



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EVOLUCIÓN DEL DESGASTE DE
LAS HERRAMIENTAS DE CORTE EN PROCESOS DE FRESADO DEL
ACERO AISI 304 LUBRICADOS MEDIANTE INUNDACIÓN Y
NANOCRIOMEKANIZADO”**

AUTOR: Juan José González Jiménez

TUTOR: Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención de Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EVOLUCIÓN DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE EN PROCESOS DE FRESADO DEL ACERO AISI 304 LUBRICADOS MEDIANTE INUNDACIÓN Y NANOCRIOMECHANIZADO”**, elaborado por el Sr. Juan José González Jiménez, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805272810, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



.....
Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan José González Jiménez, con C.I. 1805272810, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EVOLUCIÓN DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE EN PROCESOS DE FRESADO DEL ACERO AISI 304 LUBRICADOS MEDIANTE INUNDACIÓN Y NANOCRIOMECHANIZADO”**, así como su análisis, gráficos, diseño, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del Trabajo Experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



.....
Juan José González Jiménez

C.I. 1805272810

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública; además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



.....
Juan José González Jiménez

C.I. 1805272810

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Juan José González Jiménez de la Carrera de Mecánica, bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EVOLUCIÓN DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE EN PROCESOS DE FRESADO DEL ACERO AISI 304 LUBRICADOS MEDIANTE INUNDACIÓN Y NANOCRIOMECHANIZADO”**.

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis padres, Marco y Esthela, por ser los pilares inquebrantables de mi vida, les debo todo. Mil gracias por su amor incondicional, su apoyo y sacrificio constante.

A mis hermanos y familia por su aliento en cada paso del camino. Por ser mi soporte y motivación.

A mis estimados docentes que guiaron esta travesía académica con su sabiduría y conocimiento.

Con humildad y gratitud, dedico este trabajo a cada una de las personas que han sido parte de mí y han dejado una huella en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

En la culminación de este proyecto que hoy presento como fruto de mi esfuerzo y dedicación, agradezco a Dios por guiar mis pasos y brindarme la fortaleza en cada etapa durante este arduo camino.

A mis padres, mis hermanos y mi familia por su comprensión y apoyo. Su confianza en mí ha sido un impulso para alcanzar este logro.

A mis amigos con quien compartí experiencias desde el inicio de la Carrera hasta la etapa final en la elaboración de este trabajo. Les agradezco por compartir conmigo este viaje lleno de alegrías, desafíos y aprendizaje. Su presencia hizo a esta travesía más llevadera y significativa.

Al Ingeniero Diego Núñez, mi tutor y guía de esta propuesta. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su dedicación, su orientación y su paciencia.

A la empresa SUELDAS DEL VALLE, por su generosidad al prestar el cilindro de CO₂ necesario para llevar a cabo los experimentos. Su colaboración ha sido fundamental para el éxito de este trabajo y estoy profundamente agradecido por su apoyo.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xix
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xx
RESUMEN EJECUTIVO	xxi
ABSTRACT.....	xxii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos.....	1
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo general.....	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 Hipótesis.....	15
1.4 Señalamiento de las variables de la hipótesis	15
1.4.1 Variable dependiente.....	15
1.4.2 Variable independiente.....	15
1.5 Fundamentación teórica	15
1.5.1 Tecnología del mecanizado.....	15
1.5.2 Proceso de fresado.....	16
1.5.3 Operaciones de fresado	17

1.5.3.1 Fresado frontal	17
1.5.3.2 Fresado periférico.....	18
1.5.3.3 Fresado de acabado	18
1.5.4 Ángulos y superficies de la fresa	19
1.5.5 Régimen de corte.....	20
1.5.5.1 Velocidad de corte.....	20
1.5.5.2 Velocidad de avance	20
1.5.5.3 Profundidad de corte axial (ap).....	21
1.5.5.4 Profundidad de corte radial (ae).....	21
1.5.6 Herramientas de corte	21
1.5.7 Mecanismos de desgaste	22
1.5.7.1 Abrasión	23
1.5.7.2 Adhesión	24
1.5.7.3 Mecánico.....	24
1.5.7.4 Químico.....	25
1.5.7.5 Térmico	26
1.5.8 Vida de la herramienta de corte	27
1.5.9 Fórmula de Taylor.....	28
1.5.10 Material de la herramienta	30
1.5.10.1 Aceros Especiales.....	31
1.5.10.2 Aceros rápidos (HSS) y materiales relacionados.....	31
1.5.10.3 Carburo de Tungsteno sinterizado (WC-Co)	31
1.5.10.4 Cerámicos.....	33
1.5.10.5 Cermets	35
1.5.10.6 Policristalinos.....	35
1.5.11 Recubrimientos para herramientas.....	37
1.5.11.1 Métodos de recubrimiento.....	37
1.5.12 Maquinabilidad del acero inoxidable	39
1.5.13 Fluido de corte.....	41
1.5.14 Tipos de fluido de corte.....	42
1.5.14.1 Aceites puros.....	42
1.5.14.2 Aceites emulsionables.....	42
1.5.14.3 Fluidos sintéticos.....	43

1.5.14.4 Fluidos semisintéticos	43
1.5.14.5 Fluidos basados en gas	43
1.5.15 Métodos convencionales de aplicación de fluido de corte.....	44
1.5.15.1 Inundación.....	44
1.5.15.2 Nebulización	44
1.5.15.3 Refrigeración por alta presión.....	45
1.5.16 Técnicas alternativas a los fluidos de corte tradicionales	45
1.5.16.1 Mecanizado en seco	45
1.5.16.2 Mínima cantidad de lubricante.....	46
1.5.16.2.1 Tipos de sistema MQL	47
1.5.16.2.2 Aceites en MQL	50
1.5.16.3 Mínima cantidad de lubricante usando nanofluido	50
1.5.16.4 Mínima cantidad de lubricante usando lubricantes sólidos.....	52
1.5.16.5 Mínima cantidad de lubricante usando líquidos iónicos.....	52
1.5.16.6 Refrigeración criogénica	52
1.5.16.7 Tecnología híbrida de refrigeración-lubricación.....	54
CAPÍTULO II	55
METODOLOGÍA	55
2.1 Materiales.....	55
2.1.1 Selección del material para el mecanizado	55
2.1.2 Dimensionamiento de las probetas.....	56
2.1.3 Selección del portaherramientas	56
2.1.4 Selección de la plaquita de corte.....	59
2.1.5 Aceite soluble.....	64
2.1.6 Nanopartículas de Óxido de Titanio (TiO ₂).....	65
2.1.7 Aceite lubricante	66
2.2 Equipos.....	67
2.2.1 Fresadora CNC.....	67
2.2.2 Sistema MQL	68
2.2.3 Sistema criogénico	68
2.2.4 Microscopio electrónico de barrido	69
2.2.5 Homogeneizador	70

2.2.6 Compresor	71
2.3 Métodos.....	72
2.3.1 Tipo de investigación	72
2.3.1.1 Bibliográfica.....	72
2.3.1.2 Descriptiva	72
2.3.1.3 Experimental	72
2.3.2 Metodología	72
2.3.2.1 Diseño de experimentos	72
2.3.2.2 Cálculo de parámetros de corte	74
2.4 Operacionalización de variables	76
2.4.1 Variable independiente: método de lubricación híbrida (Nanofluido + Criogenización).....	76
2.4.2 Variable dependiente: vida útil de la herramienta de corte.....	77
2.5 Plan de recolección de información	78
2.6 Selección de la trayectoria de mecanizado.....	79
2.7 Plan de procesamiento y análisis de datos	79
2.8 Proceso de obtención y análisis de datos	80
2.9 Configuración del Set Up.....	84
CAPÍTULO III.....	85
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	85
3.1 Análisis.....	85
3.2 Toma de datos	87
3.2.1 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 8 minutos de exposición de trabajo.....	88
3.2.2 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 16 minutos de exposición de trabajo.....	89

3.2.3 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 24 minutos de exposición de trabajo.....	90
3.2.4 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 32 minutos de exposición de trabajo.....	91
3.2.5 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 36 minutos de exposición de trabajo.....	92
3.2.6 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 40 minutos de exposición de trabajo.....	93
3.2.7 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 8 minutos de exposición de trabajo.....	94
3.2.8 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 16 minutos de exposición de trabajo.....	95
3.2.9 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 24 minutos de exposición de trabajo.....	96
3.2.10 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 32 minutos de exposición de trabajo.....	97
3.2.11 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 36 minutos de exposición de trabajo.....	98
3.2.12 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 40 minutos de exposición de trabajo.....	99
3.2.13 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 50 minutos de exposición de trabajo.....	100

3.2.14 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 60 minutos de exposición de trabajo.	101
3.2.15 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 70 minutos de exposición de trabajo.	102
3.2.16 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 74 minutos de exposición de trabajo.	103
3.2.17 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 80 minutos de exposición de trabajo.	104
3.2.18 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 3 minutos de exposición de trabajo.....	105
3.2.19 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 5 minutos de exposición de trabajo.....	106
3.2.20 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 7 minutos de exposición de trabajo.....	107
3.2.21 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 10 minutos de exposición de trabajo.....	108
3.2.22 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 13 minutos de exposición de trabajo.....	109
3.2.23 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 3 minutos de exposición de trabajo.	110
3.2.24 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 5 minutos de exposición de trabajo.	111

3.2.25	Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 7 minutos de exposición de trabajo.	112
3.2.26	Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 10 minutos de exposición de trabajo.	113
3.2.27	Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 13 minutos de exposición de trabajo.	114
3.2.28	Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 15 minutos de exposición de trabajo.	115
3.2.29	Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 17 minutos de exposición de trabajo.	116
3.2.30	Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 25 minutos de exposición de trabajo.	117
3.2.31	Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 35 minutos de exposición de trabajo.	118
3.2.32	Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 40 minutos de exposición de trabajo.	119
3.2.33	Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 45 minutos de exposición de trabajo.	120
3.3	Análisis de resultados.....	121
3.4	Ecuación de Taylor	127
3.5	Verificación de hipótesis.....	131

CAPÍTULO IV.....	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	139
4.1 Conclusiones	139
4.2 Recomendaciones.....	140
BIBLIOGRAFÍA	142
ANEXOS	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura de corte en el fresado de Al/n-SiC en distintos entornos: (a) 90m/min y (b) 120m/min	5
Figura 2. Rugosidad superficial en el fresado de Al/n-SiC en entornos distintos: (a) 90m/min y (b) 120m/min	5
Figura 3. Desgaste de flancos en el fresado de Al/n-SiC en distintos entornos: (a) 90m/min y (b) 120m/min	6
Figura 4. Efecto de los parámetros de ensayo de maquinabilidad sobre la rugosidad superficial	7
Figura 5. Efecto de los parámetros de prueba de maquinabilidad en el desgaste de flanco	7
Figura 6. Impacto de las estrategias R/L y combinación velocidad-avance sobre la temperatura: Vc de (a) 75m/min y (b) 90m/min	8
Figura 7. Desgaste de la herramienta en función de la longitud de corte	9
Figura 8. Efecto de diferentes porcentajes en peso de MWCNTs sobre: (a) Desgaste de flanco; (b) Rugosidad	11
Figura 9. Rendimiento del mecanizado: desgaste medio de flanco (a) y la rugosidad superficial (b)	12
Figura 10. Evolución del desgaste bajo condiciones Vc: 120 m/min, fz: 0.15 mm/diente, ap: 7.5 mm después de: 5 min. (a); 20 min. (b); 35 min. (c).....	12
Figura 11. Evolución del desgaste bajo condiciones Vc: 240 m/min, fz: 0.15 mm/diente, ap: 7.5 mm después de: 5 min. (a); 15 min. (b); 20 min. (c).....	13
Figura 12. Evolución del desgaste bajo condiciones Vc: 240 m/min, fz: 0.2 mm/diente, ap: 7.5 mm después de: 5 min. (a); 10 min. (b); 20 min. (c).....	13
Figura 13. Deterioro del filo de corte después de 5 min para Vc: 300m/min, fz: 0.15 mm/diente, ap: 7.5 mm.....	14
Figura 14. Clasificación de los procesos de manufactura	16
Figura 15. Clasificación de los procesos de maquinado	17
Figura 16. Fresado frontal	18
Figura 17. Operaciones de fresado periférico	18
Figura 18. Enteriza de serie: (a) corta, (b) larga	19
Figura 19. Ángulos y superficies principales	20
Figura 20. Parámetros de corte en el fresado frontal	21

Figura 21. Zonas de desgaste de herramientas.....	22
Figura 22. Desgaste de flanco uniforme	23
Figura 23. Desgaste en entalladura	23
Figura 24. Desgaste de filo recrecido	24
Figura 25. Desgaste tipo astillado	24
Figura 26. Desgaste tipo rotura de bordes.....	25
Figura 27. Desgaste de cráter	25
Figura 28. Desgaste por deformación plástica	26
Figura 29. Desgaste por agrietamiento térmico	26
Figura 30. Influencia de los parámetros de corte en la vida útil de la herramienta ..	27
Figura 31. Evolución típica del desgaste	28
Figura 32. Relación velocidad de corte - vida de herramienta	29
Figura 33. Relación velocidad de corte - vida de herramienta en escala logarítmica	29
Figura 34. Dependencia de la dureza Vickers y la tenacidad a la fractura con el contenido de Co	32
Figura 35. Comparación de la dureza y tenacidad de diversos materiales de herramientas de corte	36
Figura 36. Efecto del material de la herramienta en la velocidad de corte admisible	36
Figura 37. Comparación de las velocidades de corte de herramientas revestidas y no revestidas	38
Figura 38. Maquinabilidad relativa de los aceros inoxidables	41
Figura 39. Clasificación de los fluidos de corte.....	42
Figura 40. Técnica de inundación	44
Figura 41. Representación esquemática de la instalación de la refrigeración por nebulización	45
Figura 42. Esquemización general del sistema MQL	47
Figura 43. Aplicación MQL externa	48
Figura 44. Aplicación MQL interna	48
Figura 45. Sistema MQL de un canal	49
Figura 46. Sistema MQL de dos canales	49
Figura 47. El mecanismo antifricción y antidesgaste de las nanopartículas	51
Figura 48. Perfil de temperatura de LN ₂ y LCO ₂ a la salida del fluido refrigerante ..	54

Figura 49. Esquema del sistema híbrido de Lubricación/Refrigeración	54
Figura 50. Dimensionamiento de la probeta del AISI 304.....	56
Figura 51. Tipo de cortador	57
Figura 52. Ángulo de posición	57
Figura 53. Series de portaherramientas de planeado frontal	58
Figura 54. Dimensiones y características de la herramienta FMA01	59
Figura 55. Selección del material de herramienta	60
Figura 56. Carburo cementado revestido PVD	60
Figura 57. Descripción de los rompeviruta	61
Figura 58. Insertos de fresado	62
Figura 59. Datos de corte recomendados	62
Figura 60. Acotación del inserto	63
Figura 61. Soluble oil D.....	65
Figura 62. Tanque MQL	68
Figura 63. Sistema criogénico	69
Figura 64. Microscopio SEM.....	70
Figura 65. Rotación de Z en microscopio SEM.....	70
Figura 66. Homogeneizador.....	71
Figura 67. Trayectoria de mecanizado.	79
Figura 68. Diagrama de flujo para el mecanizado por inundación	81
Figura 69. Diagrama de flujo para el mecanizado por nanocriomecanizado.	82
Figura 70. Procedimiento para la elaboración de ensayos de vida útil en las herramientas de corte en el proceso de fresado con lubricación híbrida (Cryo+NMQL).	83
Figura 71. Configuración del Set Up.	84
Figura 72. Desgaste de flanco uniforme (VB 1)	85
Figura 73. Astillado localizado (CH 3)	85
Figura 74. Codificación del deterioro de la herramienta de corte	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los seis carburos metálicos según la norma ISO	33
Tabla 2. Indicación de la resistencia al desgaste de diversos métodos de recubrimiento	39
Tabla 3. Comparación de los sistemas MQL de uno y dos canales	49
Tabla 4. Propiedades químicas y mecánicas del Acero AISI 304 según BOHMAN	55
Tabla 5. Datos técnicos del inserto SEET12T3-DM YBG202. adoptado de	63
Tabla 6. Recomendaciones de mezclado del aceite soluble	64
Tabla 7. Datos técnicos de las nanopartículas TiO ₂ adoptado de	65
Tabla 8. Datos técnicos del aceite UNIST COOLUBE 2210 adoptado de	66
Tabla 9. Datos técnicos de fresadora CNC TRAVIS M-1000	67
Tabla 10. Factores y niveles para diseño experimental.....	73
Tabla 11. Corridas de diseño experimental.....	73
Tabla 12. Sistema de codificación del desgaste	86
Tabla 13. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado por inundación.....	128
Tabla 14. Resultados, para las constantes c y k para mecanizado por inundación. .	128
Tabla 15. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado por NMQL+LCO ₂	129
Tabla 16. Resultados, para las constantes c y k para mecanizado por NMQL+LCO ₂	129
Tabla 17. Tiempo de vida útil de la herramienta en función de la velocidad de corte (comparativa de mecanizado por inundación vs lubricación híbrida)	130
Tabla 18. Valores de las muestras obtenidas bajo lubricación mediante inundación.	133
Tabla 19. Valores de las muestras obtenidas bajo lubricación mediante nanocriomecanizado.....	134
Tabla 20. Distribución t student	135
Tabla 21. Valores para cálculo de varianza	137
Tabla 22. Porcentaje de mejora del método de inundación vs el método híbrido en función de la velocidad de corte.....	138

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Tiempo de mecanizado por el método de inundación a diferentes velocidades de corte.....	121
Gráfica 2. Tiempo de mecanizado por el método híbrido a diferentes velocidades de corte.....	122
Gráfica 3. Evolución del desgaste bajo método de inundación a V_c : 190 m/min ...	123
Gráfica 4. Evolución del desgaste bajo método híbrido a V_c : 190 m/min	123
Gráfica 5. Distancia neta de mecanizado (Inundación vs Nanocriomecanizado) a $V_c=190$ m/min.	124
Gráfica 6. Evolución del desgaste bajo método de inundación a V_c : 270 m/min ...	125
Gráfica 7. Evolución del desgaste bajo método híbrido a V_c : 270 m/min	126
Gráfica 8. Distancia neta de mecanizado (Inundación vs Nanocriomecanizado) a $V_c=270$ m/min.	127
Gráfica 9. Tiempo de vida útil de la herramienta en función de la velocidad de corte (comparativa de mecanizado por inundación vs lubricación híbrida)	131
Gráfica 10. Tiempo de análisis para obtención de muestra.	133

RESUMEN EJECUTIVO

Debido a los problemas medioambientales y salud del operario que provocan los refrigerantes de emulsión en agua en el área de mecanizado, conjuntamente con la baja vida útil de las herramientas de corte en procesos de fresado, se ha visto la necesidad de estudiar nuevas alternativas ecológicamente amigables.

La presente investigación se enfoca en el estudio del efecto de un método híbrido de lubricación, que involucra el uso de la técnica MQL (Mínima Cantidad de Lubricante) con la adición de nanopartículas en combinación de un fluido criogénico, en el desgaste de flanco de las herramientas de corte en procesos de fresado frontal del acero inoxidable AISI 304. Los experimentos fueron llevados a cabo mediante un proceso de semiacabado en una Fresadora CNC; se utilizaron plaquitas de corte de metal duro con recubrimiento PVD-TiAlN; el sistema MQL trabajó con aceite biodegradable Unist Coolube 2210XP con nanopartículas de Óxido de Titanio preparadas al 0.5 por ciento en peso y el sistema criogénico con Dióxido de Carbono en fase líquida y gaseosa. Los parámetros de mecanizado fueron: velocidad de corte de 190 y 270 m/min, avance de 0.1 mm/diente, profundidad axial de 0.3 mm. Las mediciones fueron realizadas a través de un microscopio electrónico de barrido y evaluadas mediante la norma ISO 8688-1: 1989 bajo un criterio de desgaste normal.

Los resultados obtenidos en este trabajo experimental indican un aumento de la vida útil de las herramientas de corte para la velocidad de 190 m/min y 270 m/min en un 85.35 y 230.60 por ciento respectivamente.

Palabras clave: Inundación, MQL, nanofluido, fluido criogénico, metal duro, desgaste de flanco, TiO₂, LCO₂, Coolube 2210XP.

ABSTRACT

Due to the environmental and operator health problems caused by water emulsion coolants in the machining area, combined with the low useful life of cutting tools in milling processes, it has become necessary to study new environmentally friendly alternatives.

The present research focuses on the study of the effect of a hybrid lubrication method, which involves the use of the MQL (Minimum Quantity Lubricant) technique with the addition of nanoparticles in combination with a cryogenic fluid, on the flank wear of cutting tools in face milling processes of AISI 304 stainless steel. The experiments were carried out using a semi-finishing process on a CNC milling machine; carbide cutting inserts with PVD-TiAlN coating were used; the MQL system worked with biodegradable oil Unist Coolube 2210XP with Titanium Oxide nanoparticles prepared at 0.5 weight percent and the cryogenic system with Carbon Dioxide in liquid and gas phase. The machining parameters were: cutting speed of 190 and 270 m/min, feed rate of 0.1 mm/tooth, axial depth of 0.3 mm. The measurements were performed through a scanning electron microscope and evaluated using the ISO 8688-1: 1989 standard under normal wear criteria.

The results obtained in this experimental work indicate an increase in cutting tool life for the speed of 190 m/min and 270 m/min by 85.35 and 230.60 percent respectively.

Keywords: Flooding, MQL, nanofluid, cryogenic fluid, carbide, flank wear, TiO₂, LCO₂, Coolube 2210XP.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

La alta demanda de los procesos por arranque de viruta para la obtención de piezas mecánicas ha obligado a la mejora continua de los tiempos de trabajo, costos de producción y calidad del mecanizado. Estos factores pueden ser optimizados mediante el estudio y análisis de procesos, materiales y recubrimientos de herramientas de corte, fluidos de lubricación y sistemas de refrigeración.

