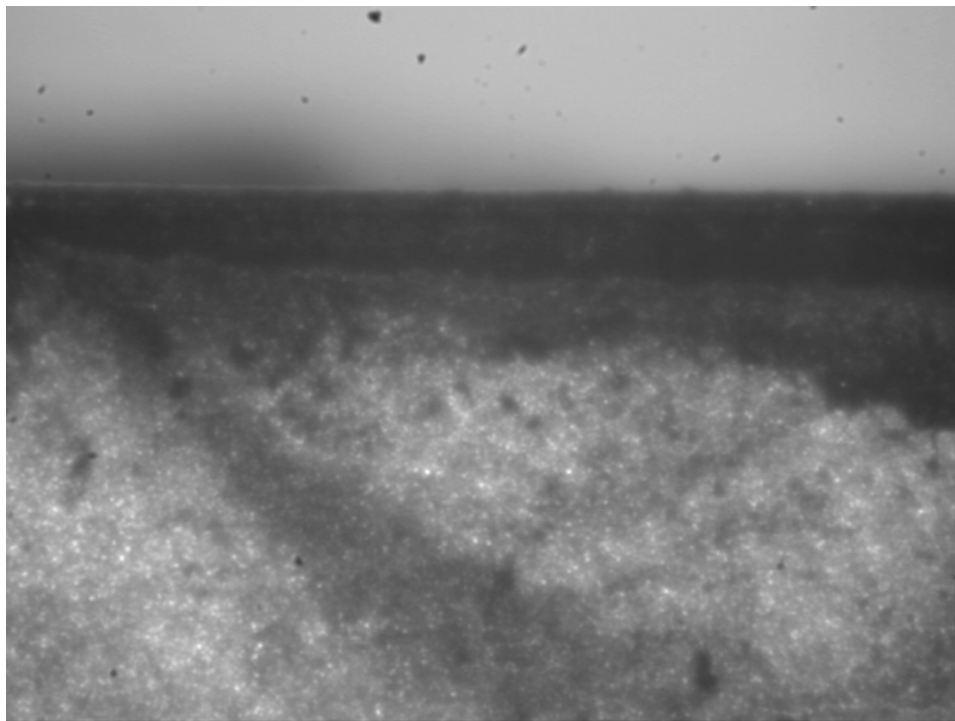


Figura 26. Imagen de desgaste a 400 m/min y 5,3 min de mecanizado



ANEXO H. FACTURAS DE MATERIALES

Factura de Aceros Industriales S.A. para el acero ASTM 1045



ACEROS INDUSTRIALES
NIT. 890.918.272-7
RÉGIMEN COMÚN
www.acerosindustriales.com

FACTURA CAMBIARIA DE COMPRAVENTA No. 01-0139768⁶

CLIENTE: CARLOS SANCHEZ CLL 34 No. 43-09 B. ALVAREZ 6456894 BUCARAMANGA A.A: Nit: 13722402 CODIGO: 40V41 CN	
FECHA FACTURA: DICIEMBRE 27 2005	VENCE: DICIEMBRE 27 2005
CONDICIONES DE PAGO: CONTADO	VENDEDOR/DIVISION: 11 0 0
PEDIDOS INTERNOS:	PEDIDOS CLIENTE: 0

04 Dic 01 2005 14:33:34

CÓDIGO	DESCRIPCION	UNID.	LONGITUD	KILOGRAMOS	PRECIO/KGM.	DCTO.	PARCIAL
200400	ORN RDO 4" PG 1045	5	40cm		99,500.00	3.50	480,088

FAVOR NO EFECTUAR RETENCION POR CONCEPTO DE INDUSTRIA Y COMERCIO - SOMOS CONTRIBUYENTES EN EL MUNICIPIO DE ITAGUI (ANT.)

TOTAL KILOS:	SUBTOTAL \$	DESCUENTO:	FLETES:	SEGUROS:	I.V.A.	TOTAL \$
.000	497,500	17,413			76,814	556,901

LA MERCANCIA ES FOB ITAGUI

CONDUCTOR: COLVANES	C.C.:	ORDEN DE CARGUE No. 342768552
AFILADO A:	TRANSPORTADOR: COLVANES	PLACAS:
FLETES PAGADEROS POR: ACEROS INDUSTRI	A RAZÓN DE \$	POR TONELADA:

CONSIGNESE EN: BCD, CREDITO CTA. 102356706 - RECAUDO BANCOLOMBIA CTA CTE 60400560553 CONVENIO 4481

COMPRADOR: CARLOS S.	TRANSPORTADOR:	OBSERVACIONES: ENVIAR CERTIFICADO DE CALIDAD.
----------------------	----------------	---



ACEROS INDUSTRIALES S.A.
Medellín • Colombia
Calle 26 No. 41 -140, Itagüí
Teléfono: (574) 372 12 12 • Fax: (574) 372 14 14
e-mail: info@acerosindustriales.com

Bogotá • Colombia
Calle 12 No. 39 - 35, Zona Industrial
Teléfono: (571) 360 10 11 • Fax: (571) 371 15 11
e-mail: bogota@acerosindustriales.com

SOMOS AUTORRETENEDORES SEGÚN RESOLUCIÓN 183 DE FEB./1986
SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES RES. 2509 DIC./1993

CONDICIONES
LA MERCANCÍA ENVIADA ES VENDIDA BAJO LA MODALIDAD "EXW" BODEGA ACEROS INDUSTRIALES Y SE ENTIEN ENTREGADA AL COMPRADOR UNA VEZ SE HAYA REMITIDO AL TRANSPORTADOR. LA FACTURA SE ENTIEN ACEPTADA ALINQUE SE FIRME POR UNA PERSONA DISTINTA AL COMPRADOR, LO QUE IMPLICA QUE DICHA PERSO ESTÁ AUTORIZADA EXPRESAMENTE, PARA FIRMAR COMO DEPENDIENTE LABORAL DEL COMPRADOR SI ES FACTURA CAMBIARIA DE COMPRAVENTA, LA CUAL SE ASIMILA EN SUS EFECTOS A UNA LETRA DE CAMBIO (ART. 7 DEL CÓDIGO DE COMERCIO) NO ES CANCELADA A SU VENCIMIENTO CAUSARÁ INTERESES MORATORIOS.