Los fluidos convencionales de corte cumplen tareas críticas como la refrigeración, lubricación y eliminación de la viruta de la zona de corte, es por estas características que aumenta significativamente la eficacia del mecanizado, sin embargo, estos fluidos también portan desventajas como el impacto medioambiental y la salud del trabajador por la presencia de sustancias químicas como aminas secundarias, nitrato sódico, fenoles, parafinas cloradas, compuestos bóricos, hidrocarburos aromáticos policíclicos y productos biocidas [1]. Dentro de la industria del mecanizado en el sector automotriz el porcentaje del costo destinado a los fluidos refrigerantes es casi 3 veces más alto que el de las herramientas de corte, el mismo que se divide en costos de adquisición del producto, eliminación de residuos, filtrado [2].

El uso de fluidos de corte ha sido controlado y restringido bajo ciertos lineamientos por la legislación sobre protección ambiental y salud, lo que ha llevado a la industria al mecanizado ecológico. El desarrollo de aceites a base de vegetales es seguro para su disposición, el grado de toxicidad es menor, es renovable, no contamina el ambiente y es de fácil desecho [3]. Estos nuevos fluidos mejoran el proceso tribológico durante las operaciones de mecanizado cuando las herramientas entran en contacto con la pieza de trabajo removiendo los residuos y reduciendo la generación de calor durante la fricción de los elementos [4].

En la actualidad, los avances tecnológicos han identificado lubricantes sólidos, nanofluidos y fluidos iónicos que conjuntamente con sistemas como el MQL, criogénico y corte en seco han permitido aumentar la productividad y el rendimiento del mecanizado sin dejar de tomar en cuenta aspectos como eficiencia, costo, consumo energético y contaminación ambiental [4].

El método de lubricación por cantidades mínimas (MQL) se ha hecho más popular por su bajo costo y su sensibilidad con el medio ambiente y la salud del operario. Este método puede lograr una reducción de costos hasta un 15 por ciento [5]. Además, contribuye considerablemente con la vida útil – desgaste de la herramienta de corte, la resistencia al cizallamiento y la rugosidad superficial. El sistema MQL se describe como la pulverización de aceite en la zona de contacto que utiliza caudales que van desde los 10 hasta los 100 mililitros por hora con la ayuda de aire a presión [6].

La refrigeración criogénica es un tratamiento térmico bajo cero usada como alternativa medioambientalmente sostenible respecto los métodos tradicionales, que se emplea para reforzar la vida útil de las herramientas de corte, la resistencia al desgaste de las plaquitas de corte, la dimensión inicial y la calidad del elemento mecanizado. Esto es posible gracias a la transformación de la austenita residual en martensita, la precipitación de carburos, la homogeneidad de la estructura cristalina, mejora de la conductividad térmica y la reducción de la degradación química [7].

El nanofluido es la combinación partículas sólidas a escala nanométrica y un fluido base como agua, aceite, etilenglicol. En este método, el aumento del factor de la conductividad térmica es la idea principal para mejorar la capacidad de transferencia de calor [8]. Las nanopartículas aumentan el tiempo de retención del aceite lubricante en la zona de corte, lo que se traduce en reducción de la rugosidad superficial, el desgaste de la herramienta y la temperatura producida por la fricción. El principal inconveniente del uso de este aditivo es su costo, por lo que debe ser suministrado mediante la técnica MQL [9].

En el estudio [10], los autores compararon el desgaste de la herramienta de corte en el fresado frontal del acero al carbono SA516 grado 70 lubricados con el método convencional y el método MQL. El sistema de mínima cantidad de lubricante trabajó con aceite de soya fresco y con aditivos antidesgaste a un caudal de 45 – 50 ml/h y la lubricación por inundación a una concentración del 12% se suministró a un flujo de 900 – 1080 l/min a 20 bares de presión. Las condiciones de mecanizado fueron: velocidad de corte de 277 m/min; avance de 0.268 mm/diente y profundidad axial de 2 mm. Las plaquitas de corte son redondas R300-1240E-PL grado 4240 de metal duro, recubiertas con $Ti(C, N) + Al_2O_3 + TiN$. Se concluyó que la estrategia MQL presentó mejores resultados en términos de acabado superficial y desgaste de flanco promedio.

Es decir, de acuerdo a la norma ISO 8688-1, la vida útil de la herramienta aumentó aproximadamente 1.8 veces y la rugosidad mejoró en un 15%.

En el trabajo [11], se comparó el desgaste de la herramienta de fresado de insertos en el acero AISI 1018 utilizando diferentes sistemas de lubricación: sistema tradicional por inundación y sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL). Los ensayos fueron realizados con plaquitas de metal duro de la serie SEET12T3-DR grado 202 con tratamiento PVD recubiertos de TiAlN. En el sistema MQL se utilizó aceite vegetal COOLUBE 2210EP con un caudal de 480 ml/h a una presión de salida de 2 bares y para el proceso por inundación TRICUT 2000 W/S con caudales de 3.5 l/min y 6.5 l/min para las velocidades de corte mínima y máxima respectivamente. Los parámetros fueron: velocidad de corte máxima y mínima de 200 m/min y 360 m/min respectivamente; velocidad de avance de 0.15 mm/diente, profundidad de corte axial de 1.2 mm y radial de 37.8 mm. Los autores determinaron que el rendimiento del sistema de lubricación – enfriamiento por MQL aumentó en un rango del 30% al 50% respecto al método por inundación en términos de desgaste de flanco evaluado según la norma ISO 8688-1:1989.

En la investigación [12], se evalúa caudales de MQL a base de aceite de soja a 10, 30, 50, 70 y 90 ml/h suministrado a una presión de 60 PSI y se los compara con un refrigerante de emulsión a base de aceite mineral con una concentración del 7% a un flujo volumétrico de 1200 l/h en el fresado frontal del acero Inconel 718. Se empleó 1 inserto de metal duro KCSM40 recubierto de AlTiN/TiN en un portaherramientas de 4 insertos de 37.5 mm de diámetro bajo los siguientes parámetros: velocidad de corte de 40m/min; avance de 0.1 mm/diente y profundidad axial y radial de 2 mm y 6.25 mm respectivamente. En base al desgaste de flanco máximo VB de 0.35 mm que sugiere la norma, los resultados obtenidos muestran que el tiempo de vida útil del inserto por el sistema MQL con caudal de 10, 30, 50, 70 y 90 ml/h es de 12.36, 21.88, 24.42, 32.31 y 14.14 minutos respectivamente. Se concluye que el caudal más óptimo en términos de desgaste es el de 70 ml/h y el 90 ml/h en calidad superficial; sin embargo, el método por inundación presentó valores ligeramente superiores. Los autores concluyen que el aceite de soja alto oleico es una alternativa biodegradable y sustituto del fluido de corte convencional en el mecanizado de este material.

Respecto a la refrigeración criogénica, Kónya y Kovács [13] compararon dos métodos en el fresado de una superaleación a base de níquel GTD-111: inundación convencional y refrigeración criogénica con dióxido de carbono líquido (LCO_2). Se utilizó una herramienta para fresado lateral de metal duro de 8 mm de diámetro y 5 filos. El sistema criogénico operó a una temperatura de $-78\text{ }^\circ\text{C}$ con un flujo másico de 0.7 kg/min a una presión de almacenamiento de 57 bares. Para el sistema tradicional se utilizó MOL Emolin 120 tipo bioestable diluido al 5% en concentración. Los parámetros fueron: velocidad de corte de 28 m/min ; avance por diente de 0.01 ; profundidad axial de 10 mm y profundidad radial de 0.8 mm . En base a los resultados de los experimentos se concluye que el LCO_2 tiene un efecto negativo sobre las fuerzas de corte, la vida de la herramienta y la rugosidad superficial. Sólo tiene un efecto positivo en la formación de la viruta. Se evidencia que el efecto lubricante tiene mayor influencia que la refrigeración en los tres aspectos mencionados.

Por otro lado, en el artículo [14], se investigó el efecto del enfriamiento criogénico mediante nitrógeno líquido (LN_2) a $-196\text{ }^\circ\text{C}$ en el fresado periférico de la aleación Ti-6Al-4V. Los ensayos se ejecutaron con una fresa de 12 milímetros de diámetro de carburo de tungsteno de 3 filos con recubrimiento de TiN-TiAlN. El diseño de experimentos estableció una matriz ortogonal L9 para generar una combinación significativa de velocidad de corte, avance y profundidad de pasada, donde de acuerdo a los resultados la mejor combinación resultó ser de 200 m/min , 0.03 mm/diente y 5 mm de profundidad respectivamente. Además, la comparación de los resultados de las mediciones del desgaste de la herramienta reveló que el menor desgaste de flanco se encuentra en el mecanizado criogénico respecto al método en seco y por inundación.

Gupta et al. [15] comparó el desgaste de flanco, temperatura y características superficiales en el maquinado de aluminio fundido con nano carburo de silicio compuesto (Al/n-SiC) utilizando diversas condiciones de refrigeración como maquinado en seco, inundación, MQL y criogenización con LCO_2 . La lubricación mediante inundación se consiguió combinando aceite soluble con agua en proporción 1:20 suministrado a 5 bares de presión; en el MQL se empleó aceite de colza a un caudal constante de 60 ml/h a 8 bares de presión y finalmente el CO_2 trabajó a una temperatura de $-79.05\text{ }^\circ\text{C}$ con disposición de boquilla a 45° a 3 bares. Los insertos tenían recubrimiento PVD – TiAlN y las condiciones de maquinado fueron: velocidad

de corte de 90 y 120 m/min; avance de 0.1 y 0.2 mm/revolución; profundidad axial de 1 mm y profundidad radial de 12 mm. De acuerdo a los resultados mostrados en la figura 1, el enfriamiento criogénico redujo la temperatura en un 41-47%, 15-21% y entre un 8-12% en comparación con el uso de las tecnologías en seco (dry), por inundación (flooding) y MQL respectivamente.

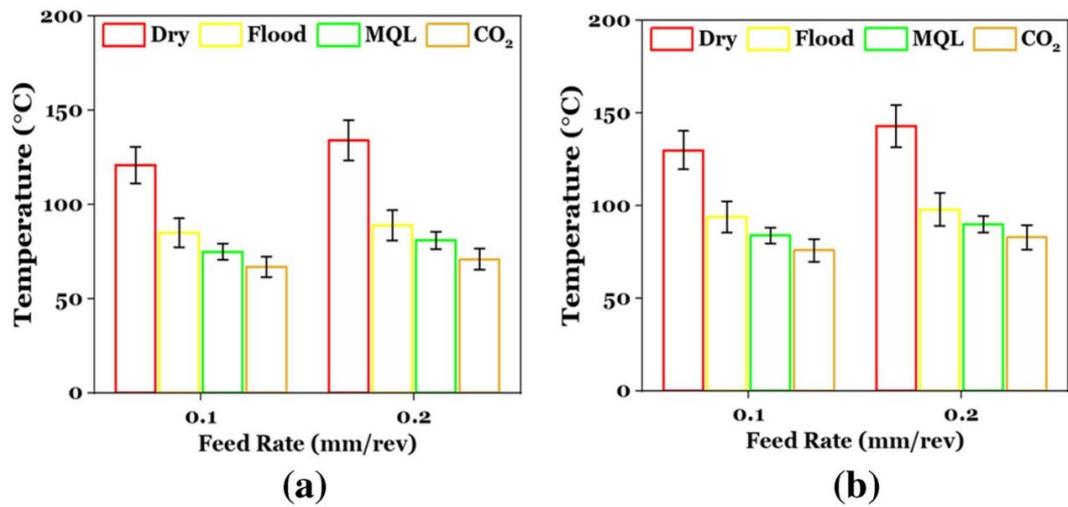


Figura 1. Temperatura de corte en el fresado de Al/n-SiC en distintos entornos: (a) 90m/min y (b) 120m/min [15]

En términos de rugosidad, en la figura 2 se observa que el MQL crea mejor superficie debido a la alta lubricidad del aceite y el bajo efecto de enfriamiento del aire comprimido.

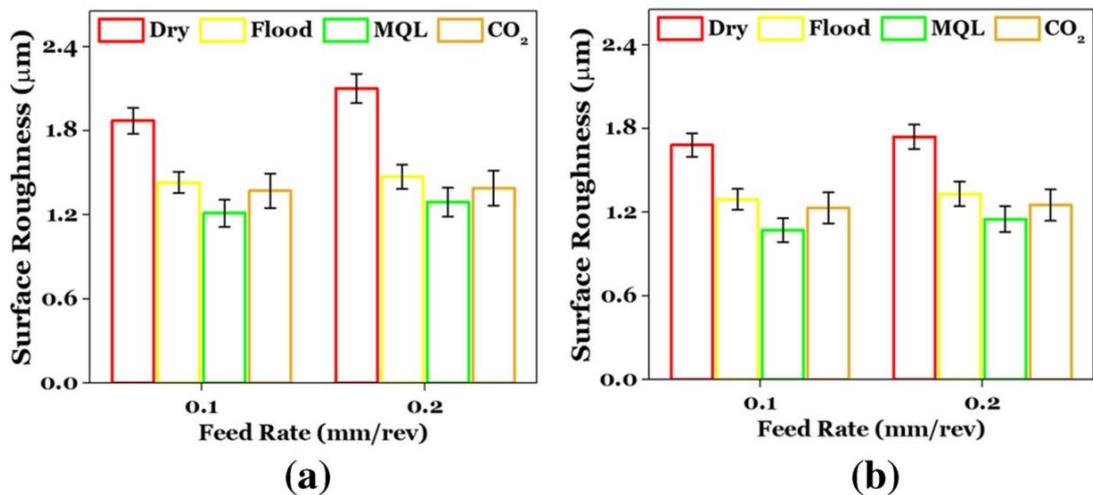


Figura 2. Rugosidad superficial en el fresado de Al/n-SiC en entornos distintos: (a) 90m/min y (b) 120m/min [15]

Por último, respecto a vida útil de herramienta, al igual que el ítem anterior, el sistema MQL también presenta menores valores de desgaste de flanco en ambas condiciones de velocidad tal y como se presenta en la figura 3.

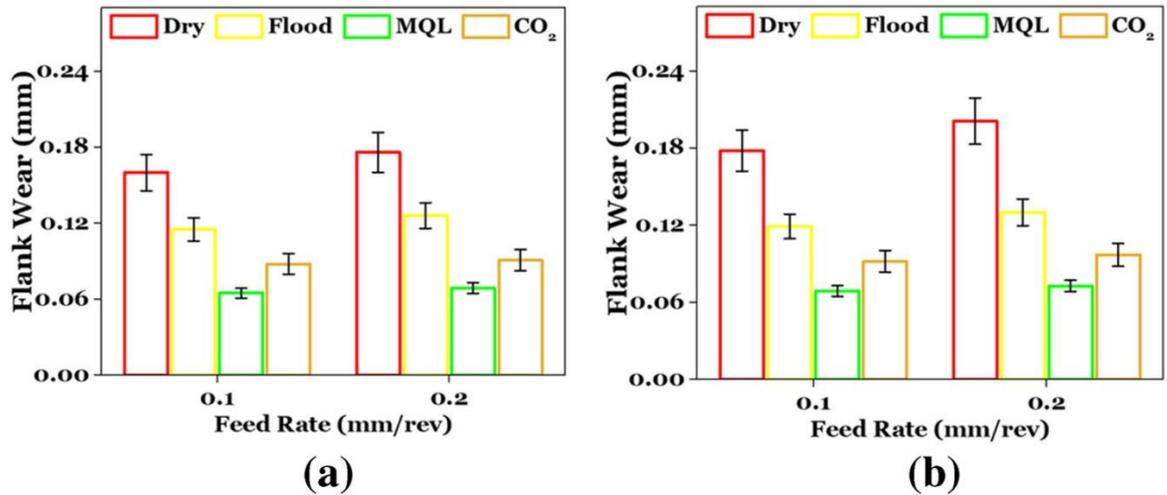


Figura 3. Desgaste de flancos en el fresado de Al/n-SiC en distintos entornos: (a) 90m/min y (b) 120m/min [15]

Siguiendo la misma línea de investigación, en [16], se compara los métodos MQL, Criogénico y seco en el acero AISI 5140 donde se analizó varias métricas de maquinabilidad (rugosidad superficial, temperatura de corte y desgaste de herramienta). Se realizaron pruebas de fresado con insertos de metal duro PVD recubiertos con Al-TiN a diferentes velocidades de corte (75 y 100 m/min), diferentes velocidades de avance (0.15 y 0.2 mm/revolución) y una profundidad de corte de 0.5 mm. Las condiciones de R/L se establecieron de la siguiente manera: para el sistema MQL, se utilizó líquido de corte KT-2000 a un flujo de 50 ml/h a una presión de 6 bares. La boquilla tenía un diámetro de 2 mm y estaba ubicada a una distancia de 150 mm a un ángulo de 45 grados. En cuanto al sistema criogénico, se empleó nitrógeno líquido a una presión de 8 bares y un caudal de 20 l/h. Además, se utilizó una manguera de vacío para minimizar las pérdidas de calor. La disposición de la boquilla fue similar a la del sistema MQL. Los resultados de la rugosidad superficial y desgaste de herramienta se presentan en las figuras 4 y 5, donde se evidencia que la tecnología ecológica supera ampliamente al método en seco, sobre todo el criogénico donde la rugosidad se redujo en un 54% y el desgaste de flanco en un 20%.

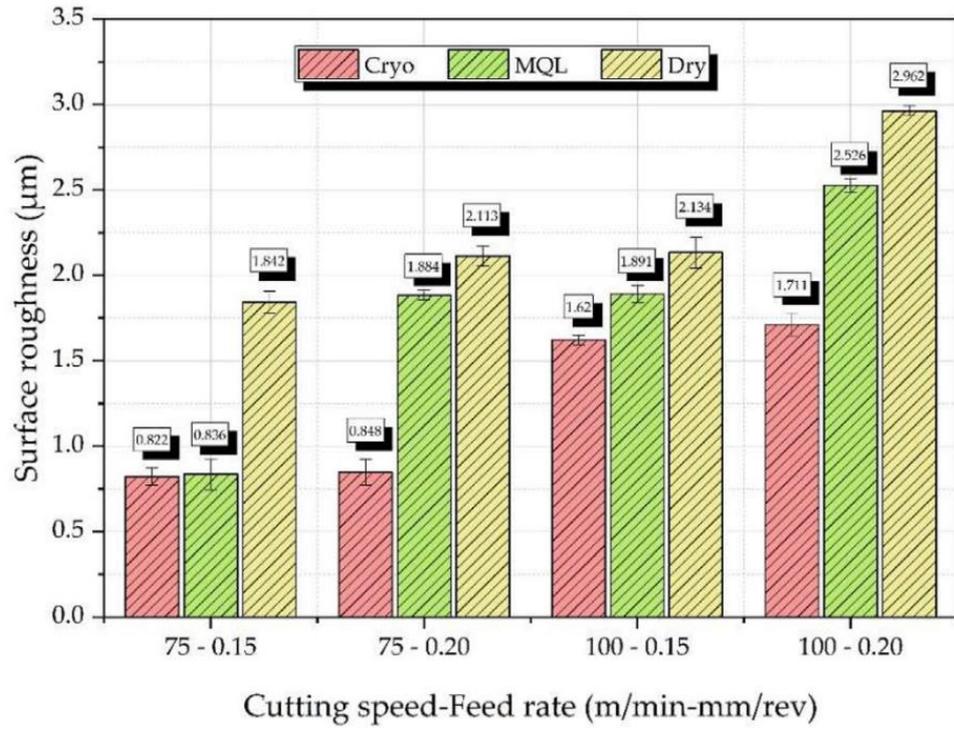


Figura 4. Efecto de los parámetros de ensayo de maquinabilidad sobre la rugosidad superficial [16]

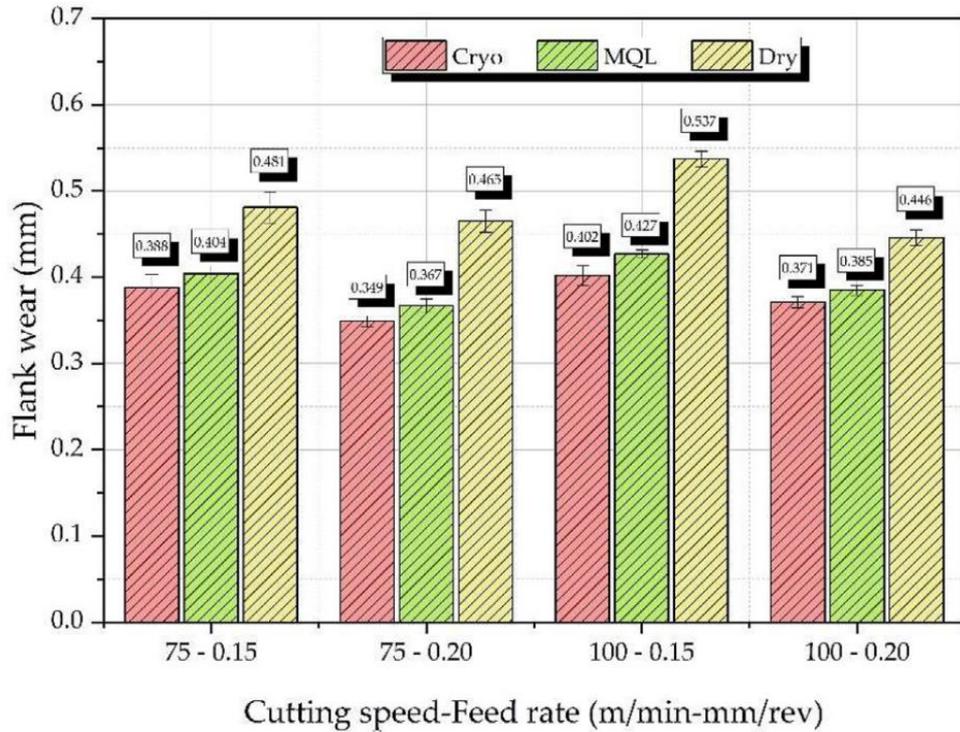


Figura 5. Efecto de los parámetros de prueba de maquinabilidad en el desgaste de flanco [16]

A pesar de que la técnica MQL y la criogénica tienen la capacidad de reemplazar la inundación con aceite mineral, su carencia de propiedades de lubricación y refrigeración a altas velocidades ha impulsado la búsqueda de un nuevo método híbrido (Criogénico + MQL) que mejore dichas propiedades en comparación con cada una por separado. Para comprobar la viabilidad, Korkmaz et al. [17] analizó los efectos de este sistema en el fresado del acero ASTM B637 grado 80, una aleación de níquel utilizada para el desarrollo de componentes aeroespaciales, donde comparó factores como temperatura, consumo de energía y características de superficie los dos métodos mencionados por separado y en conjunto. Los parámetros de maquinado incluyeron una velocidad de corte de 75 y 90 m/min, con avances de 0.04, 0.06 y 0.08 mm/revolución, manteniendo una profundidad constante de 1 mm. Los insertos son de metal duro PVD revestida de TiAlN. El sistema MQL trabajó con aceite de oliva a 2 bares de presión con un caudal de 60 ml/h; el criogénico con Dióxido de carbono líquido a una presión en la salida de la boquilla a 2.5 bares. El elevado calor y la fricción entre la plaquita y el material provocan desgaste lo que implica disminución en la precisión en la zona de corte. La elección del refrigerante y lubricante (R/L) permiten una mejor transferencia de calor y como se observa en la figura 6, los registros de temperatura para 75 m/min y 90 m/min a distintas velocidades de avance se redujeron con la estrategia híbrida. La mejora es del 53% sobre MQL y del 32% sobre la condición criogénica.