RESOLUCION DIAN No. 110000189530 FECHA: 2004/12/22 DESDE EL No. 01-0120001 HASTA EL No. 01-0140000 AUTORIZA
RESOLUCION DIAN No. 110000212921 FECHA: 2005/06/07 DESDE EL No. 01-0140001 HASTA EL No. 01-0160000 AUTORIZA

ACEROS INDUSTRIALES S.A. NIT. 890.918.272-7 MEDALLA 278846
CERTIFICADO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
Código No. 1074-1
Instituciones y organizaciones de actividades relacionadas con el comercio exterior
NTC-80 9601-2000

- CLIENTE -

Factura de Hefimec Ltda para el portaherramientas DCLNL 2020K 12 y los insertos CNMG 120408 PM 4025

	HERRAMIENTAS EFICIENTES PARA MECANIZADO HEFIMEC LTDA.						
	Carrera 60 No. 16-07 Bogotá, D.C.		Tels.: 262 5340 - 262 5865 - 260 3412 260 3806 Fax: 290 3240				
NIT. 830.065.427-1 SOMOS AUTORRETENEDORES RESOLUCION No. 8218 DE SEP. 9 - 2005 IVA REGIMEN COMUN - NO SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES ACTIVIDAD ECONOMICA 5241-2 TARIFA ICA 11.04 x 1000		FACTURA CAMBIARIA DE COMRAVENTA		00000012396 No. AP 012396			
NOMBRE : SANCHEZ REYES CARLOS DIRECCION : CALLE 104C No. 12-46 CIUDAD : BUCARAMANGA NIT ó C. C. : 13,722,402 CODIGO :		TELS : 00006372699 FAX : 00000000000		FECHA FACTURA : 2005 12 02 FORMA DE PAGO : CONTADO VENCIMIENTO : 2005 12 02			
SU ORDEN No. PERSONAL		CONTACTO					
ITEM	REFERENCIA	DESCRIPCION	LOCAL	CANTIDAD	U.M.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
01	DCLNL 2020K 12	PORTAHTAS TORNEADO	0001	1.00	PZ	160,000.00	160,000.00
02	CNMG 120408-PM 4025	INSERTO TORNEADO	0001	1.00	PZ	20,000.00	20,000.00
• ESTA FACTURA CAMBIARIA DE COMRAVENTA SE ASIMILA EN TODOS SUS EFECTOS LEGALES A LA LETRA DE CAMBIO, SEGUN EL ARTICULO 774 DEL C.C. • ACEPTADA: FIRMA AUTORIZADA PARA FIRMAR, RECIBIR, CONFESAR LA DEUDA Y OBLIGAR AL DEUDOR. EN CASO DE MORA EN EL PAGO CAUSARA INTERESES A LA TASA MAXIMA LEGAL VIGENTE. • FAVOR GIRAR CHEQUE CON CRUCE DE PRIMER BENEFICIARIO A NOMBRE DE HEFIMEC LTDA.						TOTAL BRUTO FLETES I.V.A. RETEFUENTE RETEIVA RETEICA	160,000.00 0.00 28,800.00 0.00 0.00 0.00
SON: DOSCIENTOS OCHO MIL OCHOCIENTOS PESOS M/CTE						TOTAL 208,800.00	
OBSERVACIONES: FAVOR EFECTUAR SU PAGO MEDIANTE CONSIGNACION A LA CUENTA CORRIENTE No. 051-99046-3 DEL BANCAFE A NOMBRE DE HEFIMEC LTDA.							
FIRMA Y SELLO AUTORIZADOS 				FIRMA Y SELLO CLIENTE NIT ó C. C.			

RESOLUCION DIAN No. 300000322947 FECHA: 20050426 -01- DELAP 11001 ALAP 18000

Impreso por ALFA-PRINT S.A. NIT. 960.070.986-3 986.344.03 11 - 07/2006

ANEXO I. CERTIFICADO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

RAMPRAS STEEL INDUSTRIES PRIVATE LTD. ENGINEERS & MANUFACTURERS

ADDRESS: B-5, MIDC BLDG/PER IND. ESTATE, KULGAON-421 403,
DIST. THANE, MAHARASHTRA, INDIA.
PHONE 91-22-2490 866 • 2491 911

WEBSITE: www.rampra.com

ACEROS INDUSTRIALES S.A.

CALLE 26 N. 41-140,

ITAGUI,

COLOMBIA

HEAD OFFICE

A-11, SHRIRAM FULFURAL ESTATE,
NEAR WADALA TELEPHONE EXCHANGE,
WADALA, MUMBAI - 40001, INDIA.
PHONE 91-22-2411 0147 • FAX - 91-22-2418 0684

EMAIL: info@rampra.com, rampra@verifone.net

Invoice No. : XPI/COM/150/2004-05

Date : 16.11.04

DATE: 22.11.04

CHEMICAL COMPOSITION CERTIFICATE

L/C NO. 16733-D DTD. 16.09.04
ISSUED BY: BANCO DE OCCIDENTE, MEDELLIN, COLOMBIA.

CHEMICAL PROPERTIES

Heat No.	Grade	Section DIA	No. Of Pcs	Qty. M.T.	C	Mn	Si	S	P	Ps	Ni	Cu	Mo	Ti	Al
410759	SI 1C45	3 1/4"		10.707	0.44	0.75	0.24	0.014	0.026						
411181	SI 1C45	3 1/2"		10.920	0.43	0.80	0.24	0.031	0.032						
411181	SI 1C45	4"		11.793	0.43	0.80	0.24	0.031	0.032						
411181	SI 1C45	4 1/2"		8.892	0.43	0.80	0.24	0.031	0.032						
410759	SI 1C45	5"		11.560	0.44	0.75	0.24	0.014	0.026						

PHYSICAL / MECHANICAL / TECHNICAL PROPERTIES

Heat No.	Size (mm) DIA	Grain Size (ASTM) E 112	INCLUSION RATING (ASTM E 45)			Test Condition	TENSILE STRENGTH			Hardness BHN	ppra		
			A	B	C		U.T.S. Kg/mm ²	Y.S. 0.2% Ps Kg/mm ²	% EL			% R.A	
410759	1 1/4"								650	395	21.0		
411181	1 1/2"								630	410	25.0		
411181	4"								645	380	24.0		
411181	1 1/2"								670	385	22.0		
410759	5"								690	398	23.0		

For Rampra Steel Industries Pvt.Ltd.



Auth: *[Signature]*
Auth. Laboratory

Process Route: EAF - AOD - LF - CCP

- Ca - Si Treatment Done
- Material is free from mercury Contamination
- 100 % fix-up test done - Satisfactory

Remarks: The material supplied confirms to the specifications mentioned above.

APROBADO POR: *[Signature]*
Thony Peña

ANEXO K. CÁLCULO DEL MATERIAL DE TRABAJO

CÁLCULO DEL MATERIAL PARA MECANIZADO CON HERRAMIENTA DE METAL DURO RECUBIERTO

PARAMETROS DE CORTE		DIMENSIONES DE LA PROBETA		MATERIAL	Acero	1045
f	0,25 mm/rev	Largo L	350 mm	Densidad	7870	Kg/m ³
ap	2,5 mm	D max	100 mm	L/D	3,5	
		D min	35 mm	L/D	10	
		L mordaza	30 mm	CONSTANTES DE TAYLOR SUGERIDAS		
				C	700	n
				n	0,25	
Veloc. de corte		MRR	Tiempo de mecaniz	Vol mecanizado	Peso	
Vc 1	250 m/mim	156250 mm ³ /min	61,5 min	9,60 dm ³	75,58	Kg
Vc 2	315 m/mim	196875 mm ³ /min	24,4 min	4,80 dm ³	37,78	Kg
Vc 3	400 m/mim	250000 mm ³ /min	9,4 min	2,34 dm ³	18,45	Kg
		Total	95,2 min	Total 16,75 dm ³	Total	131,82 Kg
Vol mec/prob	No de probetas	Vol Total		Velocidad max	Veloc min	
2,757 dm ³	Vc 1 3,48	10,94 dm ³	2274 rpm	796 rpm		
	Vc 2 1,74	5,47 dm ³	2865 rpm	1003 rpm		
	Vc 3 0,85	2,67 dm ³	3638 rpm	1273 rpm		
	Total 6,08	Total 19,09 dm ³				
				Peso Total 150,2 Kg		

Las casillas de color verde representan los datos editables.

Las casillas de color azul son el producto de cálculos de las casillas verdes y/o de otras casillas azules como se indica a continuación:

- $$MRR = f \cdot a_p \cdot V_c \cdot 1000 \left[\frac{mm^3}{min} \right]$$
- $$Tiempo\ de\ mecanizado = \left(\frac{C}{V_c} \right)^{1/n} [min]$$
- $$Vol\ mecanizado = \frac{MRR \cdot Tiempo\ de\ mecanizado}{1000000} [dm^3]$$
- $$Peso = \frac{Densidad \cdot Vol\ mecanizado}{1000} [Kg]$$
- $$Vol\ mec / prob = \frac{\pi \cdot (D_{max}^2 - D_{min}^2) \cdot (L + L_{mordaza} + 20)}{4 \cdot 1000000} [dm^3]$$
- $$Vol\ no\ mec / prob = \frac{\pi \cdot D_{min}^2 \cdot (L + L_{mordaza} + 20)}{4 \cdot 1000000} [dm^3]$$
- $$No\ de\ probetas = \frac{Vol\ mecanizado}{Vol\ mec / prob}$$
- $$Vol\ total = \frac{Vol\ mec / prob + Vol\ no\ mec / prob}{No\ de\ probetas} [dm^3]$$
- $$Peso\ total = \frac{Vol\ total \cdot Densidad}{1000} [Kg]$$

Además se puede determinar el rango de revoluciones por minuto en las cuales se va a realizar el ensayo a partir de:

- $$rpm = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

Prueba con $V_c=250$ m/min								
V_c [m/min]	D_o [mm]	N [rpm]	$f_r = S*0,25$ [mm/min]	L [mm]	T_m [min]	No. Medición	Duración [min]	T_m total [min]
250	100	796	198,94	350	1,76	1	2	2
250	95	838	209,41	50,4	0,24	1		
250	95	838	209,41	299,6	1,43	2	2	4
250	90	884	221,05	125,9	0,57	2		
250	90	884	221,05	224,1	1,01	3	4	8
250	85	936	234,05	350	1,50	3		
250	80	995	248,68	350	1,41	3		
250	75	1061	265,26	22,1	0,08	3		
250	75	1061	265,26	327,9	1,24	4	4,5	12,5
250	70	1137	284,21	350	1,23	4		
250	65	1224	306,07	350	1,14	4		
250	60	1326	331,57	294,7	0,89	4		
250	60	1326	331,57	55,3	0,17	5	3,5	16
250	55	1447	361,72	350	0,97	5		
250	50	1592	397,89	350	0,88	5		
250	45	1768	442,10	350	0,79	5		
250	40	1989	497,36	350	0,70	5		
250	100	796	198,94	350	1,76	6	4	20
250	95	838	209,41	350	1,67	6		
250	90	884	221,05	125,9	0,57	6		
250	90	884	221,05	224,0	1,01	7	5	25

ANEXO I. CONDICIONES DE CORTE PARA ENSAYO

V_c [m/min]	D_o [mm]	N [rpm]	$f_r = S*0,25$ [mm/min]	L [mm]	T_m [min]	No. Medición	Duración [min]	T_m total [min]
250	85	936	234,05	350	1,50	7		
250	80	995	248,68	350	1,41	7		
250	75	1061	265,26	287,5	1,08	7		
250	75	1061	265,26	62,5	0,24	8	6,5	31,5
250	70	1137	284,21	350	1,23	8		
250	65	1224	306,07	350	1,14	8		
250	60	1326	331,57	350	1,06	8		
250	55	1447	361,72	350	0,97	8		
250	50	1592	397,89	350	0,88	8		
250	45	1768	442,10	350	0,79	8		
250	40	1989	497,36	96,9	0,19	8		
250	40	1989	497,36	253,1	0,51	9	8,5	40
250	100	796	198,94	350	1,76	9		
250	95	838	209,41	350	1,67	9		
250	90	884	221,05	350	1,58	9		
250	85	936	234,05	350	1,50	9		
250	80	995	248,68	350	1,41	9		
250	75	1061	265,26	19,7	0,07	9		
250	90	884	221,05	15,2	0,07	10	2,5	42,5
250	85	936	234,05	53	0,23	10		
250	80	995	248,68	53	0,21	10		
250	75	1061	265,26	53	0,20	10		

V_c [m/min]	D_o [mm]	N [rpm]	$f_r = S*0,25$ [mm/min]	L [mm]	T_m [min]	No. Medición	Duración [min]	T_m total [min]
250	70	1137	284,21	53	0,19	10		
250	65	1224	306,07	53	0,17	10		
250	60	1326	331,57	53	0,16	10		
250	55	1447	361,72	53	0,15	10		
250	50	1592	397,89	53	0,13	10		
250	45	1768	442,10	53	0,12	10		
250	40	1989	497,36	53	0,11	10		
250	35	2274	568,41	53	0,09	10		
250	30	2653	663,15	53	0,08	10		
250	100	796	198,94	53	0,27	10		
250	95	838	209,41	53	0,25	10		
250	90	884	221,05	16,2	0,07	10		
250	90	884	221,05	36,8	0,17	11	2,5	45
250	85	936	234,05	53	0,23	11		
250	80	995	248,68	53	0,21	11		
250	75	1061	265,26	53	0,20	11		
250	70	1137	284,21	53	0,19	11		
250	65	1224	306,07	53	0,17	11		
250	60	1326	331,57	53	0,16	11		
250	55	1447	361,72	53	0,15	11		
250	50	1592	397,89	53	0,13	11		
250	45	1768	442,10	53	0,12	11		
250	40	1989	497,36	53	0,11	11		

V_c [m/min]	D_o [mm]	N [rpm]	$f_r = S*0,25$ [mm/min]	L [mm]	T_m [min]	No. Medición	Duración [min]	T_m total [min]
250	35	2274	568,41	53	0,09	11		
250	30	2653	663,15	53	0,08	11		
250	100	796	198,94	53	0,27	11		
250	95	838	209,41	47,9	0,23	11		
250	95	838	209,41	5,1	0,02	12	2,5	47,5
250	90	884	221,05	53	0,24	12		
250	85	936	234,05	53	0,23	12		
250	80	995	248,68	53	0,21	12		
250	75	1061	265,26	53	0,20	12		
250	70	1137	284,21	53	0,19	12		
250	65	1224	306,07	53	0,17	12		
250	60	1326	331,57	53	0,16	12		
250	55	1447	361,72	53	0,15	12		
250	50	1592	397,89	53	0,13	12		
250	45	1768	442,10	53	0,12	12		
250	40	1989	497,36	53	0,11	12		
250	35	2274	568,41	53	0,09	12		
250	30	2653	663,15	53	0,08	12		
250	100	796	198,94	53	0,27	12		
250	95	838	209,41	27,5	0,13	12		
Prueba con $V_c=315$ m/min								
V_c [m/min]	D_o [mm]	N [rpm]	$f_r = S*0,25$ [mm/min]	L [mm]	T_m [min]	No. Medición	Duración [min]	T_m total [min]
315	75	1337	334,23	330,30	0,99	1	2	2