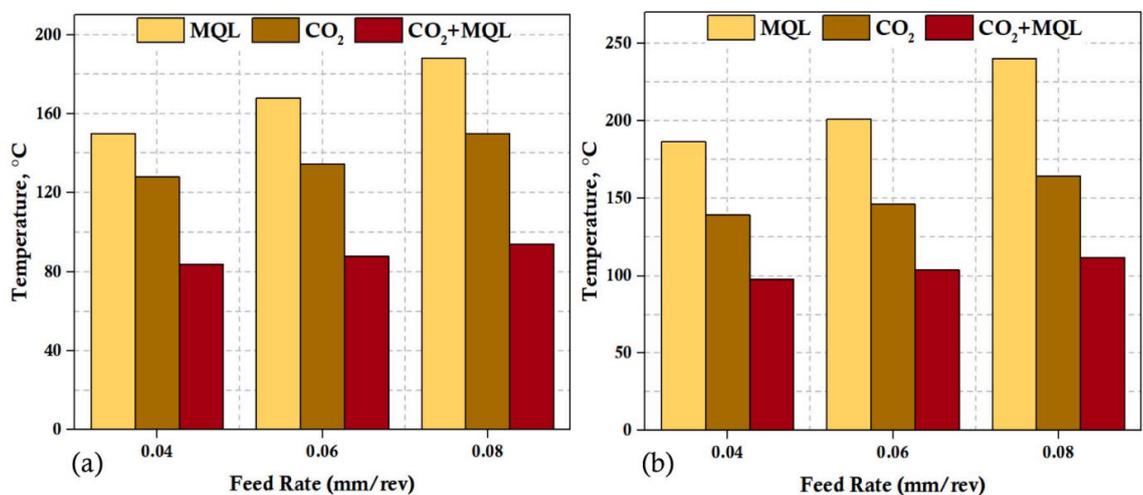


Figura 6. Impacto de las estrategias R/L y combinación velocidad-avance sobre la temperatura: Vc de (a) 75m/min y (b) 90m/min [17]

Otro estudio [18], comparó la técnica MQL con el método híbrido Cryo-MQL en el fresado frontal del acero AISI 1045 utilizando insertos de metal duro recubiertos de TiAlCrN grado MP6120, con ángulo de incidencia de 20° y ángulo de posición de 90°. El sistema utilizó un aceite biodegradable de canola a un caudal de 100 ml/h. En el caso de la técnica Cryo-MQL, se combinó CO₂ criogénico utilizando una presión de inyección de 10 bares el mismo que alcanzó una temperatura de -78 °C. Después de los ensayos realizados se obtuvo los resultados que se aprecian en la figura 7, desde el principio el desgaste producido en condiciones MQL fue mayor que el producido en híbrido; sin embargo, el desgaste se mantiene similar en ambos casos y, por tanto, la pendiente es similar, excepto en la última etapa del ensayo desde los 6300 mm de longitud de corte hasta los 7245 mm, donde se aprecia que el MQL tuvo un mayor desgaste.

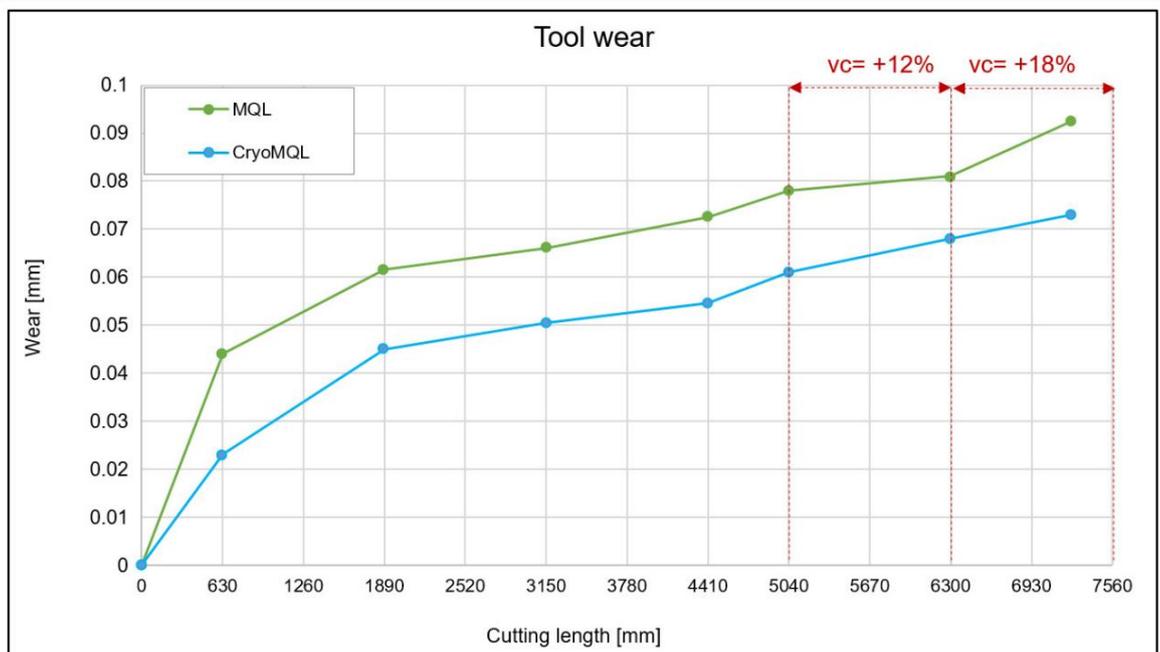


Figura 7. Desgaste de la herramienta en función de la longitud de corte [18]

Cabe recalcar que, desde los 5040 mm de longitud maquinada, se incrementó la velocidad de corte un 12% y a partir de los 6300 mm un 18%; es decir, de 340 m/min pasó a 380 y 400 m/min respectivamente. Se concluye que la técnica Cryo-MQL no solo aumentó la vida útil de la herramienta en un 30%, sino que también permitió un incremento de la productividad, consiguiendo un proceso más tecnológicamente avanzado y medioambientalmente más amigable.

Desde una perspectiva medioambiental, la aplicación de la lubricación mínima (MQL) en el mecanizado se considera un método limpio y sostenible debido a su uso reducido de aceite. Este enfoque tiene el potencial de equilibrar los beneficios del mecanizado en seco y la inundación. No obstante, el MQL presenta limitaciones en términos de enfriamiento, especialmente al trabajar con materiales de alta dureza. Para abordar este desafío, existen opciones como el método híbrido mencionado anteriormente, así como el uso de nanofluidos que mejoran las propiedades térmicas y la capacidad de humectación del fluido base.

Las nanopartículas presentan una relación superficie/volumen significativamente mayor que las partículas a escala micro. Por ejemplo, las partículas de 1 nm tienen una relación superficie/volumen mil veces mayor que las de 1 μm . Esta mayor relación de superficie permite aumentar la disipación de calor en la zona de corte sin necesidad de recurrir a refrigerantes convencionales [19]. Hegab et al. [20] implementó un algoritmo de evaluación general para encontrar los niveles de parámetros de proceso óptimos y sostenibles durante el mecanizado del ASTM SB 637 con nanofluidos-MQL. Utilizó nanotubos de carbono multipared (MWCNT) y nanopartículas gamma de óxido de aluminio (Al_2O_3) como aditivos del aceite vegetal ECOLUBRIC E200. Los resultados experimentales confirman que existe una mejora tanto en rugosidad como en desgaste de herramienta al utilizar fluidos de nanocorte MQL en comparación con la técnica MQL clásica.

En [21], se evaluó el rendimiento del sistema MQL con nanofluido fluido (NMQL) en términos de desgaste de herramienta y acabado superficial durante el fresado frontal del acero AISI 304. Para mejorar la conductividad térmica del proceso, se mezclaron nanotubos de carbono de pared múltiple al 1% en peso en aceite vegetal. Los resultados revelaron superioridad del mecanizado NMQL sobre las condiciones en seco, inundación y MQL puro en un 7.45%, 2.08% y 5.15% respectivamente en materia de desgaste, y, 54.10%, 34.43% y 39.34% en lo que respecta ha acabado superficial.

En la investigación [22], se analizó distintos nanofluidos utilizados en procesos de fresado, torneado, taladrado y rectificado donde la variación de los mismos está en función del tipo de nanopartícula y del fluido base. Respecto a los fluidos comunes tradicionales, estos estudios comparativos demuestran mayor eficacia. Algunas observaciones a considerar es la reducción de la rugosidad superficial, las fuerzas de

corte, y la temperatura de corte. Concluyeron que las nanopartículas evitan la interacción entre la pieza de trabajo y la herramienta y crean algún mecanismo de deslizamiento que evita el desgaste causado por la fricción.

En el estudio [23] se realizó un análisis del rendimiento del fresado frontal MQL del Inconel 625 utilizando nanofluido de corte basado en aceite vegetal mezclado con nanotubos de carbono (MWCNT). Se realizaron los experimentos utilizando diferentes concentraciones en peso (0, 0.5, 0.75, 1, 1.25 y 1.5%). Como se muestra en la figura 8, los mejores resultados obtenidos fueron a una concentración del 1% en peso, donde la rugosidad tuvo una mejora del 17.33% y una reducción del desgaste de flanco de la herramienta (VB) del 11.48 % en comparación con las condiciones de mecanizado MQL puras. Se concluye que el NMQL proporciona un mecanizado ecológico al mantener el área de trabajo seca y libre de contaminación.

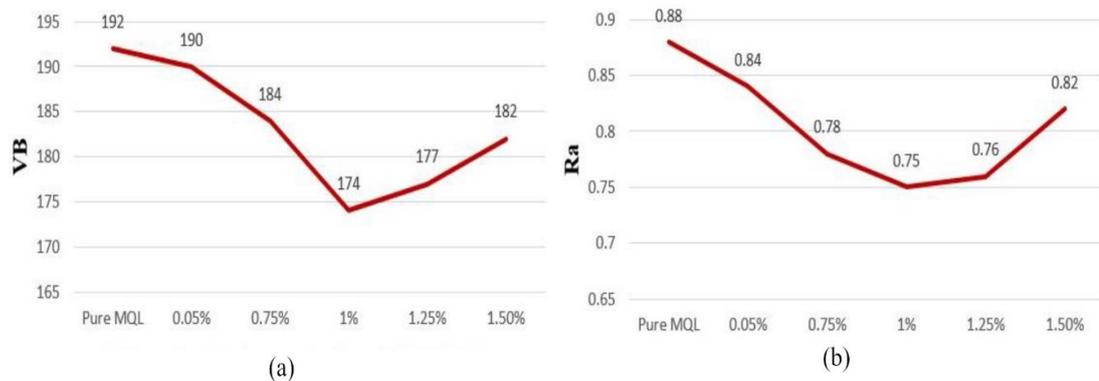


Figura 8. Efecto de diferentes porcentajes en peso de MWCNTs sobre: (a) Desgaste de flanco; (b) Rugosidad [23]

Singh et al. [24], comparó el efecto de distintos entornos de corte; seco (dry), inundación (flooded) y nanofluido suministrado con la técnica MQL (NF-MQL) utilizando nanotubos de carbono multipared, en el mecanizado del acero inoxidable austenítico AISI 304 con una herramienta de metal duro PVD. Los resultados se muestran en la figura 9 donde se aprecia una ligera mejora tanto en calidad superficial como en desgaste de flanco. Se concluye que el mecanizado del AISI 304 en condiciones NF-MQL muestra una reducción del desgaste del flanco de la herramienta del 24.39 % y 8.85 % en comparación con las condiciones de refrigeración en seco e inundación respectivamente; y un 25.77 % y 7.05 % en la rugosidad.

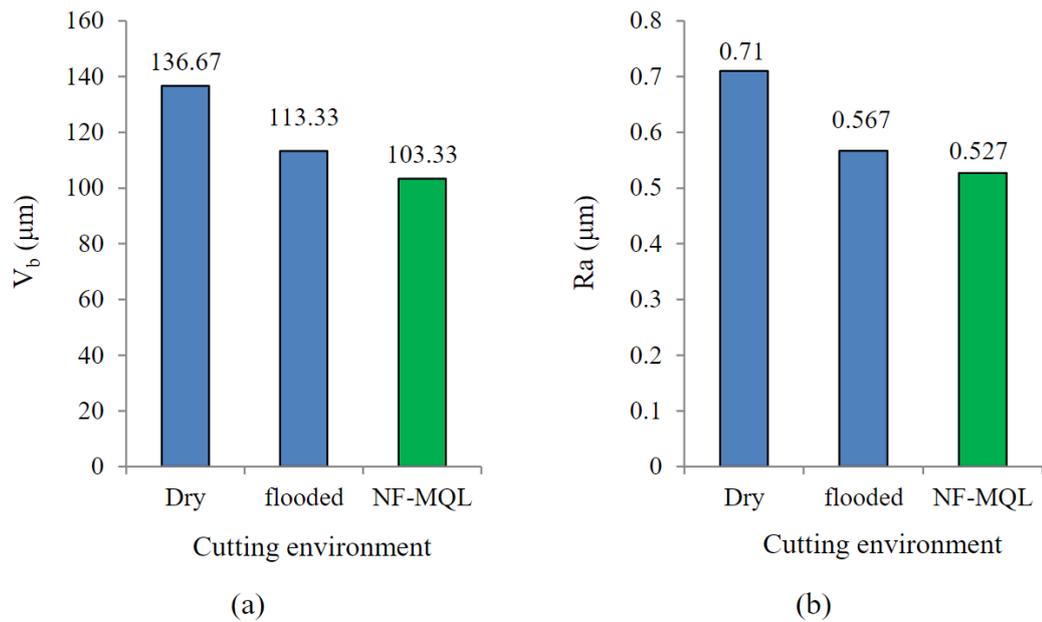


Figura 9. Rendimiento del mecanizado: desgaste medio de flanco (a) y la rugosidad superficial (b) [24]

Ferreira et al. [25] analizó en su investigación el desgaste de herramienta en el mecanizado del acero inoxidable dúplex GX6CrNiN26-7 en una fresadora CNC. Se utilizó insertos de metal duro recubiertos de AlTiN con ángulo de posición de 90° . El portaherramientas es de 32 mm con 3 filos de corte efectivo. Los ensayos fueron realizados a distintas velocidades de corte (120, 240, 300 m/min), velocidad de avance (0.15, 0.2 mm/min), profundidad de corte radial (5.21, 3.89 mm) y corte axial de 7.5 mm constante. Las mediciones fueron evaluadas de acuerdo a la norma ISO 8688-1 en el que se describe como desgaste uniforme de flanco a las figuras 10a), 11a) y 12a) donde muestran el desgaste del filo de inserto tras 5 minutos de mecanizado.

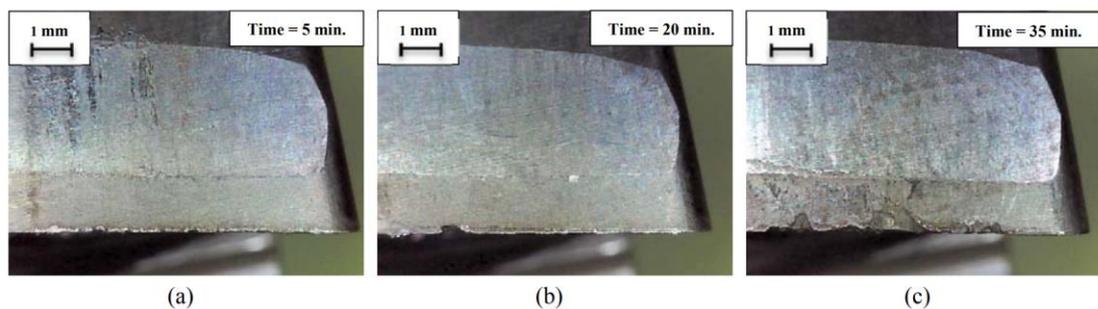


Figura 10. Evolución del desgaste bajo condiciones V_c : 120 m/min, f_z : 0.15 mm/diente, a_p : 7.5 mm después de: 5 min. (a); 20 min. (b); 35 min. (c) [25].

El fenómeno de astillado (chipping), suele aparecer en primera instancia de forma localizada en la región del filo de corte donde finaliza el contacto con la viruta. En esta zona del filo de corte, se produce una transición de la tensión de compresión a la tensión de tracción y, como consecuencia, se facilita el proceso de astillado tal y como se muestra en la figura 10b y figura 12b.

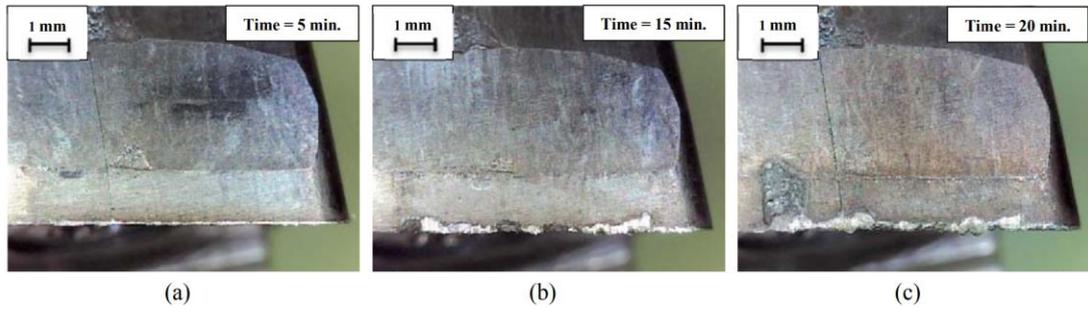


Figura 11. Evolución del desgaste bajo condiciones V_c : 240 m/min, f_z : 0.15 mm/diente, a_p : 7.5 mm después de: 5 min. (a); 15 min. (b); 20 min. (c) [25].

A medida que el mecanizado continúa, el desgaste del flanco es más pronunciado. Disperso a lo largo del borde, aparece un astillado no uniforme. La herramienta se vuelve más vulnerable, observándose la existencia de un desgaste localizado del flanco hasta llegar al final de la vida de la herramienta. (Figura 10c, Figura 11c y Figura 12c).

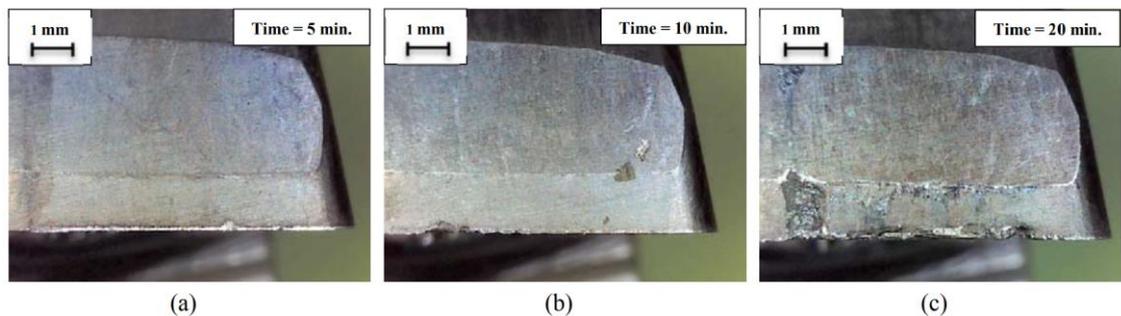


Figura 12. Evolución del desgaste bajo condiciones V_c : 240 m/min, f_z : 0.2 mm/diente, a_p : 7.5 mm después de: 5 min. (a); 10 min. (b); 20 min. (c) [25].

Debido a las severas condiciones de corte, la vida de la herramienta tiene una disminución significativa y el desgaste localizado del flanco alcanza el máximo después de 5 minutos (figura 13).

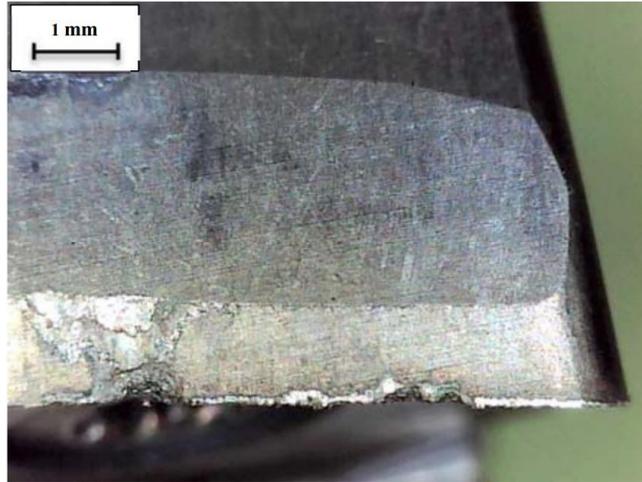


Figura 13. Deterioro del filo de corte después de 5 min para V_c : 300m/min, f_z : 0.15 mm/diente, a_p : 7.5 mm [25].

Se concluye que es posible alcanzar una vida útil de la herramienta de 20-25 minutos cuando se aumenta la velocidad de corte hasta 240 m/min. La velocidad de 300 m/min no sigue la tendencia generada por los otros ensayos y sólo se observa 5 minutos de vida útil de herramienta.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Comparar la evolución del desgaste de las herramientas de corte en procesos de fresado del acero AISI 304 lubricados mediante inundación y nanocriomecanizado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar los diferentes procesos de lubricación y enfriamiento en el fresado del acero AISI 304.
- Determinar los parámetros de mecanizado y herramientas de corte disponibles para el proceso de fresado del acero AISI 304 lubricados mediante inundación y nanocriomecanizado.
- Identificar mediante ensayos experimentales la evolución del desgaste de las herramientas de corte en el fresado del acero AISI 304 lubricados mediante inundación y nanocriomecanizado.
- Predecir el desgaste de las herramientas de corte en el fresado del acero AISI 304 mediante un modelo matemático.