V_c [m/min]	D_o [mm]	N [rpm]	$f_r = S*0,25$ [mm/min]	L [mm]	T_m [min]	No. Medición	Duración [min]	T_m total [min]
315	70	1432	358,10	350	0,98	1		
315	65	1543	385,64	13,25	0,03	1		
315	65	1543	385,64	336,75	0,87	2	2	4
315	60	1671	417,78	350	0,84	2		
315	55	1823	455,76	131,73	0,29	2		
315	55	1823	455,76	218,27	0,48	3	4	8
315	50	2005	501,34	350	0,70	3		
315	45	2228	557,04	350	0,63	3		
315	40	2507	626,67	350	0,56	3		
315	100	1003	250,67	350	1,40	3		
315	95	1055	263,86	63,29	0,24	3		
315	95	1055	263,86	286,71	1,09	4	4,5	12,5
315	90	1114	278,52	350	1,26	4		
315	85	1180	294,90	350	1,19	4		
315	80	1253	313,34	303,92	0,97	4		
315	80	1253	313,34	36,66	0,12	5	3,5	16
315	75	1337	334,23	350	1,05	5		
315	70	1432	358,10	350	0,98	5		
315	65	1543	385,64	350	0,91	5		
315	60	1671	417,78	188,35	0,45	5		
315	60	1671	417,78	161,65	0,39	6	4	20
315	55	1823	455,76	350	0,77	6		
315	50	2005	501,34	350	0,70	6		

V_c [m/min]	D_o [mm]	N [rpm]	$f_r = S*0,25$ [mm/min]	L [mm]	T_m [min]	No. Medición	Duración [min]	T_m total [min]
315	45	2228	557,04	350	0,63	6		
315	40	2507	626,67	350	0,56	6		
315	60	1671	417,78	27,50	0,07	6		
315	55	1823	455,76	350	0,77	6		
315	50	2005	501,34	63,37	0,13	6		
315	50	2005	501,34	286,63	0,57	7	2,4	22,4
315	45	2228	557,04	350	0,63	7		
315	40	2507	626,67	350	0,56	7		
315	100	1003	250,67	21,13	0,08	7		
315	95	1055	263,86	53	0,20	7		
315	90	1114	278,52	53	0,19	7		
315	85	1180	294,90	48,68	0,17	7		
315	80	1253	313,34	53	0,17	8	1,2	23,6
315	75	1337	334,23	53	0,16	8		
315	70	1432	358,10	53	0,15	8		
315	65	1543	385,64	53	0,14	8		
315	60	1671	417,78	53	0,13	8		
315	55	1823	455,76	53	0,12	8		
315	50	2005	501,34	53	0,11	8		
315	45	2228	557,04	53	0,10	8		
315	40	2507	626,67	53	0,08	8		
315	35	2865	716,20	41,72	0,06	8		
315	35	2865	716,20	11,28	0,02	9	0,68	24,28

V_c [m/min]	D_o [mm]	N [rpm]	$f_r = S*0,25$ [mm/min]	L [mm]	T_m [min]	No. Medición	Duración [min]	T_m total [min]
315	30	3342	835,56	53	0,06	9		
315	25	4011	1002,68	53	0,05	9		
315	100	1003	250,67	53	0,21	9		
315	95	1055	263,86	53	0,20	9		
315	90	1114	278,52	37,76	0,14	9		
Prueba con $V_c=400$ m/min								
V_c [m/min]	D_o [mm]	N [rpm]	$f_r = S*0,25$ [mm/min]	L [mm]	T_m [min]	No. Medición	Duración [min]	T_m total [min]
400	100	1273	318,31	350	1,10	1	2	2
400	95	1340	335,06	301,71	0,90	1		
400	95	1340	335,06	48,29	0,14	2	2	4
400	90	1415	353,68	350	0,99	2		
400	85	1498	374,48	324,40	0,87	2		
400	85	1498	374,48	25,60	0,07	3	1,3	5,3
400	80	1592	397,89	350	0,88	3		
400	75	1698	424,41	149,39	0,35	3		
400	75	1698	424,41	200,61	0,47	4	2,6	7,9
400	70	1819	454,73	350	0,77	4		
400	65	1959	489,71	350	0,71	4		
400	60	2122	530,52	322,50	0,61	4		

En términos generales consistió en realizarse sucesivos mecanizados sobre las piezas de trabajo hasta llegar a un determinado tiempo de duración de maquinado. Este último se calculó a partir de la longitud torneada, que por pasada correspondía a 350 mm.

En las casillas se muestran los valores de los diferentes parámetros de corte usados durante el mecanizado en las tres diferentes pruebas, una para cada velocidad de corte, del ensayo para evaluar la vida del inserto CNMG 120408 PM 4025 en cilindrado.

El valor de D_o disminuye en cinco por ser la profundidad de corte a_p igual a 2,5 mm. El valor de la velocidad de rotación del husillo N se calcula de la ecuación 1, el valor de la velocidad de avance lineal f_r de la ecuación 2 y el tiempo de maquinado T_m de la ecuación 4. Además, se indica el número de mediciones para cada una de las velocidades de corte, así como el tiempo total de maquinado T_m total.

ANEXO M. PROGRAMACIÓN DEL MECANIZADO

Los valores resaltados en amarillo corresponden a valores editados a lo largo del mecanizado de acuerdo a los datos geométricos de la pieza y los datos tecnológicos del proceso realizado.

Tramos mecanizados de 350 mm de longitud.

O0010 (PROGRAMA)

N5 G21 G40 G99 *//Códigos preparatorios para establecer condiciones normales de trabajo
N10 G28 U0 W0 *//Home de máquina
N15 T0000 *
N20 G54 T0101 M4 S796 *//Especificar el cero de pieza, encender husillo en sentido antihorario a 796 rpm
N25 G0 Z3.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje Z
N30 G0 X45.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje X
N35 G1 Z-350.0 F0.25 *//Mecanizado en línea recta a un avance de 0.25 mm/min
N40 G0 X100.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje X
N45 Z3.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje Z
N50 X40.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje X
N55 G1 M4 S838 Z-350.0 *// Interpolación lineal, encender husillo en sentido antihorario a 838 rpm
N60 G0 X100.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje X
N61 Z3.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje Z
N62 X35.0 M4 S884 *//Encender husillo en sentido antihorario a 884 rpm
N63 G1 Z-350.0 F0.25 *//Mecanizado en línea recta a un avance de 0.25 mm/min
N64 G0 X100.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje X
N65 G0 Z3.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje Z
N70 X55.0 M4 S936 *//Encender husillo en sentido antihorario a 936 rpm
N75 G1 Z-350.0 F0.25 *//Mecanizado en línea recta a un avance de 0.25 mm/min
N80 G0 X100.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje X
N85 G0 Z3.0 *//Posicionamiento en marcha rápida en el eje Z

N90 M5 *//Apagar husillo
 N95 M30 *//Fin de programa
 %

Tramos mecanizados de 53 mm de longitud.

O0100 (PROGRAMA)

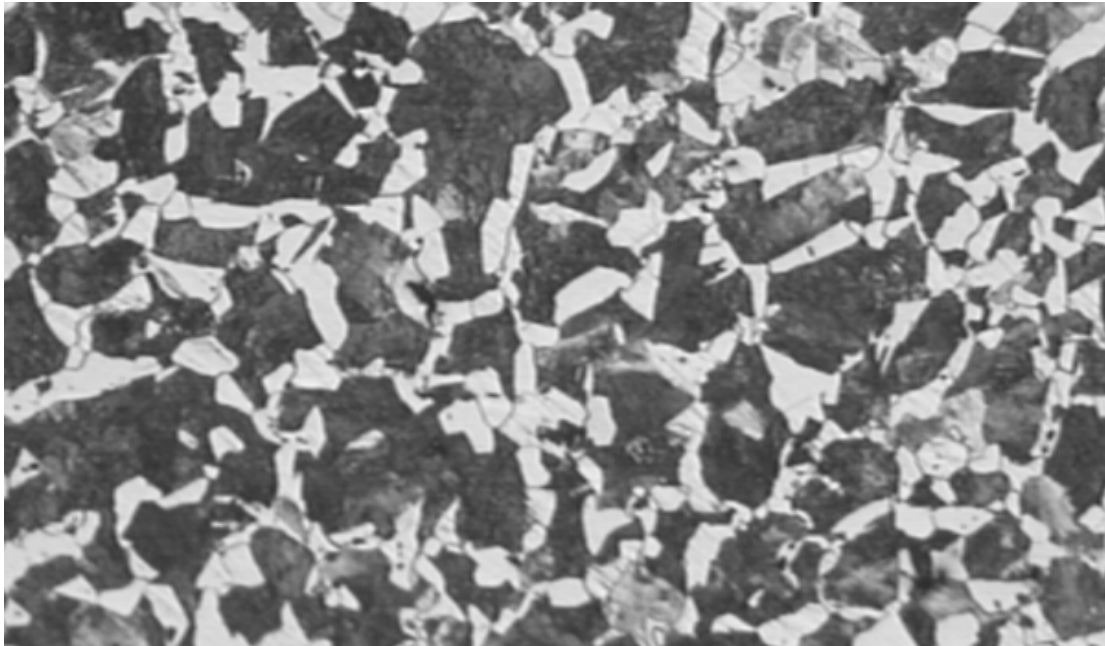
N5 G40 G21 G99 *
 N10 G28 U0 W0 *
 N20 M4 S796 T0101 *
 N25 G0 Z3.0 *
 N30 X35.0 *
 N35 M98 P010101 *//LLamado del subprograma
 N40 G0 X35.0 M4 S838 *
 N41 M98 P010101 *//LLamado del subprograma
 N44 G0 X30.0 *
 N45 G1 X35.0 M4 S884 *
 N70 G28 U0 W0 *
 N75 M5 *
 N80 M30 *
 %

O0101 (SUBPROGRAMA)

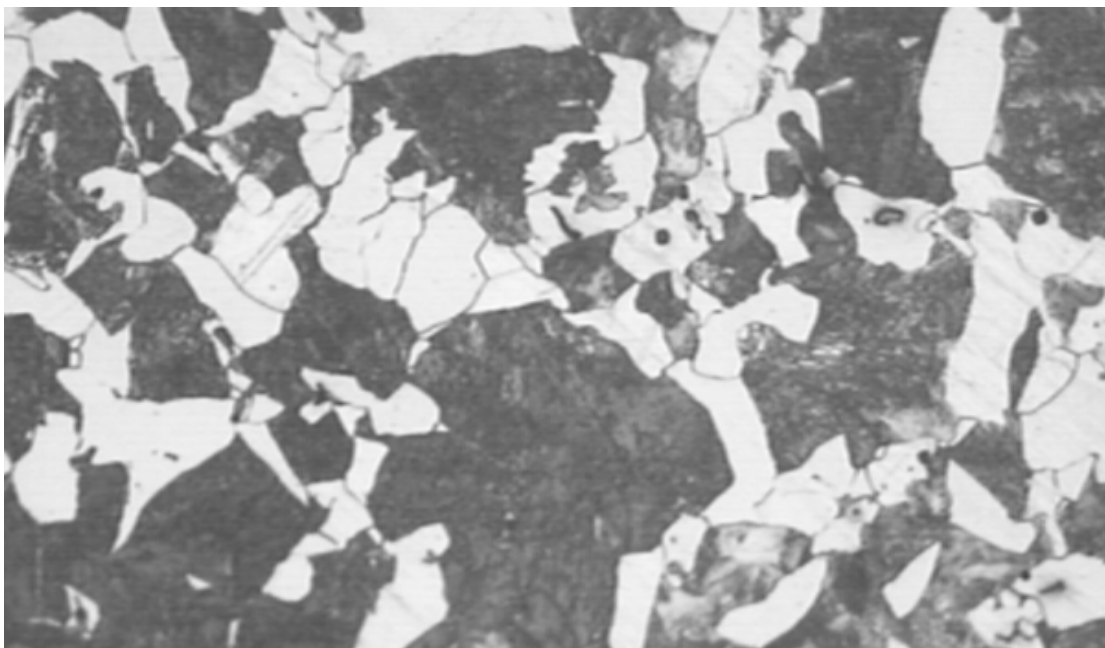
N5 G0 U-5.0 *
 N10 G1 Z-56.0 F0.25 *
 N15 G0 U5.0 *
 N20 Z3.0 *
 N25 G0 U5.0 *
 N30 M99 *//Fin del subprograma y retorno al programa principal
 %