1.3 Hipótesis

El método de lubricación híbrida (Nanofluido + Criogenización) aplicado en el proceso de fresado del acero AISI 304 mejorará la vida útil de las herramientas de corte.

1.4 Señalamiento de las variables de la hipótesis

1.4.1 Variable dependiente

Vida útil de las herramientas de corte.

1.4.2 Variable independiente

Método de lubricación híbrida (Nanofluido + Criogenización).

1.5 Fundamentación teórica

1.5.1 Tecnología del mecanizado

El mecanizado es una de las tecnologías de manufactura, tal como se describe en la figura 14. El término manufactura se emplea para describir la actividad industrial que modifica la forma, tamaño, configuración y calidad superficial de la pieza de trabajo con el fin de crear un producto terminado. El mecanizado consiste en la eliminación de material en bruto no deseado utilizando técnicas de corte. En general, existen factores que influyen en el proceso. Para identificar estos factores, es posible dividir los agentes del proceso de mecanizado en dos tipos de variables, independientes y dependientes, respectivamente. Las principales variables independientes incluyen: material y recubrimientos de la herramienta; forma de la herramienta; material y condición de la pieza de trabajo; parámetros de corte; fluidos de corte; características de la máquina herramienta; y sujeción de la pieza de trabajo. Aquellas variables que se ven influenciadas por cambios en las variables independientes son: desgaste/fallos de la herramienta; fuerza de corte; tipos de viruta producida; acabado e integridad superficial [26].

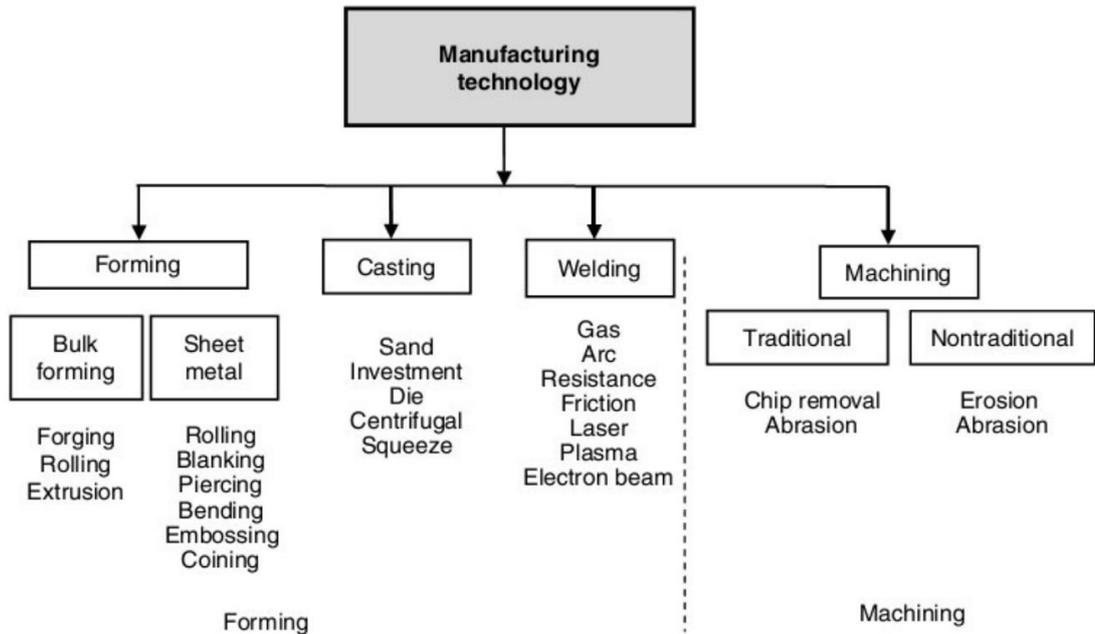


Figura 14. Clasificación de los procesos de manufactura [26]

1.5.2 Proceso de fresado

El fresado (milling) es un proceso de fabricación por arranque de viruta que se encuentra en la rama del mecanizado tradicional como se muestra en la figura 15 en el cual se cortan circularmente superficies en piezas de diversas formas: planas, convexas, cóncavas de gran precisión y buen acabado superficial. Este trabajo se ejecuta con herramientas llamadas fresas [26].

Una fresa es una herramienta multicortante que incluye múltiples filos de corte dispuestos en una disposición radial alrededor de una circunferencia. La elección del tipo de fresa depende de la superficie que se pretende trabajar y la operación específica a llevar a cabo en cada caso [27].

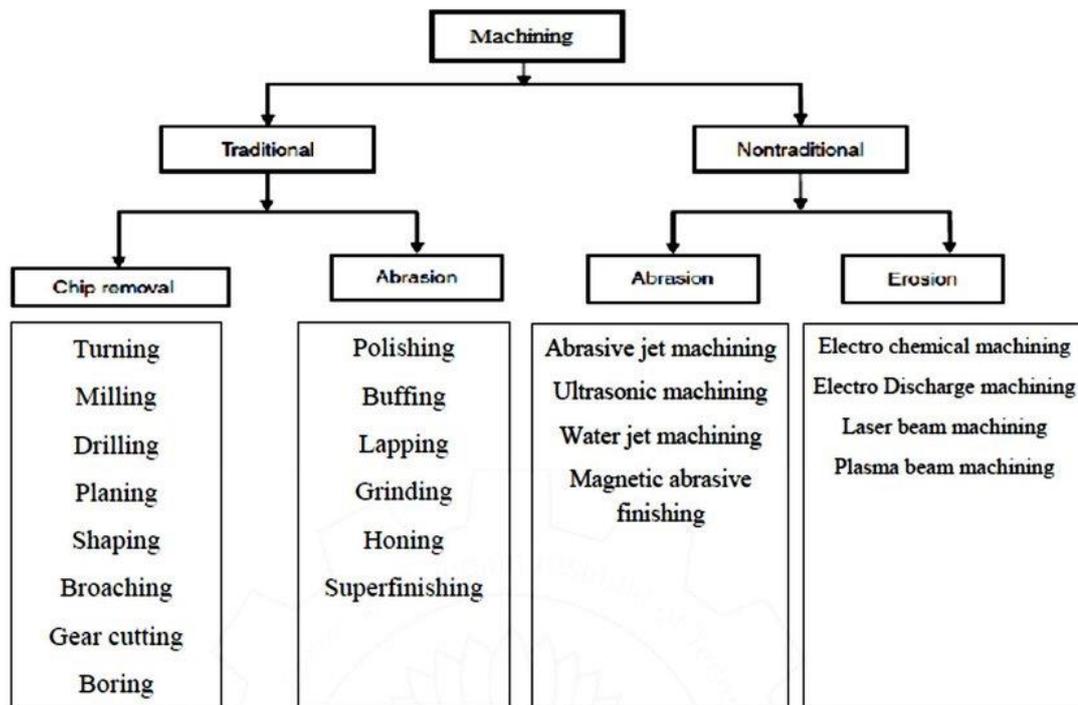


Figura 15. Clasificación de los procesos de maquinado [28]

1.5.3 Operaciones de fresado

El fresado tiene grandes variedades de operaciones, mismas que están en función de la geometría de la herramienta, disposición respecto a la pieza de trabajo y tipo de acabado. A continuación, se presenta 3 operaciones de forma general.

1.5.3.1 Fresado frontal

El fresado frontal, también llamado planeado, se caracteriza por el avance perpendicular al eje de giro, la profundidad de corte en dirección axial, el corte producido por los filos periféricos y el acabado superficial de la cara frontal (figura 16). Es utilizado para trabajos que implican alta eliminación de metal [27].

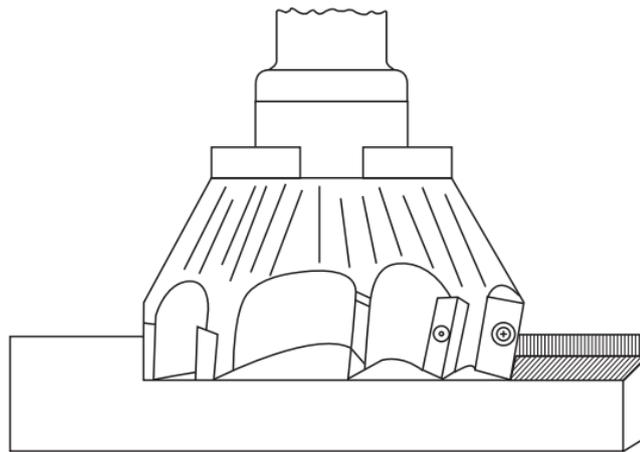


Figura 16. Fresado frontal [29]

1.5.3.2 Fresado periférico

El avance es perpendicular al eje de giro, la profundidad de corte en esta operación es en dirección radial y el corte es producido por los filos periféricos. Se muestran en la figura 17 las operaciones que adopta el fresado periférico [29].

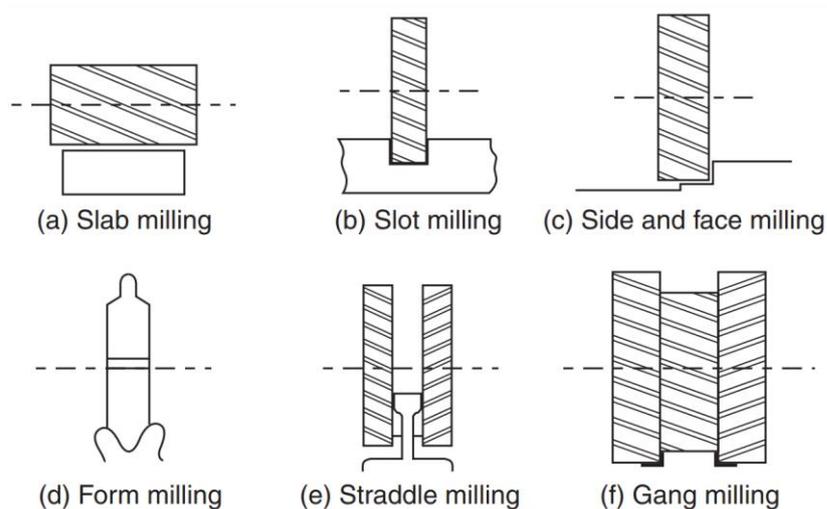


Figura 17. Operaciones de fresado periférico [29]

1.5.3.3 Fresado de acabado

El avance y la profundidad de corte tiene dirección axial, el corte es producido por los filos de la cara frontal. Por lo general se taladra hasta cierta profundidad y luego se avanza radialmente [29]. La herramienta puede ser dos tipos como se muestra en la figura 18.

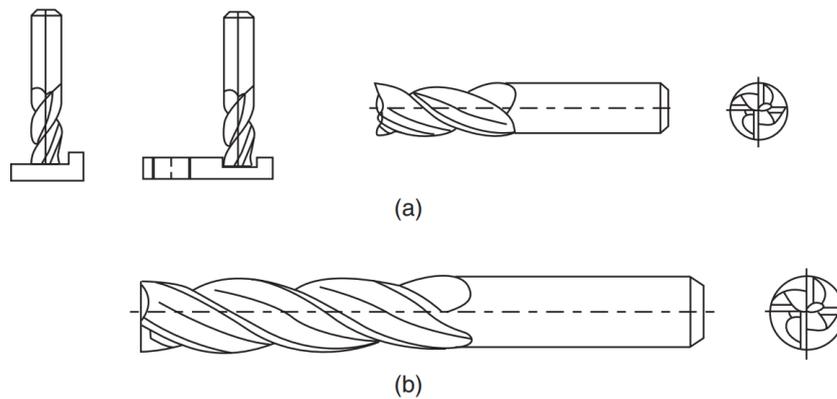


Figura 18. Enteriza de serie: (a) corta, (b) larga [29]

1.5.4 Ángulos y superficies de la fresa

En la figura 19 se presenta una herramienta con plaquitas intercambiables en la que se denota:

Superficie de incidencia: se refiere a la superficie que está en contacto directo con la superficie de corte.

Superficie de desprendimiento: es aquella por la cual la viruta se separa del inserto de corte.

Arista de corte: se forma a partir de las dos superficies mencionadas anteriormente.

Ángulo de incidencia: es el ángulo creado entre la superficie de incidencia y el plano en el que la herramienta corta.

Ángulo de desprendimiento: es el ángulo formado por la superficie de desprendimiento y el eje de la herramienta en el punto específico de la arista de corte.

Ángulo de posición: es el ángulo que se forma entre la arista principal de corte y la superficie de la pieza [30].

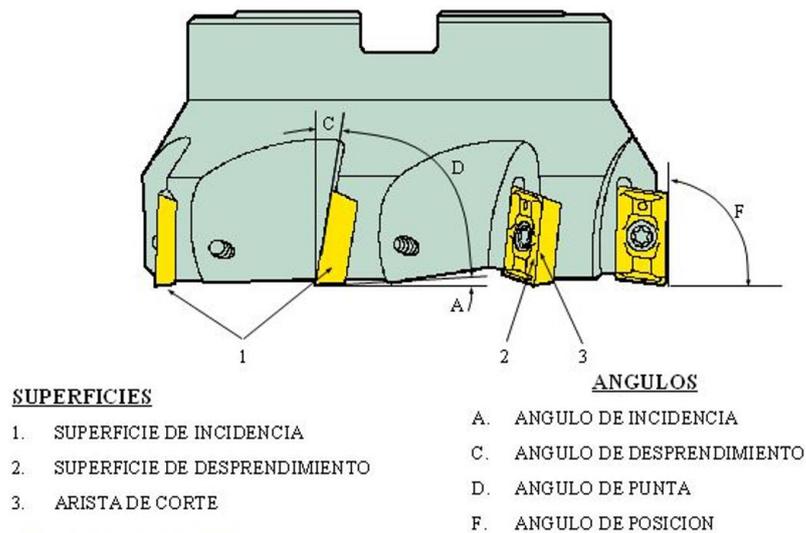


Figura 19. Ángulos y superficies principales [30]

1.5.5 Régimen de corte

Al igual que en otro proceso, se requiere establecer ciertos parámetros fundamentales para la ejecución. Estos dependen del material y geometría de herramienta, material de trabajo, tipo de operación.

1.5.5.1 Velocidad de corte

Se define como la velocidad a la que la periferia de la herramienta de corte gira mientras está en contacto con la pieza de trabajo [33].

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right] \quad (1)$$

Donde:

D : es el diámetro de herramienta [mm]

n : es la velocidad angular del husillo [rpm]

1.5.5.2 Velocidad de avance

Se define como la velocidad a la que la herramienta de corte se desplaza a lo largo de la pieza de trabajo en la dirección de corte [33].

$$V_f = f_z \cdot z_n \cdot n = f_n \cdot n \left[\frac{mm}{min} \right] \quad (2)$$

Donde:

f_z : es el avance por diente [mm/diente]

z_n : número de dientes efectivos [unidades]

f_n : es el avance por revolución = $f_z \cdot z_n$ [mm/rev]

1.5.5.3 Profundidad de corte axial (a_p)

Es la distancia a lo largo del eje de la herramienta de corte, que determina cuánto material se eliminará en la dirección axial durante la operación de fresado (figura 20) [33].

1.5.5.4 Profundidad de corte radial (a_e)

Es la distancia desde el centro de la herramienta de corte hasta el punto más alejado en la dirección radial. También es un indicativo del caudal de viruta desprendida (figura 20) [33].

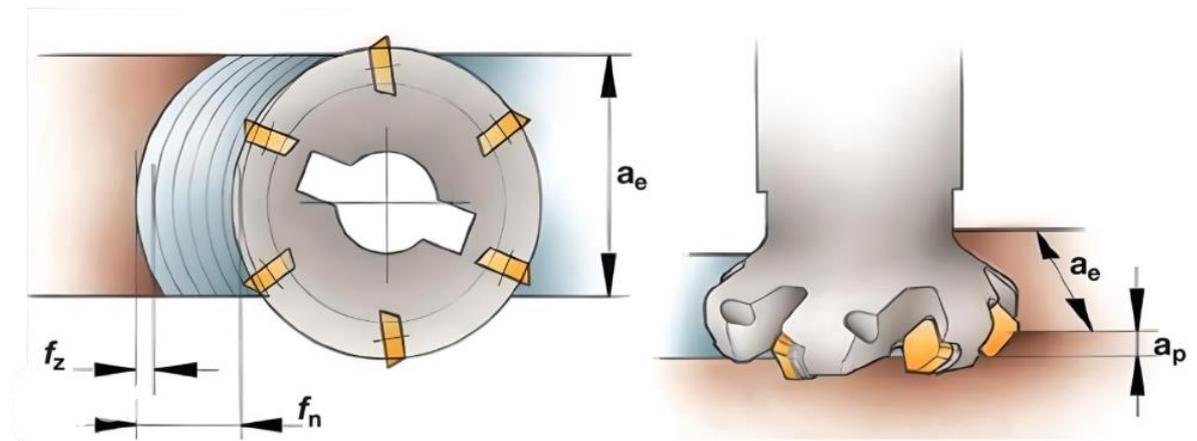


Figura 20. Parámetros de corte en el fresado frontal [26]

1.5.6 Herramientas de corte

El diseño de la herramienta de corte influye en el rendimiento del proceso de mecanizado. Las herramientas bien concebidas garantizan la producción constante de piezas de alta calidad y tienen una vida útil prolongada y predecible. Por otro lado, una herramienta de diseño deficiente puede desgastarse de manera rápida e impredecible, lo que conlleva una disminución en la productividad y un aumento de los costos, así como la fabricación de piezas de calidad inferior. Es esencial considerar las diversas

geometrías y materiales de las herramientas específicas para una aplicación determinada, junto con sus respectivas gamas de velocidades y avances, y los mecanismos o modos de fallo característicos [31].

1.5.7 Mecanismos de desgaste

El desgaste progresivo se manifiesta principalmente en dos áreas: la parte superior de la superficie de ataque y el flanco o superficie de incidencia como se muestra en la figura 21. Esto conduce a dos categorías principales de desgaste de herramientas: desgaste en cráter, caracterizado por una sección cóncava en la superficie de ataque, y desgaste del flanco, que ocurre en el flanco de la herramienta debido al roce entre la superficie de trabajo recién creada y la cara del flanco adyacente al borde de corte [32].

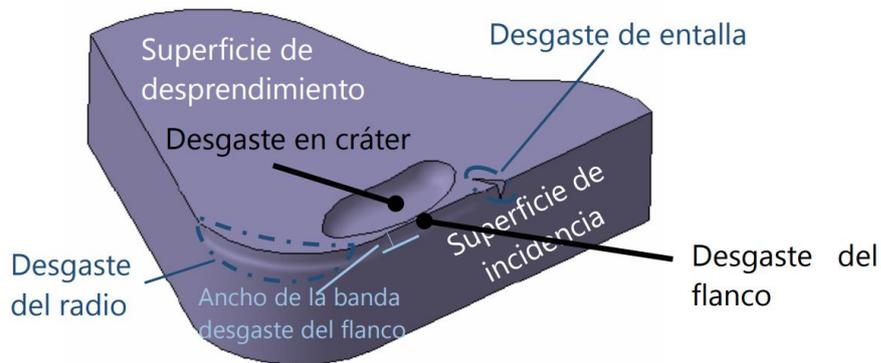


Figura 21. Zonas de desgaste de herramientas [32].

En estas regiones se pueden observar diversos tipos de desgaste. Son responsables de la disminución de la precisión y la calidad superficial de las piezas mecanizadas. Dada la importancia del desgaste, se profundiza en la identificación de los mismos, permitiendo optimizar la productividad al seleccionar herramientas y datos de corte adecuados según el tipo de operación y el material de la pieza a mecanizar. El desgaste se ocasiona por ciertas causas que derivan en algunos mecanismos:

1.5.7.1 Abrasión

- Desgaste de flanco uniforme o Flank wear (figura 22).

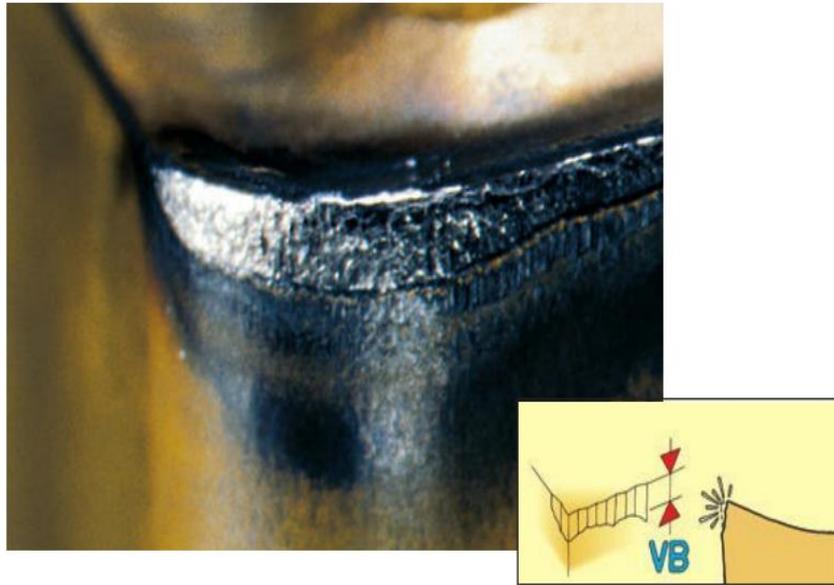


Figura 22. Desgaste de flanco uniforme [33].

- Desgaste en entalladura o Notch wear (figura 23).