ANEXO N. MICROFOTOGRAFÍAS DEL ACERO ASTM 1045

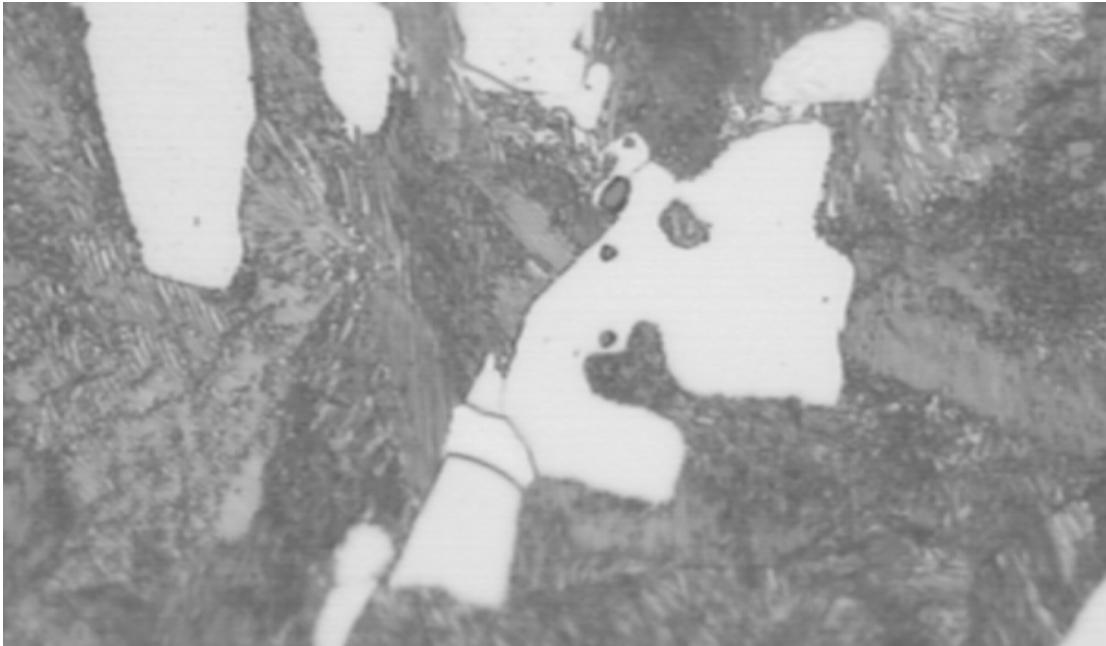
Microfotografía del acero ASTM 1045 a 100 x



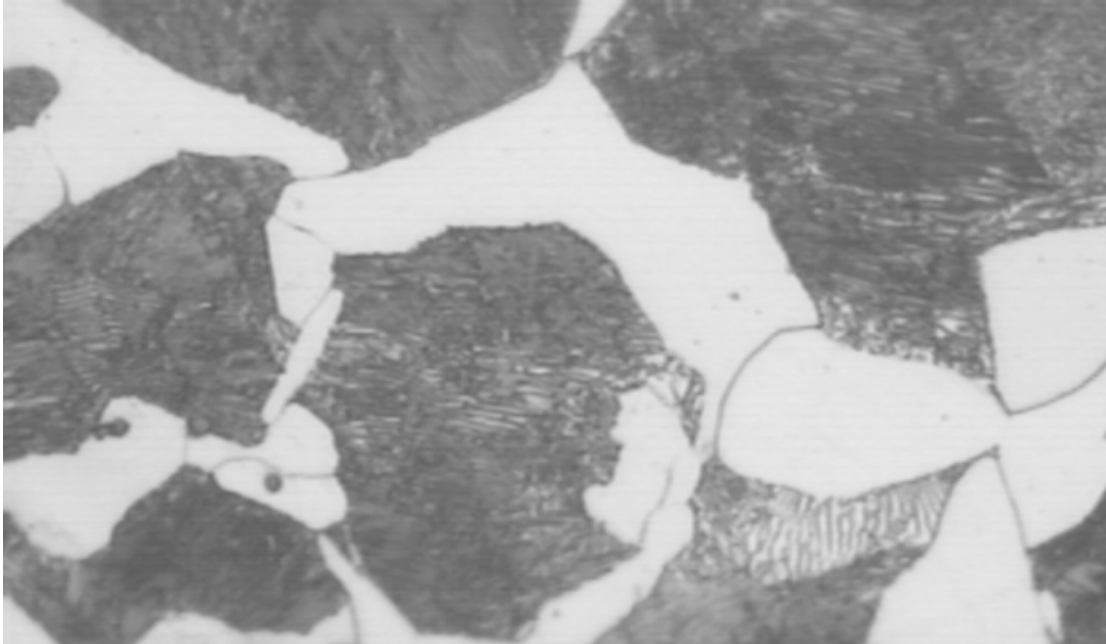
Microfotografía del acero ASTM 1045 a 200 x



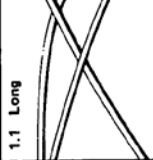
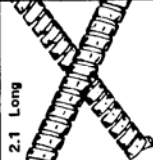

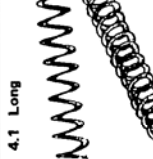










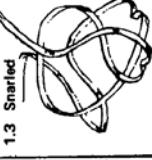



Microfotografía del acero ASTM 1045 a 500 x, toma 1



Microfotografía del acero ASTM 1045 a 500 x, toma 2



ANEXO O. FORMAS DE VIRUTA

1 RIBBON CHIPS*	2 TUBULAR CHIPS*	3 SPIRAL CHIPS	4 WASHER-TYPE HELICAL CHIPS*	5 CONICAL HELICAL CHIPS*	6 ARC CHIPS**	7 ELEMENTAL CHIPS	8 NEEDLE CHIPS
1.1 Long 	2.1 Long 	3.1 Flat 	4.1 Long 	5.1 Long 	6.1 Connected 		
1.2 Short 	2.2 Short 	3.2 Conical 	4.2 Short 	5.2 Short 	6.2 Loose 		
1.3 Snarled 	2.3 Snarled 		4.3 Snarled 	5.3 Snarled 			

* The direction of the chip is characterized by the third digit as follows :

- 1 Away from the workpiece and in the direction of feed motion (shown in the sketch).
- 2 Towards the workpiece and in the direction of feed motion.
- 3 Towards the workpiece and opposite to the direction of feed motion.
- 4 Away from the workpiece and opposite to the direction of feed motion.