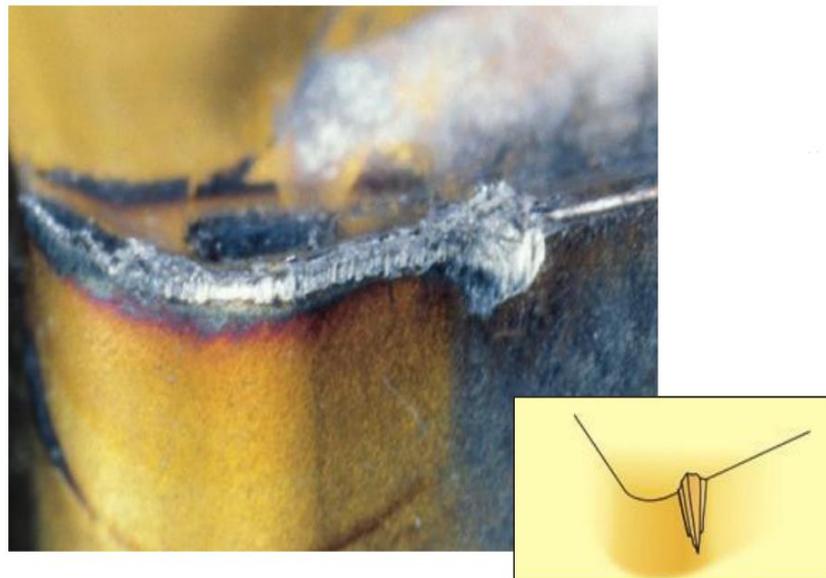


Figura 23. Desgaste en entalladura [33].

1.5.7.2 Adhesión

- Filo recrecido o Built up Edge (figura 24).

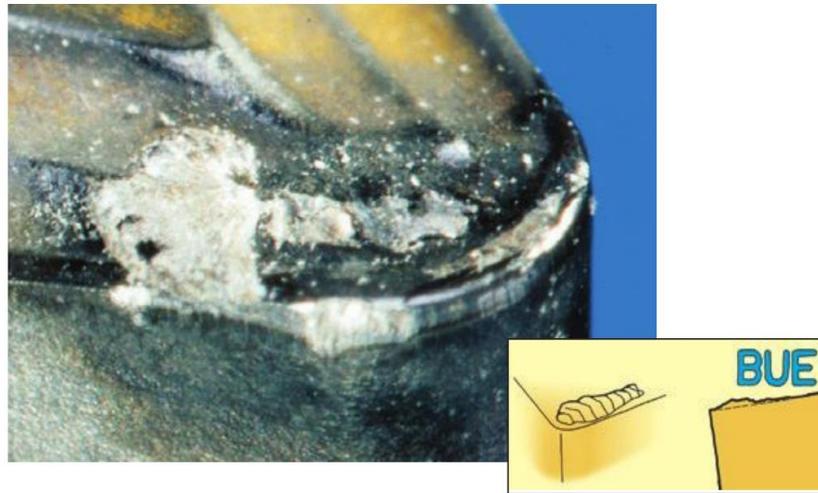


Figura 24. Desgaste de filo recrecido [33]

1.5.7.3 Mecánico

- Rotura de filo, Astillado o Chipping (figura 25).

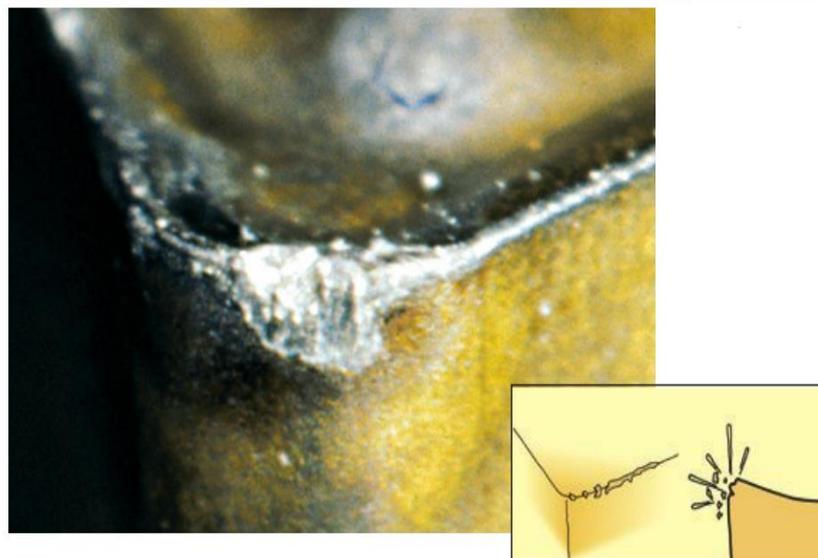


Figura 25. Desgaste tipo astillado [33].

- Rotura de bordes o Edge Chipping (figura 26).



Figura 26. Desgaste tipo rotura de bordes [33].

1.5.7.4 Químico

- Desgaste de cráter (figura 27).



Figura 27. Desgaste de cráter [33].

1.5.7.5 Térmico

- Deformación plástica (figura 28).

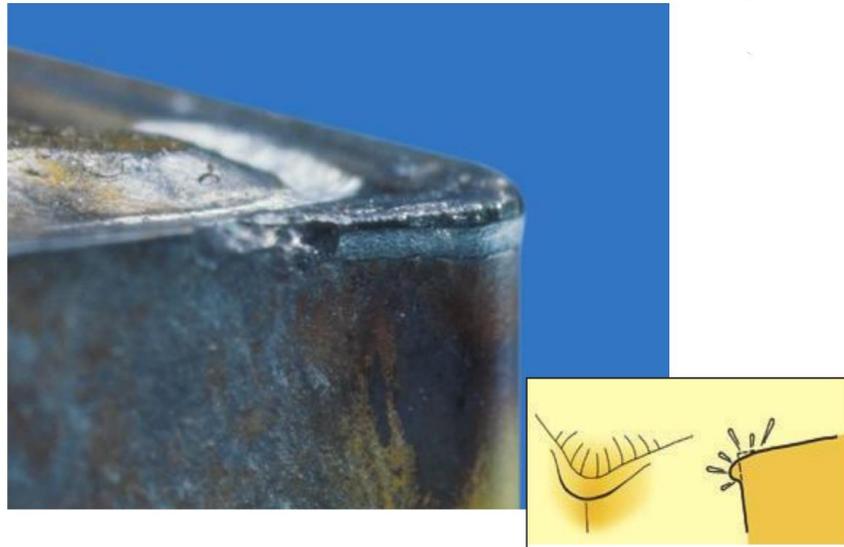


Figura 28. Desgaste por deformación plástica [33].

- Grietas térmicas (figura 29).

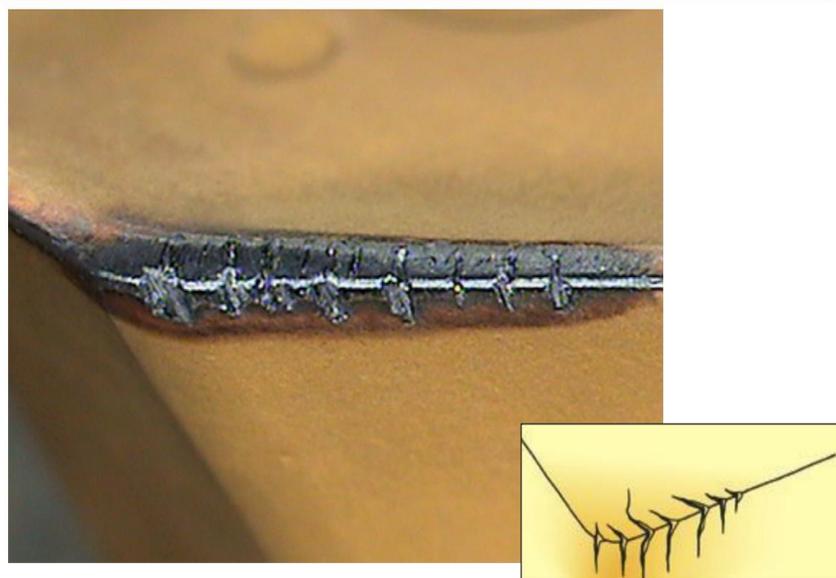


Figura 29. Desgaste por agrietamiento térmico [33].

1.5.8 Vida de la herramienta de corte

Se debe hacer una distinción entre la vida útil de la herramienta de corte y el tiempo necesario para llegar al fallo. En este contexto, la vida útil de la herramienta se define como el tiempo de corte efectivo hasta alcanzar un valor predeterminado del criterio de desgaste, generalmente relacionado con el ancho de desgaste del flanco. Por otro lado, el tiempo hasta el fallo se refiere al tiempo efectivo de corte hasta que se produce el fallo [33].

El desgaste y, por tanto, la vida útil de cualquier herramienta para cualquier material de trabajo se rige principalmente por el nivel de los parámetros de mecanizado, es decir, la velocidad de corte (V_c), el avance (f_n), y la profundidad de corte (a_p). En la figura 30 se analiza cómo influyen estos factores en la vida de la herramienta [33].

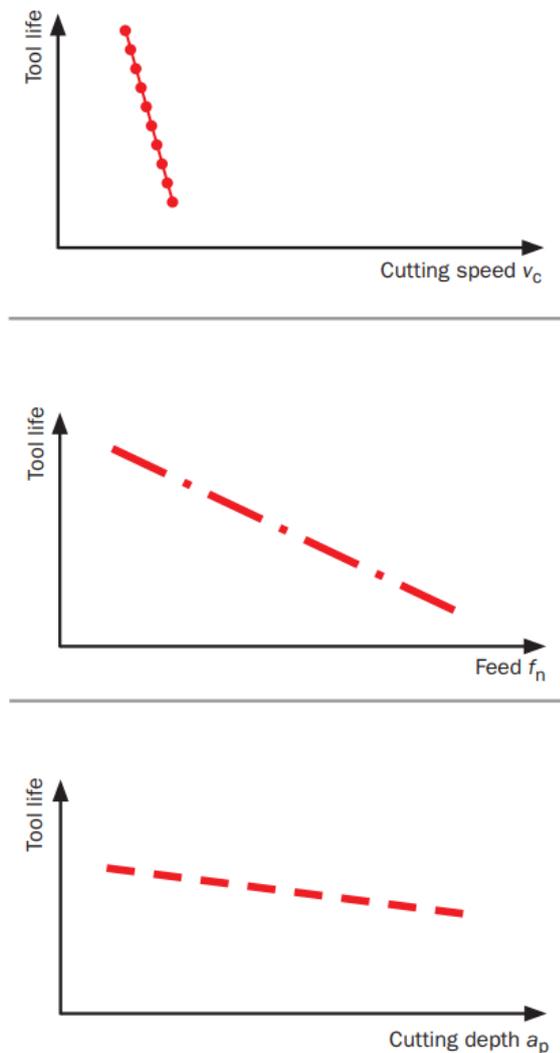


Figura 30. Influencia de los parámetros de corte en la vida útil de la herramienta [33].

1.5.9 Fórmula de Taylor

El patrón común de crecimiento del desgaste de las herramientas de corte, principalmente en términos del valor V_B , y la evaluación de su vida útil, junto con su dependencia de la velocidad de corte, se representan en la figura 31. El valor máximo del ancho de desgaste de flanco en desgaste uniforme se considera de 0.3 milímetros, donde según la norma ISO 8688-1, [34], este valor pertenece a un criterio de vida normal.

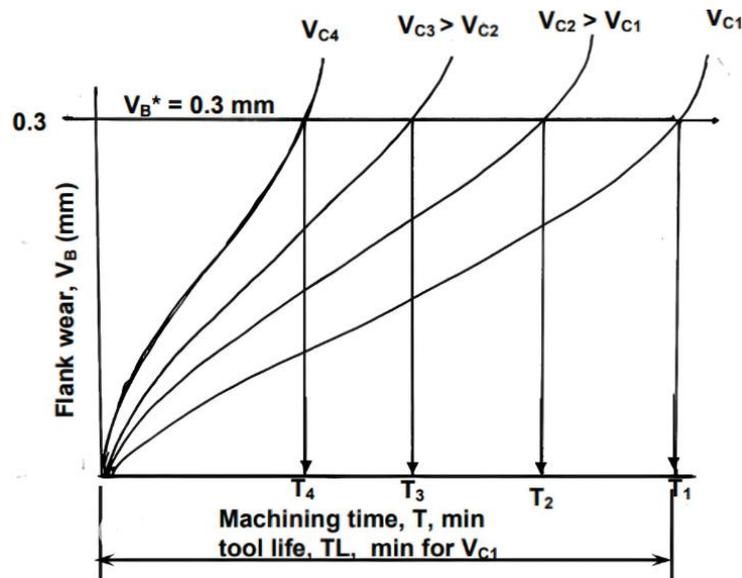


Figura 31. Evolución típica del desgaste [35].

Si se compara la vida de herramienta, T_1, T_2, T_3, T_4 , con las velocidades de corte correspondientes, V_1, V_2, V_3, V_4 , como se ilustra en la figura 32, se observa una curva suave con forma de hipérbola rectangular.

Sin embargo, cuando Frederic Taylor representó la misma figura utilizando escalas logarítmicas tanto para V como para T , se obtuvo una relación lineal más clara, como se muestra esquemáticamente en la figura 33.

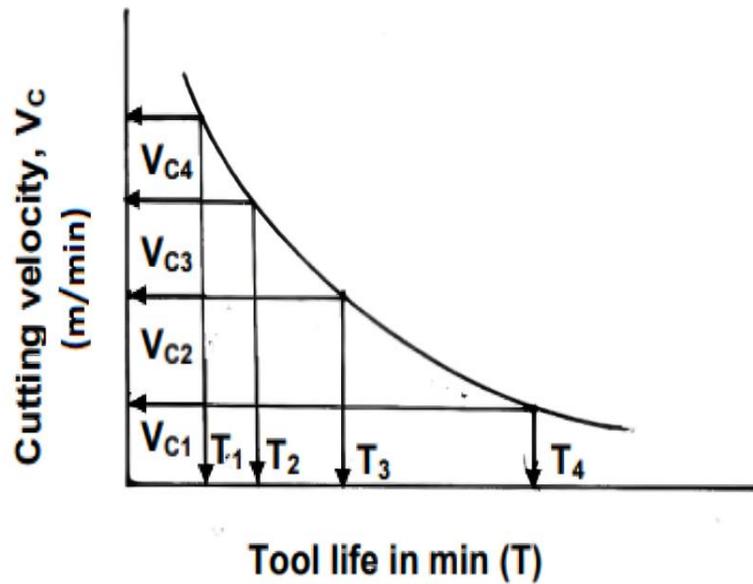


Figura 32. Relación velocidad de corte - vida de herramienta [35].

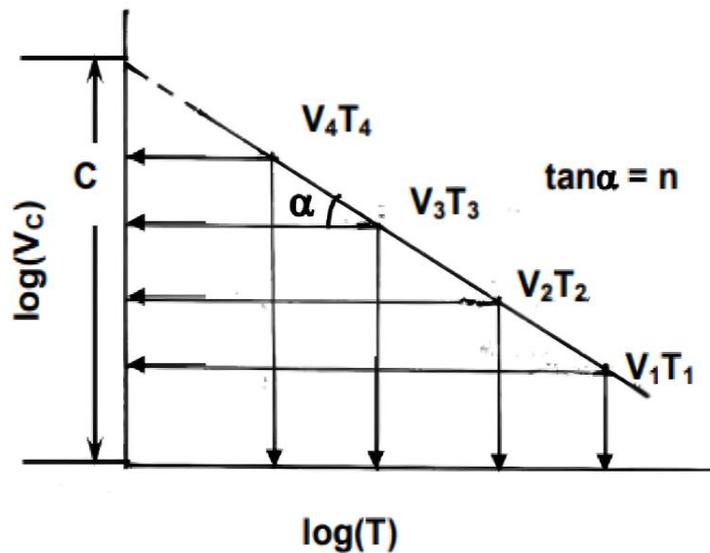


Figura 33. Relación velocidad de corte - vida de herramienta en escala logarítmica [35].

Con la pendiente, n y el intercepto, C , Taylor derivó la ecuación simple como:

$$V_c \cdot T^n = C \quad (3)$$

Donde, n se denomina exponente de vida de la herramienta de Taylor. Los valores de ' n ' y ' C ' dependen principalmente de los materiales de la herramienta y del entorno de corte (aplicación del fluido de corte).

1.5.10 Material de la herramienta

Las herramientas deben estar fabricadas con materiales capaces de resistir altas tensiones y temperaturas generadas durante la formación de viruta. Idealmente deben tener las siguientes propiedades [31]:

- Alta dureza de penetración a temperaturas elevadas para resistir el desgaste abrasivo.
- Alta resistencia a la deformación para evitar que el filo se deforme o colapse bajo las tensiones generadas por la formación de virutas.
- Alta tenacidad a la fractura para resistir el astillado y la rotura del filo, especialmente en el corte interrumpido.
- Inercia química (baja afinidad química) con respecto al material de trabajo para resistir la difusión y el desgaste químico.
- Alta conductividad térmica para reducir las temperaturas de corte cerca del filo de la herramienta.
- Alta resistencia a la fatiga, especialmente para herramientas utilizadas en cortes interrumpidos.
- Alta resistencia al choque térmico para prevenir la rotura de la herramienta en cortes interrumpidos.
- Alta rigidez para mantener la precisión.
- Lubricidad adecuada (baja fricción) con respecto al material de trabajo para evitar la formación de rebabas, especialmente al cortar materiales blandos y dúctiles [31].

Cada una de estas características está orientada para evitar cierto tipo de fallo de herramienta. A continuación, se presenta los materiales que comúnmente se han venido utilizando en la industria manufacturera:

1.5.10.1 Aceros Especiales

Actualmente, su uso es limitado. En ciertas situaciones, se añaden elementos adicionales a la aleación hierro-carbono para mejorar su resistencia al desgaste. Entre estos elementos se incluyen cromo, cobalto, manganeso, molibdeno, níquel, silicio, tungsteno y vanadio. Cuando se introducen estos elementos, los aceros son categorizados como aceros especiales y pueden ser utilizados en operaciones de mecanizado a velocidades de corte de hasta 25 metros por minuto [36].

1.5.10.2 Aceros rápidos (HSS) y materiales relacionados

Son aceros autoendurecibles aleados con W, Mo, Co, V y Cr. Presentan buena dureza en caliente, lo que permite mecanizar hasta temperaturas de 540 °C - 600 °C sin perder el filo de corte. El HSS es barato en comparación con otros materiales para herramientas, se moldea fácilmente y tiene una excelente tenacidad a la fractura y resistencia a la fatiga y a los golpes. Su limitada resistencia al desgaste y estabilidad química hace que las herramientas de acero rápido sólo sean adecuadas para velocidades de corte limitadas. Este material permite el reafilado con muelas abrasivas convencionales. Los HSS se clasifican a grandes rasgos en aceros tipo T, cuyo principal elemento de aleación es el Wolframio, y aceros tipo M, cuyo elemento de aleación preponderante es el molibdeno [31].

1.5.10.3 Carburo de Tungsteno sinterizado (WC-Co)

También llamado metal duro o carburo cementado, son los materiales de herramienta más comunes para torneado, fresado, roscado y mandrinado con plaquitas intercambiables y enterizas. Las plaquitas y piezas en bruto de carburo de tungsteno cementado se fabrican mezclando, compactando y sinterizando polvos de carburo de tungsteno (WC) y cobalto (Co). Este último actúa como aglutinante de los granos sólidos de WC. El tamaño de grano y el contenido de aglutinante determinan en gran medida las propiedades físicas y mecánicas del inserto. Entre las características de los carburos de tungsteno se incluyen una elevada resistencia a la rotura transversal, gran resistencia a la fatiga y a la compresión, y una buena dureza en caliente. El módulo de elasticidad la resistencia a la torsión son el doble que los del HSS. Variando el contenido de cobalto, puede modificarse el equilibrio relativo entre dureza y tenacidad.

En la figura 34 se observa el comportamiento de la dureza Vickers y la tenacidad a la fractura [31].

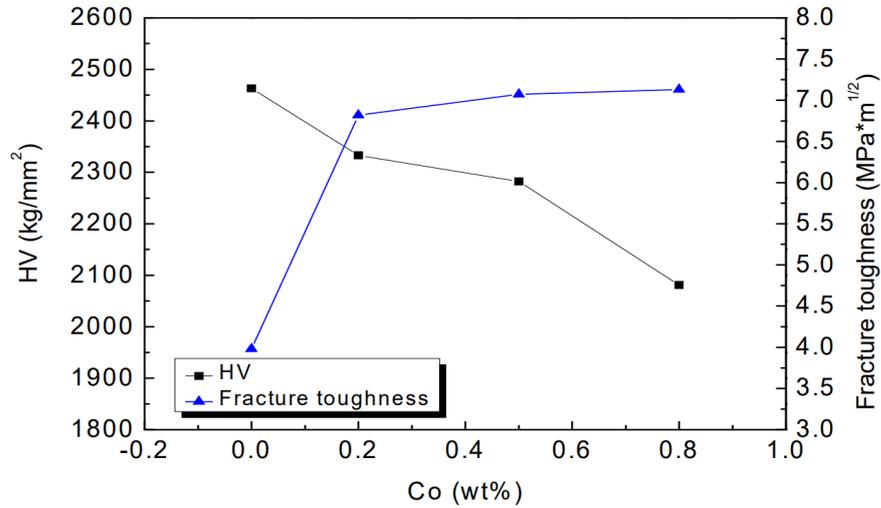


Figura 34. Dependencia de la dureza Vickers y la tenacidad a la fractura con el contenido de Co [37]

Se han desarrollado calidades aleadas que contienen TiC o TaC para mejorar la resistencia al desgaste por cráteres en el mecanizado de aceros. En comparación con las series puras, las aleaciones presentan mayor resistencia a calor, resistencia a la compresión y estabilidad química.

La norma ISO 513:2012 clasifica los diferentes tipos de metal duro de acuerdo al material que puede mecanizar la herramienta. A cada grupo se le designa una letra como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los seis carburos metálicos según la norma ISO, adoptado de [33]

DIN ISO 513	Material	Ejemplos
P	Acero de fácil mecanización, Acero al carbón y acero fundido	1010, 1015, 1018, 1020, 12L13
		1035, 1045, 1050
		A387
		1055, 1060, 1213, 1095
P	Acero de baja aleación y acero fundido	D2, 8620, 4130, 4140, L3 52100
		1213, 1215, 1330, 2515, 4340, 8620
		52100, 4340
P	Acero de alta aleación y acero fundido	3135
		H13, D2, 2515
		T15, M42, M35
M	Acero inoxidable y acero fundido	403, 410, 416, 502, 504 431, 17-4 PH, 15-5 PH
	Acero inoxidable y acero fundido	303, 304, 316, 316L, 309
K	Hierro fundido gris	Clase 20, Clase 25 Clase 30, Clase 35, Clase 45, Clase 50
	Hierro nodular	60-40-18, 80-55-06, 65-45-12 100-70-03
	Hierro maleable	32510 70003, 50005, 90001, 1022, 1518
N	Aleaciones de forja de aluminio	1060, 2018, 6160, 7079 7050
	Aleaciones de fundiciones de aluminio	2024-T4, 2014-T6, 6061-T6, 380, 390, 380-1,
	Cobre/aleaciones de cobre	Mecanizado libre de latón Latón Bronce
	No metales	Duroplástico, Fbra reforzada de plástico, Baqueíta, 26-28 aleaciones de cobre Caucho, Nylon
S	Aleaciones resistentes al calor	Monel 500, A286, Discaloy Inconel 600, Unitemp, Refractaloy 26 Nimonic, Inconel X750, Astroloy, Hsatelloy B, Inconel 625 Nimonic 90, Hastelloy C, Rene 41, Waspaloy, J1570 Inconel 718
	Titanio, aleaciones de titanio	Ti-6Al-4V, Ti-6Al-2Sn-Zr-2Mo
H	Acero reforzado	
	Enfriado/hierro fundido endurecido	Ni-Hard 1, Ni-Hard 3, Ni-Hard 4

1.5.10.4 Cerámicos

Las herramientas cerámicas son duras y químicamente estables y han sustituido a las herramientas de metal duro en muchas aplicaciones de mecanizado de alta velocidad. Las cerámicas pueden soportar temperaturas más altas que los carburos, lo que permite de tres a diez veces la velocidad de corte y de dos a cinco veces la velocidad de arranque de metal. Las propiedades mecánicas de las cerámicas superan a las de los carburos solo a temperaturas más altas, como, por ejemplo, por encima de 800°C. Mantienen una excelente dureza y rigidez a temperaturas que oscilan entre los 1000°C y los 1500°C (los carburos tienden a ablandarse significativamente por encima de los

850°C), y no reaccionan químicamente con la mayoría de los materiales de las piezas de trabajo a estas temperaturas. Sin embargo, presentan varios puntos débiles: resistencia relativamente baja, escasa resistencia a los choques térmicos y mecánicos, y baja resistencia a la corrosión. Existen cerámicas de varios tipos [31]:

- El óxido de aluminio, Al_2O_3 , a veces se mezcla con óxido de circonio, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$. Estas herramientas tienen un color que varía entre el amarillo y el gris/blanco. Las herramientas hechas de estos materiales presentan una alta resistencia química, así como resistencia al desgaste y a la deformación térmica. Se emplean en operaciones de mecanizado de cortes continuos poco profundos, como las operaciones de semiacabado y acabado, a velocidades de avance relativamente bajas [31].
- Compuestos de alúmina-carburo de titanio, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$, con un contenido del 30%-40% de carburo de titanio, son de color negro y presentan mayor resistencia a la rotura transversal, resistencia al choque térmico y dureza en comparación con el Al_2O_3 convencional. Sin embargo, aún mantienen una resistencia a la fractura relativamente baja. Estos compuestos resultan eficaces en operaciones de corte continuo en aceros aleados, fundiciones enfriadas y maleables, materiales férricos endurecidos y acero inoxidable [31].
- Materiales de nitruro de silicio, como el nitruro de silicio aglomerado por reacción (Si_3N_4 , RB), el nitruro de silicio prensado en caliente (Si_3N_4 , HIP), o aglomerado por reacción sinterizado. Estas cerámicas, combinaciones de Si_3N_4 con itrio, óxido de aluminio y carburo de titanio, son resistentes ofrecen una mayor durabilidad, resistencia al desgaste y a las entalladuras, una elevada dureza al rojo y mayor resistencia al choque térmico en comparación con los materiales de las dos primeras categorías, lo que resulta en herramientas más confiables [31].
- Alúmina reforzada con whiskers de carburo de silicio ($\text{SiCw-Al}_2\text{O}_3$). Este material se diseñó para combinar fiabilidad y resistencia superior a la fractura, el choque térmico y el desgaste. La vida útil de las herramientas de este material no es necesariamente superior a la de otras herramientas cerámicas. Es más eficaz cuando se utiliza para mecanizar aleaciones de alta temperatura

a altas velocidades de corte, especialmente aleaciones con base de níquel. Puede funcionar con refrigerante a diferencia de las otras herramientas [31].

1.5.10.5 Cermets

Los cermets son metales duros a base de TiC, TiN o TiCN descritos a menudo como compuestos cerámicos o de carburo. Las propiedades físicas y la gama de aplicaciones de los cermets se sitúan generalmente entre las del WC y las cerámicas simples. Los cermets son menos susceptibles al desgaste por difusión que el WC y tienen características de fricción más favorables. Sin embargo, tienen una menor resistencia a la fractura (menor resistencia y tenacidad) y una mayor dilatación térmica [31].

1.5.10.6 Policristalinos

Las herramientas policristalinas ofrecen una durabilidad máxima a altas velocidades de corte. Se han desarrollado dos tipos de materiales para este propósito: el nitruro de boro cúbico policristalino (PCBN) y el diamante policristalino (PCD). Ambos materiales se fabrican mediante un proceso de alta temperatura y alta presión en el cual se consolidan partículas individuales de diamante o CBN. Estas partículas se consolidan en presencia de catalizadores como hierro, níquel y/o cobalto, que promueven la consolidación de los granos en una estructura sólida policristalina o sobre un sustrato de carburo de tungsteno [31].

- A altas velocidades, el PCBN, el segundo material más duro conocido, permanece inerte y conserva una alta dureza y tenacidad a la fractura. Aunque tiene una dureza superior, la tenacidad a la fractura del PCBN se encuentra entre la del carburo de tungsteno (WC) y las cerámicas. El PCBN tiene una alta conductividad térmica y un bajo coeficiente de expansión térmica, lo que lo hace menos sensible al choque térmico que las cerámicas. Es térmicamente estable a temperaturas de hasta 1400°C [31].
- El PCD, el material de herramientas más duro de todos, exhibe una excelente resistencia al desgaste, mantiene un filo extremadamente afilado, genera poca fricción en el corte, proporciona una alta resistencia a la fractura y tiene una buena conductividad térmica. Estas propiedades contribuyen a la larga vida útil de las herramientas de PCD en el mecanizado convencional y de alta velocidad de materiales blandos y no ferrosos (aluminio, magnesio, cobre y aleaciones

de latón), compuestos avanzados y compuestos de matriz metálica, superaleaciones y materiales no metálicos. Por lo general, no se recomienda el uso de PCD para materiales ferrosos debido a la alta solubilidad del diamante (carbono) en el hierro [31].

En la figura 35 se aprecia una comparación general de las herramientas en términos de Dureza-Tenacidad.

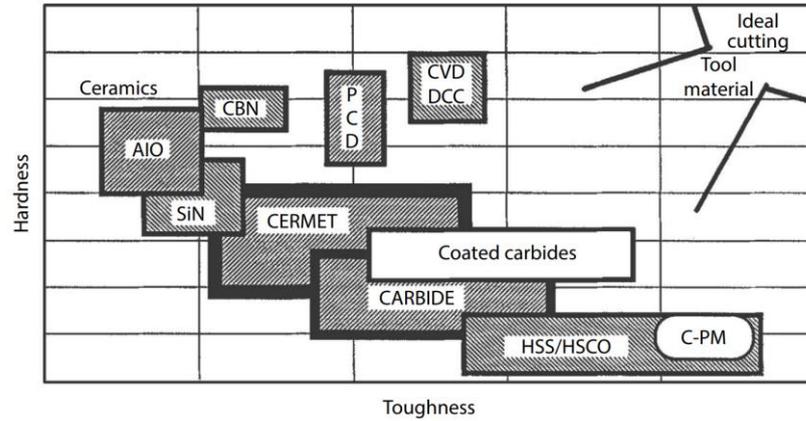


Figura 35. Comparación de la dureza y tenacidad de diversos materiales de herramientas de corte [31].

En la figura 36 se aprecia los distintos materiales y su influencia en el rango de velocidades típicas, de uso ocasional o incluso cuando se está mecanizando materiales no ferrosos.

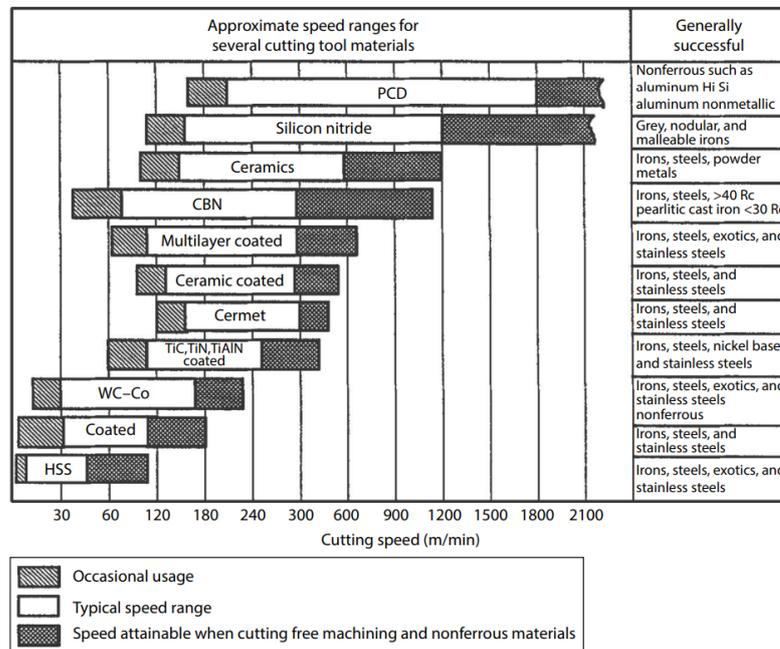


Figura 36. Efecto del material de la herramienta en la velocidad de corte admisible [31].

1.5.11 Recubrimientos para herramientas

Materiales de herramientas HSS, WC-Co y cerámicas a menudo se recubren para aumentar la vida útil de la herramienta y las velocidades de corte permitidas. Los recubrimientos actúan como una barrera química y térmica entre la herramienta y la pieza de trabajo; aumentan la resistencia al desgaste de la herramienta, evitan reacciones químicas entre la herramienta y el material de la pieza de trabajo, reducen la formación de rebabas, disminuyen la fricción entre la herramienta y la viruta/pieza de trabajo, y evitan la deformación del filo de corte debido al calentamiento excesivo [31].

1.5.11.1 Métodos de recubrimiento

Los dos procesos de recubrimiento más comunes son la deposición química en fase vapor (CVD) y la deposición física en fase vapor (PVD). Ambos se utilizan para recubrimientos simples y multicapa.

En el proceso de CVD, el sustrato se calienta y se expone a un flujo de gas con la química adecuada, que reacciona con la superficie para formar la capa de recubrimiento. Por ejemplo, los recubrimientos de TiN se pueden producir utilizando un flujo de gas compuesto por TiCl_4 , H_2 y N_2 . Los recubrimientos de CVD proporcionan una óptima adherencia porque la unión entre un recubrimiento de CVD y el sustrato es metalúrgica y más fuerte que la unión mecánica producida por el PVD. Como resultado, los recubrimientos de CVD son más duros que los recubrimientos de PVD y proporcionan una vida útil más larga cuando se aplican adecuadamente. Sin embargo, los requisitos de temperatura de las técnicas tradicionales de CVD reducen el rango de materiales de sustrato a los que se pueden aplicar estos recubrimientos. Los recubrimientos de CVD en sustratos de carburo están en tensión residual a temperatura ambiente porque los materiales del recubrimiento tienen un coeficiente de expansión térmica más alto que el carburo; esto puede dar lugar a fisuras transversales que provocan la falla de la herramienta en el corte interrumpido. Los recubrimientos de CVD suelen tener un grosor de entre 5 y 15 μm [31].

En el recubrimiento de PVD, el material del recubrimiento se vaporiza y se deposita por pulverización o evaporación por arco. Los recubrimientos de PVD se aplican a temperaturas más bajas del sustrato y, por lo tanto, pueden aplicarse a una gama más

amplia de sustratos. En general, los recubrimientos de PVD son más adecuados para herramientas de acero de alta velocidad, acero de alta velocidad con cobalto, carburo de tungsteno soldado o herramientas de carburo sólido. Los recubrimientos de PVD están prácticamente libres de grietas térmicas y tienen una estructura de grano más fina permitiendo que se ajusten eficazmente a los bordes afilados de las herramientas de acabado. El grosor del recubrimiento de PVD generalmente varía entre 2 y 5 μm [31].

Existen varios materiales utilizados en recubrimientos para herramientas, tales como nitruro de titanio (TiN), carburo de titanio (TiC), carbo-nitruro de titanio (TiCN), nitruro de aluminio y titanio (TiAlN), óxido de aluminio (Al_2O_3), entre otros. Se resaltan los recubrimientos TiN, TiCN y TiAlN, los cuales son frecuentemente empleados en herramientas rotativas debido a su aplicación mediante procesos de deposición física de vapor (PVD) [31].

La mejora en los recubrimientos aplicados a las herramientas de metal duro es tan evidente que incluso puede resultar en rangos de velocidad de corte que cubren hasta cuatro veces más. Se muestra en la figura 37 una comparación de los intervalos de velocidad de corte aplicables a herramientas con y sin recubrimiento.

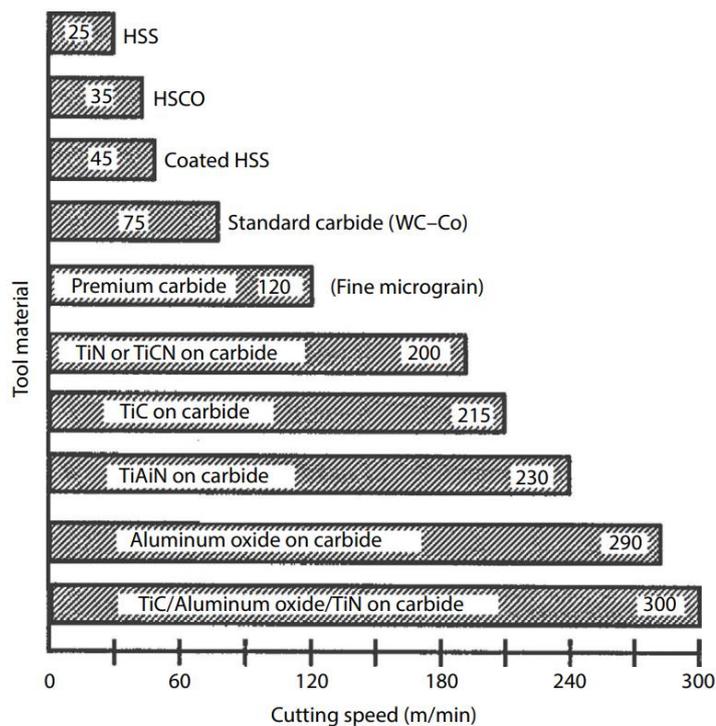


Figura 37. Comparación de las velocidades de corte de herramientas revestidas y no revestidas [31].

La efectividad de estos recubrimientos está sujeta al material de trabajo, al tipo de proceso, a la geometría de la herramienta y a las condiciones de corte. Por ejemplo, el TiN reduce la fricción, resistiendo el desgaste adhesivo y la formación de rebabas, mientras que el TiCN, al ser más duro que el TiN, proporciona baja fricción y buena resistencia al desgaste abrasivo. El Al₂O₃ ofrece resistencia térmica, resistencia a la oxidación y resistencia al desgaste abrasivo y adhesión. El TiAlN, por su parte, presenta una ductilidad superior y es estable a temperaturas más elevadas, brindando resistencia a la oxidación, mayor conductividad térmica y mayor resistencia química. También se mencionan los recubrimientos de diboruro de titanio (TiB₂) y los recubrimientos lubricantes como el disulfuro de molibdeno (MoS₂) y el disulfuro de tungsteno, que a veces se utilizan en aplicaciones de mecanizado en seco. Los recubrimientos multicapa se destacan al combinar las mejores propiedades de los recubrimientos individuales, donde cada capa contribuye con funciones y aplicaciones específicas [31]. En la tabla 2 se detalla el impacto de los recubrimientos en los tipos de desgaste de las herramientas.

Tabla 2. Indicación de la resistencia al desgaste de diversos métodos de recubrimiento [31]

Coating	Abrasion Wear	Adhesion Wear	Fatigue Wear	Plastic Deformation	Chipping/ Fracture	Try for a Sharp Edge
PVD	-	+	+	-	+	+
CVD	+	0	0	+	0	-
MT-CVD	+	0	0	+	0	-
TiAlN	+	+	0	+	-	0
TiCN	+	0	0	0	0	0
TiN	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	++	+	-	+	-	-

Note: +, positive impact; -, negative impact; 0, neutral impact.

1.5.12 Maquinabilidad del acero inoxidable

“Maquinabilidad” puede referirse tanto a la facilidad como a la dificultad de cortar un material. Es el término utilizado para denotar el rendimiento de mecanizado de un material por una herramienta de corte. Depende de [38]:

- Composición química del material de trabajo

- Estructura
- Propiedades mecánicas
- Propiedades físicas
- Condiciones de corte

Los criterios para juzgar la maquinabilidad pueden ser:

- Vida útil de la herramienta
- Fuerza de corte
- Acabado superficial
- Características de la viruta (color de la viruta, morfología de viruta, grosor de la viruta)
- Temperatura de corte

Los aceros inoxidable suelen clasificarse en cuatro categorías en función de su principal constituyente de la matriz: Ferríticos, Austeníticos, martensíticos, Duplex.

Los aceros inoxidable austeníticos se distinguen por su naturaleza aplicativa adecuada debido a su buena combinación de propiedades químicas elevadas. Estas propiedades dependen e influyen en la cantidad de sus elementos aleantes, así como en el tratamiento térmico utilizado. Los principales desafíos durante el mecanizado se manifiestan en una alta afinidad de adhesión hasta rangos de velocidad de corte elevados, cargas térmicas elevadas y en el endurecimiento del material. Además, la alta tenacidad conduce a una rotura de virutas desfavorable y a un aumento de la formación de rebabas. La formación de rebabas es de gran importancia porque influye no solo en la calidad y manipulación de la pieza de trabajo, sino también en el desgaste de la herramienta [38]. En la figura 38 se denota de manera general la facilidad con la que se mecanizan los aceros inoxidable respecto unos con los otros.

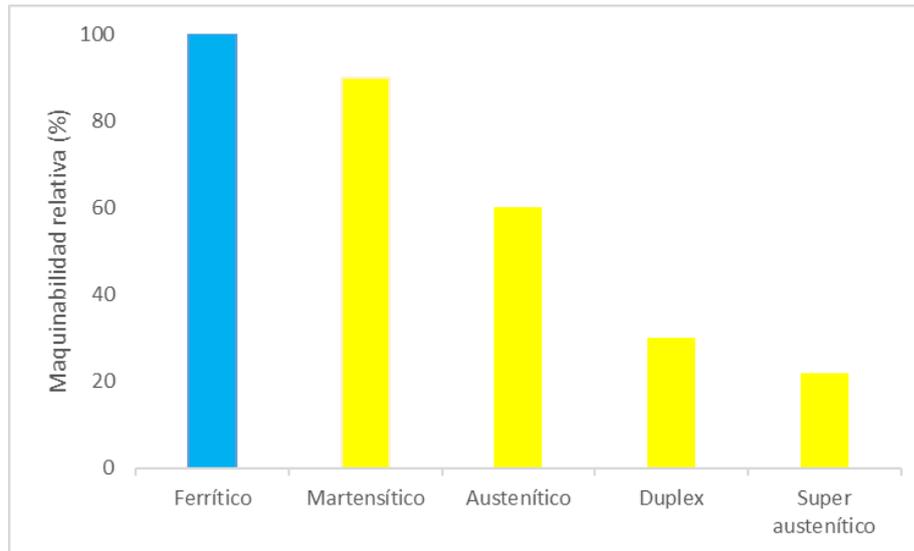


Figura 38. Maquinabilidad relativa de los aceros inoxidables [26].

1.5.13 Fluido de corte

La función principal del fluido de corte es proporcionar una acción de refrigeración a la zona de corte durante el proceso de corte. Además de su acción refrigerante, el efecto lubricante del fluido de corte contribuye significativamente a la reducción de la fricción.

Cabe recalcar, que el fluido de corte no solamente lubrica/refrigera, sino que también es beneficioso para:

- Eliminar las virutas de la superficie mecanizada para evitar que estas rayen la superficie.
- Reducir la fricción para disminuir la fuerza de corte y minimizar las vibraciones.
- Crear una película gruesa que proporcione una capa de protección para la superficie mecanizada y evite reacciones químicas que podrían favorecer la corrosión.
- Evitar un efecto de soldadura en la cara de corte, lo que podría provocar el fallo de la herramienta [39].

1.5.14 Tipos de fluido de corte

Los fluidos de corte son generalmente clasificados en tres diferentes clases como se muestra en la figura 39.

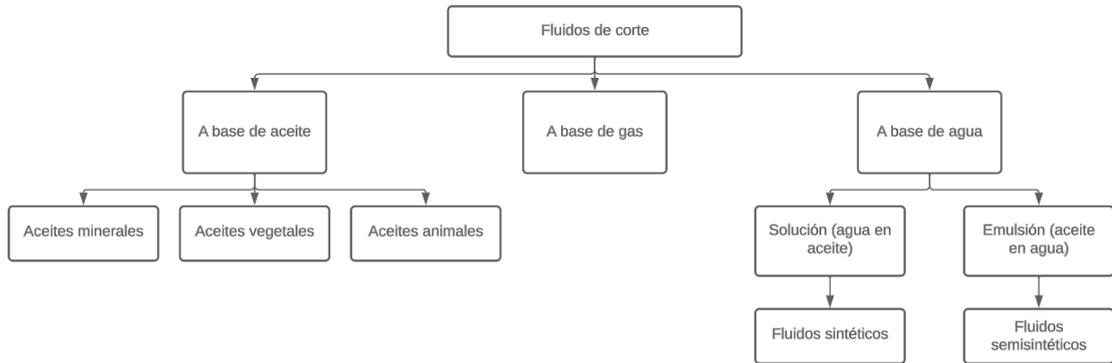


Figura 39. Clasificación de los fluidos de corte, adoptado de [4].