Towards workpiece

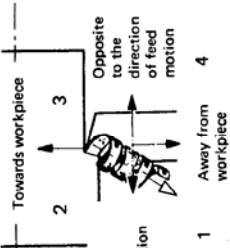
2

3

Opposite to the direction of feed motion

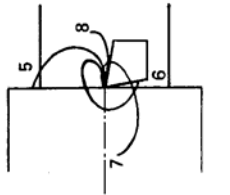
4

Away from workpiece



** Further subdivision is characterized by the third digit as follows :

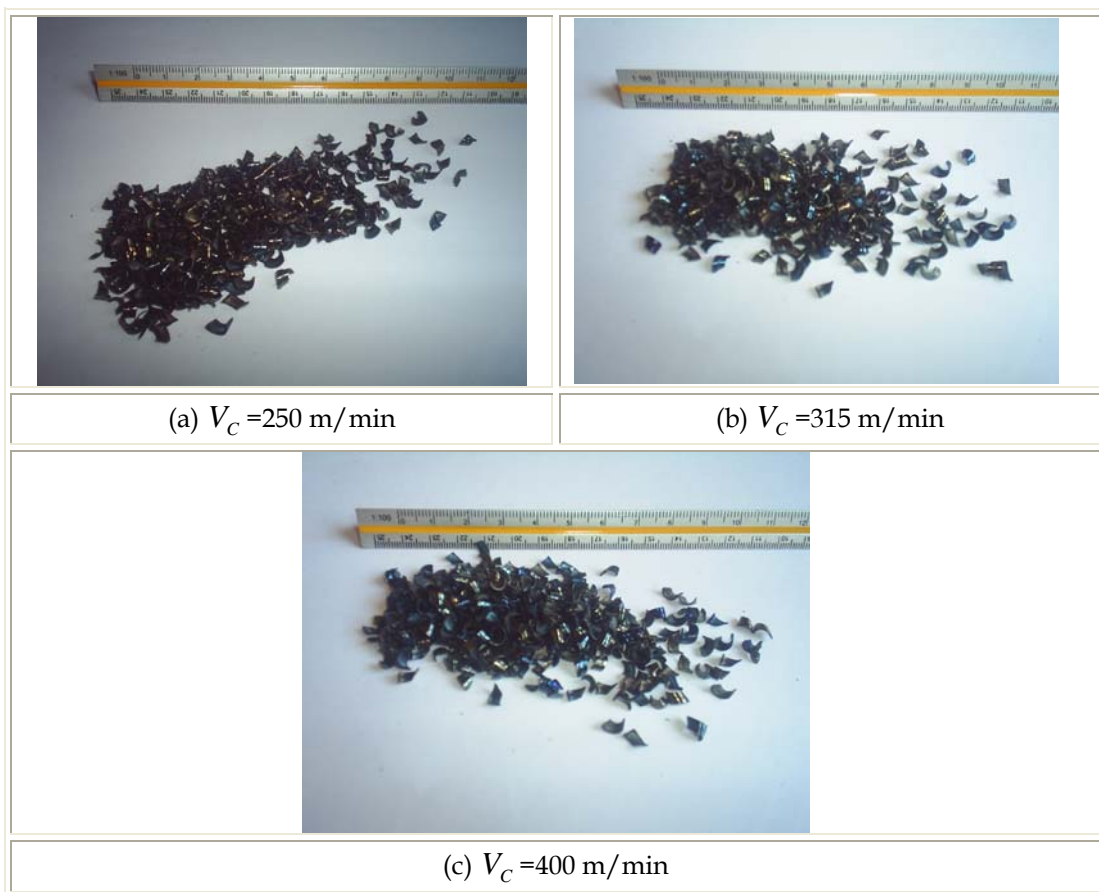
- 5 Broken against major cut surface
- 6 Broken against tool flank.
- 7 Broken against work surface.
- 8 Broken against machined surface.



Fuente: *The American Society of Mechanical Engineers. Tool life testing with single-point turning tools. 1985*

Los materiales en el proceso de corte influyen en la forma de la viruta, que varía de formas continuas a material desmenuzado. Diversos factores afectan la formación de virutas: el material de la pieza de trabajo, su resistencia, dureza, forma y tamaño; las condiciones de corte, en especial la profundidad y avance; la aplicación de fluido de corte; la geometría de la herramienta, el ángulo de ataque afecta la longitud, ancho y dirección de la viruta, y el radio de punta de la herramienta de corte.

A continuación se muestra fotografías de las virutas obtenidas en cada velocidad de corte del ensayo. De acuerdo a la tabla anterior de formas de virutas, éstas corresponden a la subdivisión 6.2.6, viruta en arco suelto con rotura contra el flanco de la herramienta.

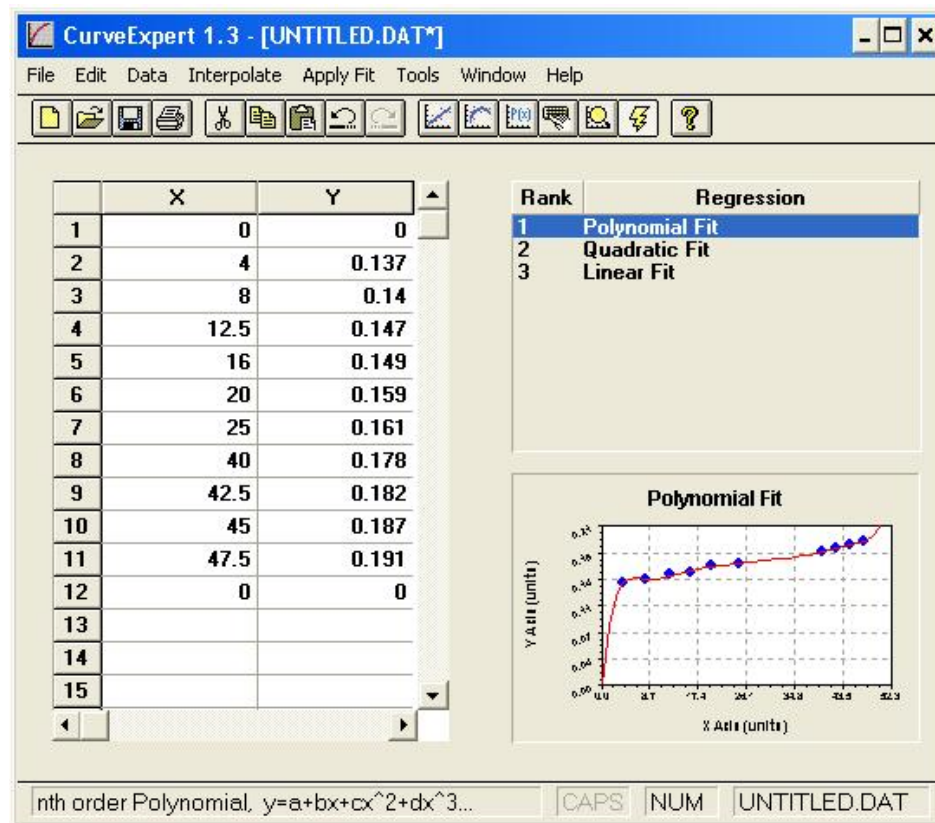


Fuente: Los autores.

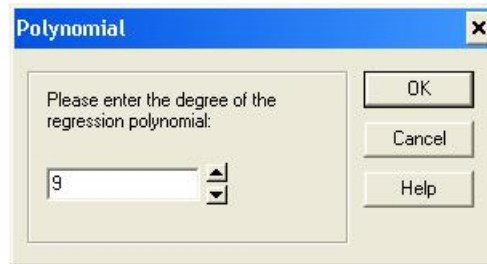
ANEXO P. CÁLCULO DEL TIEMPO DE FIN DE VIDA

Para determinar el tiempo de fin de vida del inserto para cada una de las velocidades de corte se empleó el software CurveExpert versión 1.3, mediante los siguientes pasos