1.5.14.1 Aceites puros

Los fluidos de corte se clasifican principalmente en aceites de corte puros y aceites solubles en agua. Estos aceites de corte no se diluyen y mejoran las propiedades de lubricación, la resistencia a la corrosión y, en condiciones de alta presión, la adición de compuestos de azufre y cloro mejora el acabado superficial y prolonga la vida útil de la herramienta. Los aceites puros tienen una alta inflamabilidad y características de enfriamiento deficientes, es por eso que, en operaciones de corte de alta velocidad, los aceites puros no disipan el calor efectivamente [4].

Los aceites puros se utilizan en aplicaciones de baja velocidad, donde la temperatura no es significativa. La reducción en la formación de humo y el peligro de incendio se puede lograr con aceites vegetales debido a su mayor viscosidad. Los aceites vegetales son preferibles a los aceites minerales para reducir la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta. En general, estos aceites son sustitutos de los aceites derivados del petróleo, con efectos económicos y ambientales atractivos para la industria [4].

1.5.14.2 Aceites emulsionables

También conocidos como aceites solubles, son aceites a base de minerales que incluyen emulsionantes y aditivos. Estos aceites son de bajo costo y proporcionan una buena capacidad de enfriamiento a velocidades más altas. Tienen una mejor capacidad

de enfriamiento que los aceites puros y ofrecen protección contra la oxidación. Los principales problemas son la formación de niebla tóxica, el ataque bacteriano y la susceptibilidad de agua con alto contenido de minerales [4].

1.5.14.3 Fluidos sintéticos

Los fluidos sintéticos son soluciones a base de agua de lubricantes sintéticos, aditivos EP, inhibidores de corrosión, aditivos antibacterianos, ablandadores de agua y otros aditivos. Poseen una excelente capacidad de enfriamiento, mejores propiedades de lubricación y una protección superior contra la corrosión, con limitaciones de contaminación fácil con aceites extranjeros, cierta toxicidad y alto costo [4].

1.5.14.4 Fluidos semisintéticos

Los fluidos semisintéticos son soluciones y emulsiones de lubricantes sintéticos, (2% a 30%) aceite mineral, emulsionantes y aditivos. Tienen buenas capacidades de enfriamiento, una mejor protección contra la corrosión con limitaciones de toxicidad mínima y facilidad de contaminación por aceites externos [4].

1.5.14.5 Fluidos basados en gas

En general, los fluidos basados en gas se refieren a sustancias que están en estado gaseoso a temperatura ambiente y, en aplicaciones de mecanizado, pueden ser enfriados por presión. Los fluidos basados en gas incluyen aire, dióxido de carbono, nitrógeno y helio. El aire, obviamente, fue el primer refrigerante utilizado en el mecanizado. El aire comprimido de un compresor de aire, liberado desde una boquilla enfocada en la herramienta, en algunos casos ha demostrado ser un refrigerante valioso. Los refrigerantes basados en gas comprimido encuentran aplicaciones en condiciones de corte pesado donde las técnicas de enfriamiento tradicionales no pueden penetrar la interfaz herramienta-viruta. El nitrógeno líquido se ha utilizado ampliamente en el mecanizado de materiales duros como titanio, aceros, y aleaciones de dureza similar. El CO₂ es un gas incoloro y no inflamable que ha ganado popularidad como alternativa respetuosa con el medio ambiente para el enfriamiento durante la fabricación [4].

1.5.15 Métodos convencionales de aplicación de fluido de corte

1.5.15.1 Inundación

El método de aplicación más común es la inundación (flooding/wet) que generalmente se utiliza con fluidos de corte de tipo emulsión. El enfriamiento por inundación proporciona un flujo constante de fluido a la interfaz herramienta-pieza de trabajo como se muestra en la figura 40. Los caudales típicamente varían desde 10 l/min hasta 225 l/min dependiendo de la operación de mecanizado [4].



Figura 40. Técnica de inundación

1.5.15.2 Nebulización

En este método (mist cooling technique), se pulveriza una "niebla" sobre la operación de corte, siendo la opción preferida para eliminar la refrigeración por inundación en el mecanizado de materiales. Los fluidos de corte a base de agua son comúnmente utilizados en este método, destacándose por su eficacia y menor impacto ambiental. La aplicación de niebla del fluido de corte se realiza con un caudal de 50 a 500 ml/h, significativamente menor que el utilizado en condiciones de inundación y por ende menos costoso. Este proceso se compone de tres elementos esenciales: generador de niebla, boquilla y compresor. La operación requiere alta presión y una rápida velocidad de impacto a través de la boquilla en la zona de corte, como se detalla en la figura 41. Este enfoque ha demostrado ser efectivo, presentando un menor desgaste de la herramienta en comparación con las condiciones de corte en seco o inundación [4].

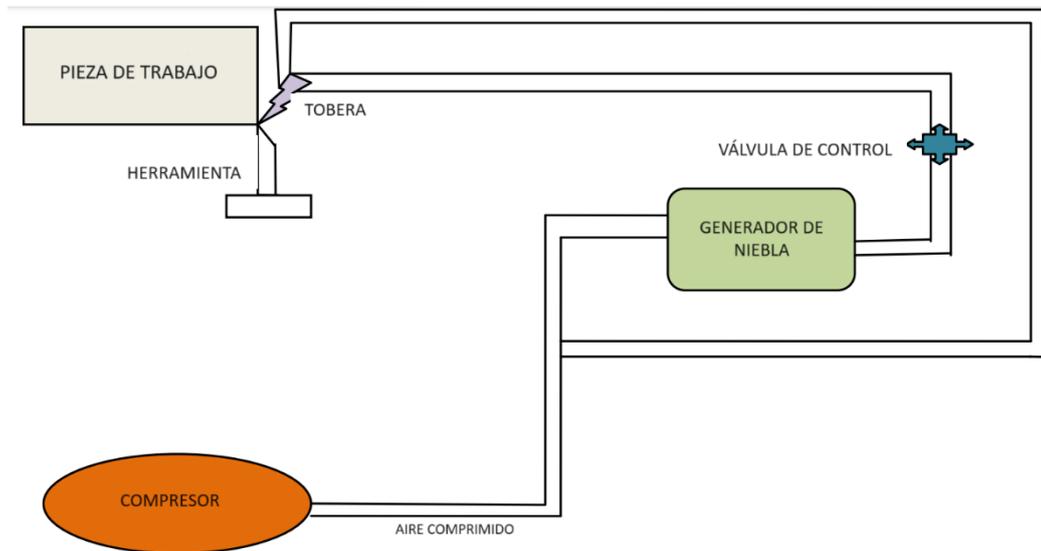


Figura 41. Representación esquemática de la instalación de la refrigeración por nebulización [4].

1.5.15.3 Refrigeración por alta presión

La técnica de refrigeración a alta presión (HPC) se emplea habitualmente para el corte de materiales duros, con el objetivo de reducir el desgaste de la herramienta y los costes generales de producción. Los sistemas HPC penetran más profundamente en la interfaz de corte, proporcionando un efecto refrigerante más pronunciado en comparación con los métodos convencionales. Al igual que en la tecnología de inundación, este proceso puede ser llevado a cabo con inyectores externos o ductos internos en la herramienta de trabajo. Se desempeña con un suministro de refrigerante que va desde los 700 hasta incluso los 5000 psi inyectado por una boquilla especial por la que el fluido circula a una velocidad de 350 – 500 km/h. Es importante filtrar el fluido de corte para evitar la posibilidad de que contenga partículas diminutas presentes en el chorro de alta presión que deterioren el acabado superficial de la pieza [40].

1.5.16 Técnicas alternativas a los fluidos de corte tradicionales

1.5.16.1 Mecanizado en seco

En el proceso de mecanizado en seco, se prescinde del uso de fluidos de corte. Este método se elige para evitar problemas asociados con dichos fluidos, tales como la contaminación ambiental, riesgos para la salud y repercusiones en la seguridad. Para

aplicar este método, se desarrollan herramientas de corte de metal duro con recubrimiento especial. Las operaciones de mecanizado en seco se llevan a cabo a velocidades de corte más bajas con el fin de prolongar la vida útil de la herramienta, lo que, a su vez, incrementa la tasa de producción. Sin embargo, la generación de calor en la interfaz conduce al sobrecalentamiento de la herramienta. La fricción entre la herramienta y la pieza de trabajo durante este proceso eleva significativamente la temperatura, dando como resultado tipos de desgaste como abrasión, difusión y oxidación. Asimismo, la generación de calor debido a la fricción entre la herramienta y la pieza de trabajo provoca desviaciones dimensionales y cambios metalúrgicos en la pieza. La formación de viruta, que podría causar deterioro en la superficie mecanizada, no puede ser evacuada de manera eficiente [40].

1.5.16.2 Mínima cantidad de lubricante

La lubricación de cantidad mínima (MQL) es un método de mecanizado casi seco en el que una fina pulverización de aceite puro sustituye al refrigerante a base de agua. La figura 42 muestra un esquema bastante general del principio del sistema. En el MQL, el aceite se consume en el proceso, en lugar de recogerse, filtrarse y reutilizarse. Los sistemas MQL utilizan caudales de aceite medidos en ml/h, en lugar de en l/min como en los sistemas anteriores. En la mayoría de las aplicaciones se utilizan caudales de aceite de entre 5 y 200 ml/h, a una presión de 60 – 120 psi, en función del material de trabajo y el tamaño de la herramienta. Al tratarse de un sistema de aceite puro, el MQL proporciona una mejor lubricación en el filo de corte que los fluidos a base de agua, reduciendo el calentamiento por fricción y el acumulamiento de material gracias al aire comprimido. Sin embargo, en comparación con la inundación, el MQL no proporciona una refrigeración y una estabilidad térmica significativa [31].

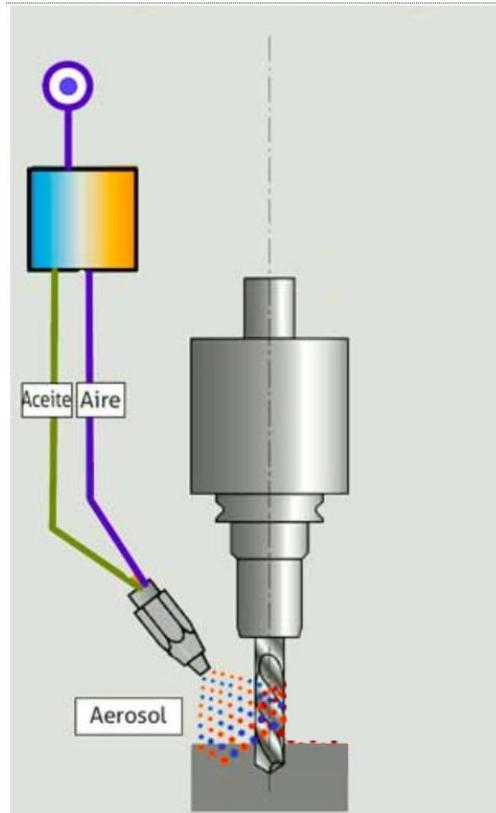


Figura 42. Esquematación general del sistema MQL [41].

1.5.16.2.1 Tipos de sistema MQL

Se pueden clasificar de acuerdo al método de inmersión y a la ubicación respecto los filos de corte.

- Distribución interna y externa

La pulverización se realiza de forma externa a través de una boquilla o boquillas montadas en la carcasa del husillo, o portaherramientas y dirigido al filo de corte activo, por lo general a no más de 200 milímetros, como se muestra en la figura 43.

La distribución puede ser también de forma interna a través del husillo y los canales de refrigerante dentro del cuerpo de la herramienta tal y como se presenta en la figura 44.

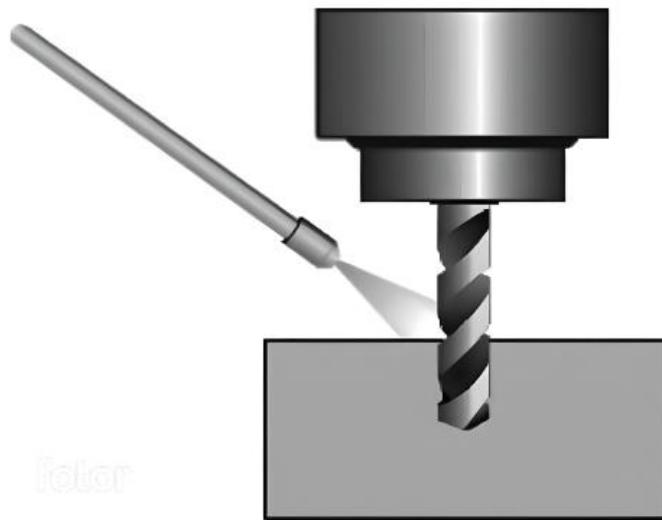


Figura 43. Aplicación MQL externa [31].

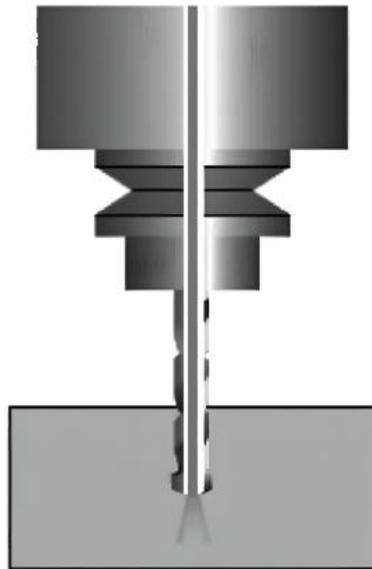
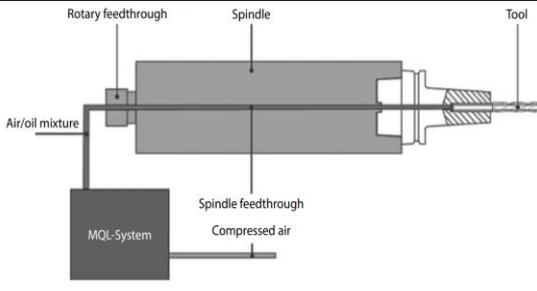
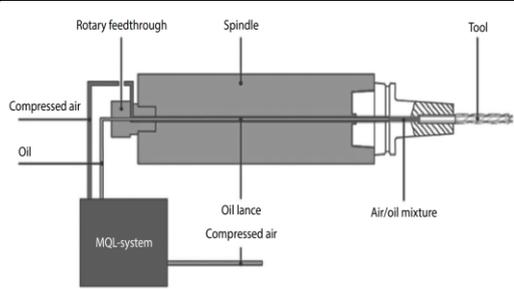


Figura 44. Aplicación MQL interna [31].

- Sistemas MQL de uno y dos canales

Los aspectos principales de ambos sistemas se detallan en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación de los sistemas MQL de uno y dos canales [31].

Un canal	Dos canales
La cantidad de aceite está en función del caudal de aire.	La cantidad de aceite no está en función del caudal de aire.
El caudal de aceite depende de las revoluciones del husillo.	El caudal de aceite es independiente de las revoluciones del husillo.
El tiempo de reacción es más largo	Tiempo de reacción corto (0,1-0,3 s)
Presión necesaria de 4 a 5 bares	Presión necesaria de 4 bares
Velocidades de husillo máximas de 16 000 a 20 000 rpm	Velocidades de husillo máximas de 40 000 rpm
Viscosidad máxima de lubricante de 50 mm ² /s	Viscosidad máxima de lubricante de 100 mm ² /s
Sin desgaste significativo de los componentes de su sistema.	Tiene componentes que sufren desgaste.
Puede alimentar varios husillos	Cada husillo requiere una unidad MQL
Es posible suministrar el fluido de forma interna en portaherramientas estándar.	Requiere portaherramientas especiales para el suministro interno.
 <p data-bbox="379 1760 791 1785">Figura 45. Sistema MQL de un canal [31].</p>	 <p data-bbox="914 1760 1358 1785">Figura 46. Sistema MQL de dos canales [31].</p>

1.5.16.2.2 Aceites en MQL

El MQL requiere aceites con mejores propiedades de lubricación que los aceites base de los refrigerantes a base de agua, ya que deben proporcionar una lubricación adecuada a volúmenes de aplicación mucho menores. Dado que el aceite se consume en un proceso MQL, en lugar de recogerse para su filtrado y eliminación como en los sistemas de inundación, deben ser no tóxicos y biodegradables para reducir la exposición del operario. La biodegradabilidad también es fomentada por las normativas medioambientales en países industrializados. Estas consideraciones hacen que los derivados de aceites vegetales sean los más adecuados para las aplicaciones de esta técnica. Los aceites vegetales suelen tener pesos moleculares superiores a los de los aceites minerales comunes, lo que les confiere unas propiedades de lubricación superiores. Dado que los aceites vegetales puros tienen una vida útil limitada debido a la hidrólisis y la oxidación, en los sistemas MQL se utilizan aceites producidos mediante la modificación de los aceites base vegetales para mejorar su estabilidad. La mayoría de los aceites que se utilizan hoy en día son ésteres sintéticos o alcoholes grasos [31].

1.5.16.3 Mínima cantidad de lubricante usando nanofluido

En general, la técnica MQL tiene limitaciones en el mecanizado de materiales a alta velocidad. La alta conductividad térmica de las nanopartículas en los fluidos de corte puede reducir o eliminar las deficiencias de los fluidos de corte tradicionales en el método MQL puro. El NMQL o NF-MQL, es la combinación partículas sólidas a escala nanométrica como TiO_2 , MoS_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , PCD, ZrO_2 , CNT y un fluido base como agua, aceite, etilenglicol, donde se ha demostrado una mejora de las propiedades tribológicas y de la viscosidad que permiten un mecanizado eficiente [4]. El rol de estas partículas no solo radica en efectos de conductividad y absorción de calor, sino también en otros modos de acción: forman una estructura similar a un cojinete en la interfaz de procesamiento, que convierte la fricción por deslizamiento entre la herramienta y la pieza de trabajo reduciendo eficazmente el coeficiente de fricción, especialmente si se trata de partículas esféricas. A este fenómeno se lo conoce como “rolling effect” y se lo aprecia en la figura 47(a) [42].

En los materiales lubricantes sólidos, la fuerza de cizallamiento entre las nanocapas es relativamente débil y puede desprenderse fácilmente durante el deslizamiento, y luego se adhiere a la superficie de trabajo para formar una película de fricción sólida, densa y lisa, reduciendo aún más la fricción y el desgaste. A este fenómeno se lo reconoce como “film formation effect” y se lo describe gráficamente en la figura 47(b) [42].

Las nanopartículas en el fluido de corte se desplazarán hacia los defectos superficiales de la pieza de trabajo bajo la acción de factores de fuerza externos. La alta temperatura instantánea durante el proceso de deslizamiento puede fundir nanopartículas con puntos de fusión bajos, reparar los microdaños de la superficie de la pieza, alisarla y prevenir daños a la integridad de la superficie de trabajo y a las cuchillas. A esto se lo conoce como “filling/mending effect” y se lo representa en la figura 47(c) [42].

Para nanopartículas hechas de materiales de alta dureza tienen un buen efecto de pulido. Reducen la rugosidad del par de fricción, disminuyen la tensión en la superficie de contacto y mejoran la capacidad de carga del fluido de corte. A este mecanismo se lo conoce como “polishing effect” y se muestra en la figura 47(d) [42].

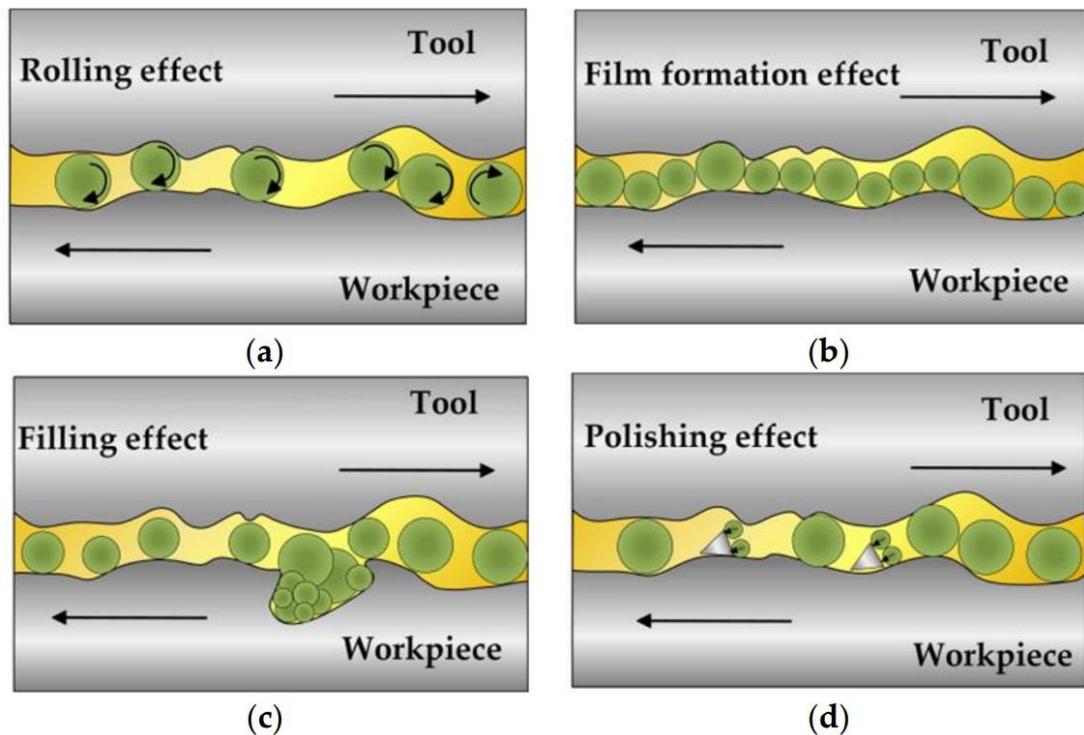


Figura 47. El mecanismo antifricción y antidesgaste de las nanopartículas [42].

1.5.16.4 Mínima cantidad de lubricante usando lubricantes sólidos

Trabajan bajo el mismo principio que las nanopartículas, sin embargo, en este caso son sustancias en forma de polvo con partículas más grandes. Algunos de estos compuestos son: MoS₂, WS₂, grafito, HBN, TiC, TiN, TiB₂, B₂O₃, PTFE [4].