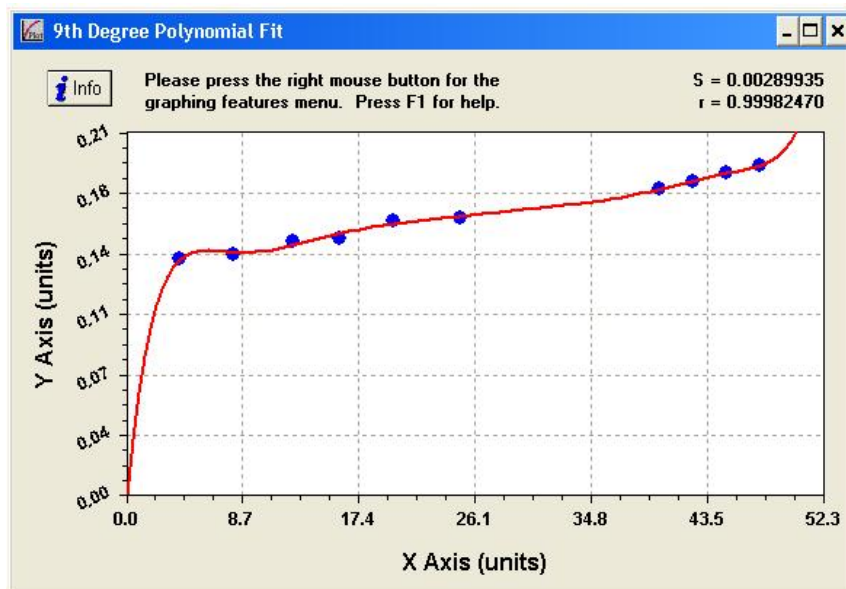
Paso 1. Introducir los tiempos de mecanizado en el eje X y los valores del ancho medio de desgaste del flanco en el eje Y. En la figura 1 se muestra la interface para la determinación de la curva con los valores correspondientes a la velocidad de 250 m/min.



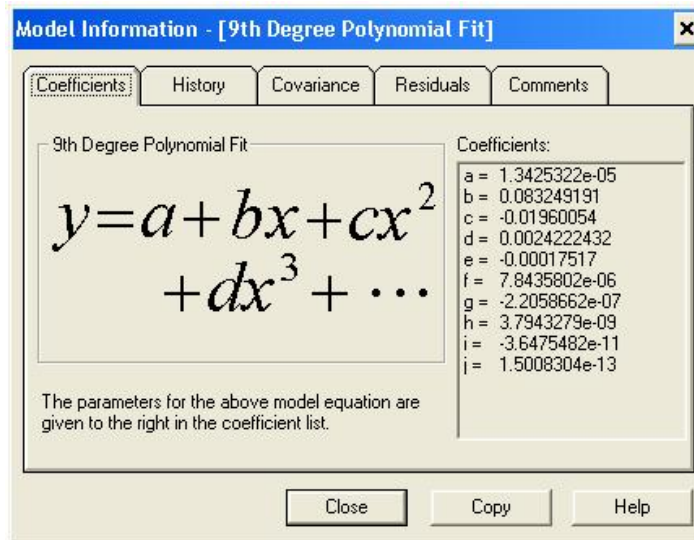
Se selecciona el icono 'Polynomial Fit' de la barra de herramientas y se selecciona el grado del polinomio.



Este procedimiento se realiza hasta que se alcance la curva que mejor se aproxime a los puntos de VB_B contra tiempo de mecanizado.

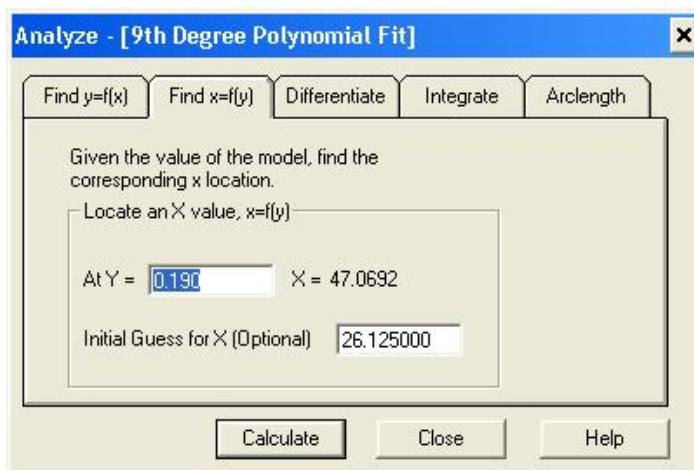


Al seleccionar el botón 'Info' se puede obtener la ecuación del polinomio que representa esta curva. Para los datos de la velocidad de 250 m/min se obtiene la siguiente ecuación.



$$VB_B = 1,3425322^{-05} + 0,083249191T_m - 0,01960054T_m^2 + 0,0024222432T_m^3 - 0,00017517T_m^4 + 7,8435802^{-06}T_m^5 - 2,2058662^{-07}T_m^6 + 3,7943279^{-09}T_m^7 - 3,6475482^{-11}T_m^8 + 1,5008304^{-13}T_m^9$$

Se busca el tiempo de mecanizado T_m para un desgaste VB_B de 0.190 mm, para ello se puede trabajar con la ecuación anterior o con una ayuda del software denominada 'Analyze' que puede encontrar el punto anterior. Para acceder a esta ayuda se oprime click derecho sobre la imagen de la curva.



El resultado para el ejemplo que se viene trabajando es 47,0692 min. Este valor corresponde al fin de vida del inserto CNMG 120408 PM 4025 en un proceso de torneado a una velocidad de 250m/min, 0.25 mm/rev de avance y 2.5 mm de profundidad de corte

Estos pasos se repiten para las otras velocidades de corte y los resultados se muestran en la siguiente tabla

Velocidad de corte V_c m/min	Tiempo de fin de vida T min
250	47,0692
315	19,4105
400	5,27086

ANEXO Q. DATOS DEL PROGRAMA DE MEDICIÓN DE DESGASTE

En la siguiente tabla se consignan los valores de umbral de binarización para la primera interfase del programa desarrollado en Matlab 7.0.

Imagen del filo original	Umbral de binarización
250_0	100
315_0	100
400_0	100

En la tabla que se enseña a continuación se indican los datos para introducir en la segunda interfase del programa si se ha seleccionado la imagen del filo original de '250_0', para determinar el desgaste del inserto.

Desgaste	Graythresh	se90	se45	se0	Diamond
250_4	0.0135	1	3	2	2
250_8	0.015	1	3	2	2
250_12,5	0.015	3	1	3	2
250_16	0.014	3	1	3	2
250_20	0.0135	3	1	3	2
250_25	0.014	3	1	6	2
250_40	0.0108	3	1	4	2
250_42,5	0.0115	3	1	4	2
250_45	0.0115	3	1	3	2
250_47,5	0.0115	3	1	3	3

En la siguiente tabla se indican los datos para introducir en la segunda interfase del programa si se ha seleccionado la imagen del filo original de '315_0', para determinar el desgaste del inserto.

Desgaste	Graythresh	se90	se45	se0	Diamond
315_2	0.012	3	1	4	2
315_4	0.014	2	1	4	2
315_8	0.013	2	1	4	2
315_12,5	0.0125	2	1	4	3
315_16	0.013	2	1	6	3
315_20	0.012	2	1	8	4
315_22,4	0.012	2	1	5	3
250_24,28	0.013	2	1	6	3

En la tabla que se enseña a continuación se indican los datos para introducir en la segunda interfase del programa si se ha seleccionado la imagen del filo original de '400_0', para determinar el desgaste del inserto.

Desgaste	Graythresh	se90	se45	se0	Diamond
400_2	0.014	3	1	3	2
400_4	0.014	2	1	4	3
400_5,3	0.015	2	1	6	4