1.5.16.5 Mínima cantidad de lubricante usando líquidos iónicos

Los líquidos iónicos suelen ser sales líquidas que tienen una temperatura de ebullición inferior a 100 °C. Están compuestos por un catión orgánico y un anión inorgánico. Los cationes orgánicos y los aniones inorgánicos son iones cargados eléctricamente que forman la estructura básica de estos líquidos iónicos. Esta combinación proporciona propiedades únicas y específicas. El elevado coste de los líquidos iónicos impide su uso en mecanizado como lubricantes puros, pero la adición de una baja concentración de líquidos iónicos puede modificar el rendimiento de los aceites convencionales [4].

1.5.16.6 Refrigeración criogénica

El uso de refrigerantes criogénicos en el mecanizado ha ganado interés debido a los beneficios medioambientales y la reducción de costos en comparación con los refrigerantes de emulsión tradicionales. Investigaciones indican que los refrigerantes criogénicos alternativos ofrecen beneficios en términos de vida útil de la herramienta, productividad, capacidad de refrigeración y contaminación superficial reducida. Estos refrigerantes sustituyen la emulsión con un gas o líquido para reducir la temperatura en la zona de corte, siendo el nitrógeno líquido (LN₂) y el dióxido de carbono (CO₂) opciones comunes. El oxígeno líquido, helio, neón, hidrógeno son alternativas estudiadas actualmente [43].

El CO₂ y LN₂ a pesar de cumplir el mismo objetivo, difieren considerablemente en cuanto a los mecanismos de refrigeración, por lo tanto, se deben considerar diferentes requisitos con respecto a la aplicación del refrigerante a través del husillo de la máquina herramienta y la herramienta de corte en la zona de contacto.

El dióxido de carbono se almacena como líquido en tanques de media presión aproximadamente 57 bares (800 psi) a temperatura ambiente. Para el enfriamiento del proceso, se suministra a través de tuberías resistentes a la presión hacia la herramienta de corte. Los elementos de la máquina y las líneas de suministro no se ven

influenciados térmicamente en absoluto siempre que el medio esté bajo presión. Cuando el CO₂ se expande en la salida de los canales de enfriamiento de la herramienta, la presión disminuye y se produce una transformación de fase de líquida a una mezcla de gaseoso y sólido, 60% CO₂ criogénico y 40% hielo seco de tamaño micrométrico. Se puede alcanzar un efecto de enfriamiento y temperaturas tan bajas como -78.5 °C [43].

Al aplicar N₂, se deben considerar características de enfriamiento totalmente diferentes. El nitrógeno debe almacenarse en tanques aislados porque, a presión ambiente, se convierte de la fase sólida a la líquida a -210 °C y comienza a bullir a -196 °C. Por estas razones, el N₂ es más adecuado para el enfriamiento a temperaturas muy bajas. Sin embargo, este comportamiento provoca problemas específicos para la aplicación como refrigerante efectivo. En primer lugar, todas las líneas de suministro y elementos de la máquina, así como los canales de enfriamiento de la herramienta, deben estar aislados para evitar peligro y disminución de la capacidad de enfriamiento. En segundo lugar, al entrar en contacto con superficies que tienen una temperatura mucho más alta, el nitrógeno se vaporiza. Esto provoca a una película gaseosa aislante en la superficie, que reduce el efecto de enfriamiento [43].

En comparación del LCO₂, el uso del nitrógeno líquido resulta en un tiempo de arranque mucho más largo hasta que el sistema se enfría, como se muestra en la figura 48. La aplicación del dióxido de carbono permite el inicio del proceso de corte después de aproximadamente 60 segundos. Después de este tiempo, se puede alcanzar una temperatura mínima de aproximadamente -50 °C. Dado que el gran volumen de nitrógeno vaporizado debe salir de los canales de enfriamiento de la herramienta de corte, el tiempo hasta que el sistema esté listo para comenzar es mucho más largo. Incluso después de alcanzar una temperatura de salida de aproximadamente -170 °C, el proceso de enfriamiento no es estable debido al nitrógeno gaseoso que se genera en el sistema de suministro [43].

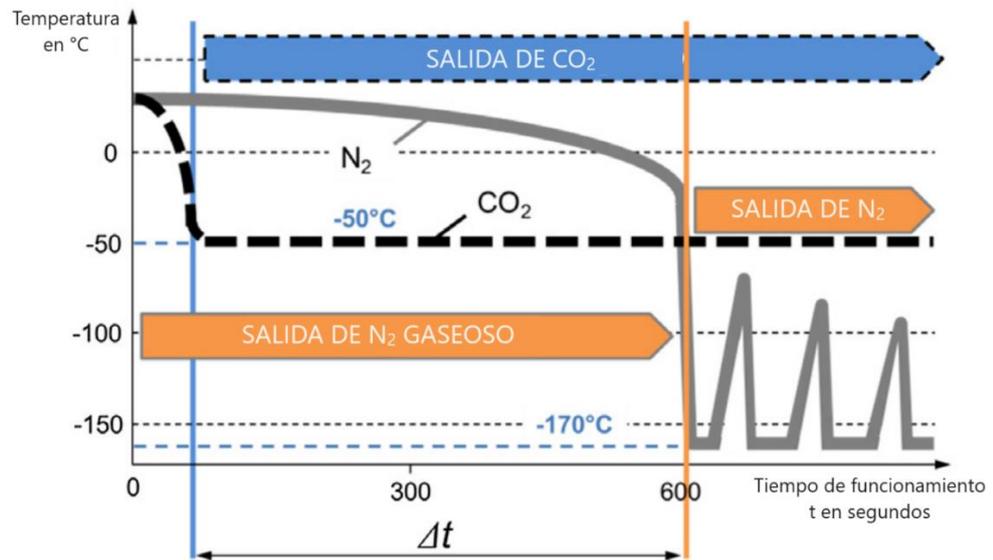


Figura 48. Perfil de temperatura de LN₂ y LCO₂ a la salida del fluido refrigerante [43]

1.5.16.7 Tecnología híbrida de refrigeración-lubricación

A pesar de que tanto la técnica MQL como la criogénica poseen la capacidad de sustituir la inundación con aceite mineral, su falta de propiedades efectivas de lubricación y refrigeración a altas velocidades ha estimulado la búsqueda de un enfoque híbrido, combinando las ventajas de ambas (Criogénico + MQL). Este método implica la aplicación simultánea de caudales correspondientes a ambas técnicas, aprovechando las características de cada una de ellas de manera conjunta en un nuevo método de mecanizado. En la figura 49 se muestra un ejemplo de disposición de esta tecnología.

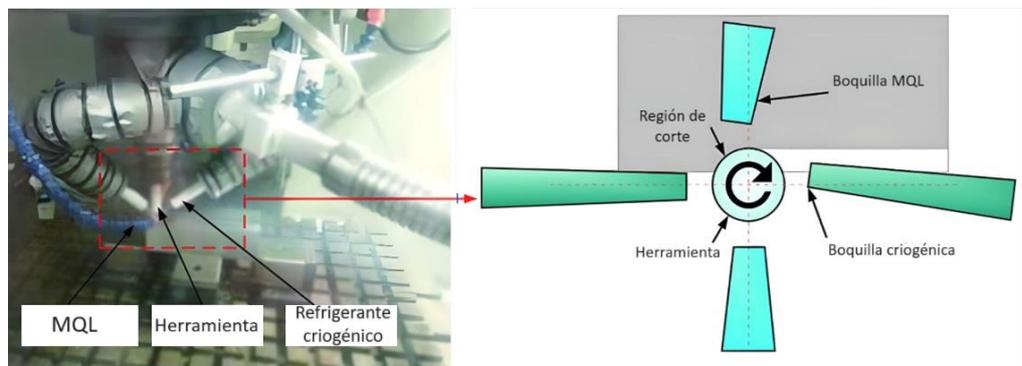


Figura 49. Esquema del sistema híbrido de Lubricación/Refrigeración [43].

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Selección del material para el mecanizado

El acero inoxidable AISI 304, perteneciente a la clasificación austenítica, es una aleación compuesta principalmente de cromo y níquel, destacando por su excepcional durabilidad y resistencia. Su microestructura confiere propiedades no magnéticas y una notable capacidad para mantener su integridad en entornos corrosivos, donde puede verse expuesto a la acción del agua, ácidos y contaminación química ambiental.

Este material posee una alta ductilidad, lo que le otorga excelentes características de conformado, embutición, doblado y rolado, además de una buena capacidad de soldadura. Estas propiedades hacen que sea ideal para la construcción de contenedores para productos alimenticios, equipos hospitalarios, aplicaciones en la industria química, utensilios de cocina, ascensores, elementos ornamentales y catering.

En esta investigación, se ha elegido la marca BOHMAN debido a su disponibilidad. Se presentan sus principales características en la Tabla 1.

Tabla 4. Propiedades químicas y mecánicas del Acero AISI 304 según BOHMAN [44].

COMPOSICIÓN QUÍMICA							
C	Si	Mn	P (max)	S	Cr	Ni	Mo
≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.015	18 - 20.0	8.0 -10.5	--
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS							
Peso específico kg/dm³	Resistencia a la tracción (kg/mm²)		Resistencia a la cedencia (kg/mm²)		Elongación (%)		Dureza (HB)
7.9	54 - 75		23		40 – 50		190

2.1.2 Dimensionamiento de las probetas

El proveedor al no disponer barras de sección cuadrada en acero inoxidable AISI 304, se optó por realizar un predesbaste de un eje de 3 pulgadas de diámetro y 300 milímetros de largo. Considerando una zona de sujeción entre el material y la prensa entonada de 20 milímetros, el dimensionamiento final de las probetas es de: largo 300 milímetros, ancho o empañe de 48 milímetros y alto de 56 milímetros. Se muestra en la figura 50, un esquema de la pieza de trabajo.

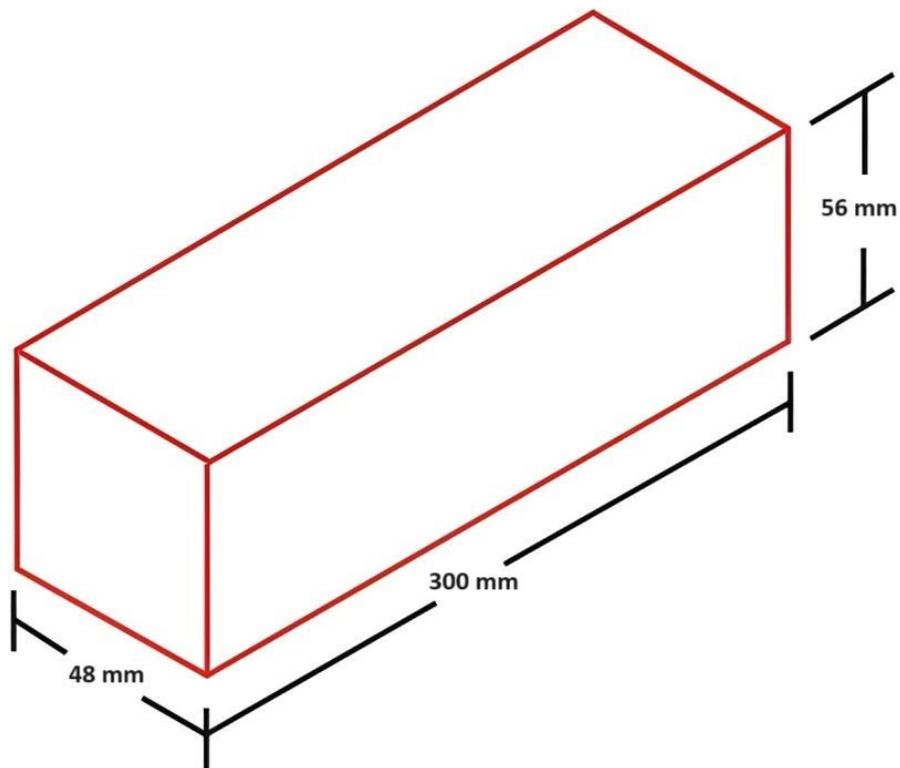


Figura 50. Dimensionamiento de la probeta del AISI 304

2.1.3 Selección del portaherramientas

La operación de análisis fue un planeado o fresado frontal, donde la nomenclatura en los catálogos del proveedor es “FM” como se muestra en la figura 51.

Cutter type	
FM	Face milling
EM	Square shoulder milling
HM	Helical end milling
SM	Side and face milling
BM	Profile milling
CM	Chamfer milling
XM	Special milling
TM	T-slot milling

Figura 51. Tipo de cortador [45].

En el caso del ángulo de posición o aproximación, se seleccionó uno de 45°, porque según [33], este ángulo genera fuerzas de corte radiales y axiales equilibradas lo que permite tener una baja tendencia a la vibración al fresar zonas donde existan voladizos. El código de esta selección pertenece a la letra “A”, como se muestra en la figura 52.

Approach angle		
P	90°	
E	75°	
D	60°	
A	45°	
R		

Figura 52. Ángulo de posición [45].

En base a estos códigos, se procedió a elegir un número de serie entre cuales estaban las mostradas en la figura 53. Por cuestiones de disponibilidad de mercado, facilidad de intercambiabilidad de las plaquitas y adquisición de repuestos se eligió la serie “01”.

Face milling

Series	Milling body	Inserts	Kr	Application						Features	Page
				P	M	K	N	S	H		
FMA01		 SEET12T3 SEET18T6	45°	✓	✓	✓	✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø50 – 315 mm • For steel, stainless steel, cast iron, non-ferrous metals and heatresistant alloys • Milling cutter with positive, soft cutting geometry • Wiper inserts for good surface quality 	831
FMA02		 SEET12T3	45°	✓	✓	✓	✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø50 – 125 mm • For steel, stainless steel, cast iron, non-ferrous metals and heatresistant alloys • Milling cutter with positive, soft cutting geometry • Wide pitch 	834
FMA03		 SEEN1203 SEKN1203 SEKR1203 SEKN1504 SEKR1504	45°	✓	✓	✓	✓			<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø80 – 315 mm • For steel, stainless steel and cast iron • Milling cutter with positive, soft cutting geometry • Wedge clamping 	837

Figura 53. Series de portaherramientas de planeado frontal [45]

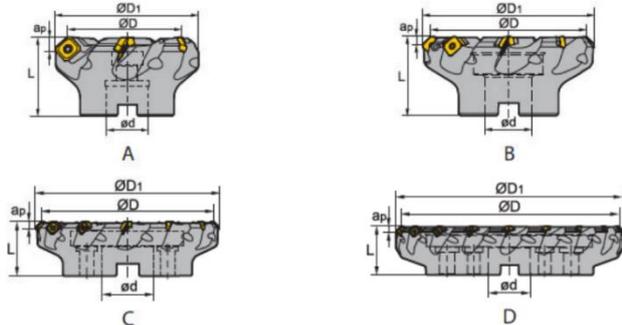
Según [45], el diámetro de la herramienta para planeado total se recomienda ser 1.2 – 1.5 veces la distancia de empañe, en este caso, 48 mm, por lo que el portainseros debe tener un diámetro mínimo de 58 mm. Al trabajar con medidas comerciales, el inmediato superior a esta condición fue de 63 milímetros. Al no requerir refrigeración interna, se seleccionó una herramienta de 5 insertos que trabaje en sentido horario y con una profundidad máxima de corte de 6 mm. El código es FMA01-063-A22-SE12-05. Las dimensiones se presentan en la figura 54.

Face milling

FMA01 Kr: 45°



Fine pitch



Article	*	Stock		Dimensions [mm]					Teeth	Coupling	kg	Inserts
		R	L	ØD	ØD ₁	ød	L	a _{p max}				
FMA01-050-A22-SE12-04		●	○	50	61	22	40	6	4	A	0.3	
FMA01-050-A22-SE12-04C	*	●	○	50	61	22	40	6	4	A	0.3	
FMA01-063-A22-SE12-05		●	○	63	74	22	40	6	5	A	0.5	
FMA01-063-A22-SE12-05C	*	●	○	63	74	22	40	6	6	A	1.2	
FMA01-080-A27-SE12-06		●	●	80	91	27	50	6	6	A	1.2	
FMA01-080-A27-SE12-06C	*	●	○	80	91	27	50	6	6	A	1.2	
FMA01-100-B32-SE12-07		●	○	100	107	32	50	6	7	B	1.2	
FMA01-100-B32-SE12-07C	*	○	○	100	107	32	50	6	7	B	1.2	SEET12T3
FMA01-125-B40-SE12-08		●	●	125	136	40	63	6	8	B	2.6	
FMA01-125-B40-SE12-08C	*	○	○	125	136	40	63	6	8	B	2.6	
FMA01-160-B40-SE12-10		●	●	160	170	40	63	6	10	B	4.3	
FMA01-160-B40-SE12-10C	*	○	○	160	170	40	63	6	10	B	4.3	
FMA01-200-C60-SE12-12		●	○	200	210	60	63	6	12	C	7.6	
FMA01-250-C60-SE12-14		●	○	250	260	60	63	6	14	C	13.5	
FMA01-315-D60-SE12-18		●	○	315	325	60	70	6	18	D	20.8	
FMA01-100-B32-SE18-04		○	○	100	120	32	63	10	4	B	1.2	
FMA01-125-B40-SE18-05		○	○	125	145	40	63	10	5	B	2.6	
FMA01-160-C40-SE18-06		○	○	160	180	40	63	10	6	C	4.3	SEET18T6
FMA01-200-C60-SE18-08		●	○	200	220	60	63	10	8	C	7.6	
FMA01-250-C60-SE18-10		●	○	250	270	60	63	10	10	C	13.5	
FMA01-315-D60-SE18-12		○	○	315	335	60	80	10	12	D	20.8	

● Ex stock ○ On demand

* With internal cooling

Figura 54. Dimensiones y características de la herramienta FMA01 [45].

2.1.4 Selección de la plaquita de corte

Se seleccionó insertos de metal duro (cemented carbide). De acuerdo a revisión bibliográfica, se eligió un recubrimiento tipo PVD porque ofrece mayor gama de posibles recubrimientos y presenta mejor resistencia a mecanismos de desgaste típicos en el acero inoxidable, como astillado (chipping) y adhesión. Además, su microestructura en los filos de la herramienta proporciona un rendimiento superior en el carburo de tungsteno.

Al requerir una operación de semiacabado en el acero AISI 304, según la designación ISO, correspondería a un M20, donde el fabricante manifiesta que el grado YBG202 tiene un mejor rendimiento. En la figura 55 se presenta esta selección.

Workpiece material Workpiece material material	ISO	Coated carbide Beschichtetes Hartmetall		Cermet Cermet	Uncoated carbide unbeschichtetes Hartmetall	PCBN & PCD PCBN & PKD
		CVD	PVD			
P Steel Stahl	P01		YBG202			
	P10		YBG252	YNG151 YNG151C		
	P20	YBC301 YBC302 YBM251 YBM253				
	P30	YBM351 YBC401			YCG305	
	P40					
M Stainless Steel Rostfreier Stahl	M01		YBG202			
	M10	YBM251 YBM253	YBG205 YBG252	YNG151 YNG151C		
	M20					
	M30	YBM351			YCG305	
	M40					
K	K01					

Figura 55. Selección del material de herramienta [45].

El grado 202 PVD con recubrimiento (figura 56) se menciona que está destinado para acabado medio de aceros inoxidables. Presenta buena resistencia al desgaste en un amplio campo de aplicaciones.

Coated cemented carbide PVD			
Grade	ISO	Micro structure	Grade description
YBG102	S05 - S15		PVD coated S05-S15 carbide substrate for finishing to medium application of super alloy material, stainless steel and aluminum. Good wear resistance in a wide application field.
YBG202	P10 - P30 M10-M25		PVD coated P10-P30/M10-M25 carbide substrate for finishing to medium application of stainless steel and steel (milling). Good wear resistance in a wide application field.
YB9320	P10 - P30 M10-M25		PVD multilayer coated P10-P30/M20-M40 carbide substrate for finishing to medium application of stainless steel, super alloy and steel (grooving/milling). Optimized coating stability for higher wear resistance and thermal stability in a wide application field.

Figura 56. Carburo cementado revestido PVD [45].

Otra variable para la selección de la plaquita de corte es el tipo de rompeviruta. Debe ser uno diseñado para un semiacabado de acero inoxidable austenítico como ya se mencionó anteriormente. La figura 57 detalla la nomenclatura para este parámetro, donde se seleccionó el rompeviruta tipo DM.

Chip breakers overview

	Finishing	Medium machining	Roughing
P	DF	DM	DR
	APF	APM	-
	PF	PM	PR
	GF	GM	GR
	-	-	ZR
	MO-2	MO-1	MO-3
M	EF	EM	-
	APF	APM	-
	DF	DM	-
	PF	PM	PR
	GF	GM	GR
	E	E	-
	-	-	ZR
	CF	CM	CR
	DF	DM	DR

Figura 57. Descripción de los rompeviruta [45].

En la sección derecha de la figura 54, se detalla el código del tipo de inserto específico para el portaherramientas seleccionado: SEET12T3. Adicionalmente, se tomó en consideración la disponibilidad en stock del elemento según muestra la figura 58.

Una vez evaluado estos criterios, la herramienta de corte seleccionada es: SEET12T3-DM grado YBG202, con recubrimiento PVD. El fabricante indica en la figura 58 que las condiciones de maquinado no son ideales ni desfavorables, lo cual beneficia al análisis del desgaste de herramienta por los tiempos de obtención de resultados. En la figura 59 se detallan los parámetros de corte recomendados para mecanizar acero de la categoría M con grado YBG202.

Tabla 5. Datos técnicos del inserto SEET12T3-DM YBG202. adoptado de [46]

DIMENSIONES DE LA HERRAMIENTA				
Acotación de la plaquita de corte		<p>Figura 60. Acotación del inserto</p>		
Descripción	Unidades	Valor		
Diámetro del círculo inscrito (I.C)	Milímetros	13.4		
Longitud de filo de corte (L)		13.4		
Altura de filo cortante (C1)		3.97		
Diámetro del orificio de fijación (d)		4.1		
Ángulo de esquina (A1)	Grados	90		
Ángulo de incidencia normal, corte principal (A2)		20		
Ángulo de ajuste del filo de corte principal (D4)		45		
ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN				
Parámetro		Unidad	Valor	
			Min.	Máx.
Velocidad de corte (V _c)	Desbaste	m/min	110	270
	Semiacabado			
	Acabado			
Avance (f _z)	Desbaste	mm/diente	0.1	0.3
	Semiacabado		0.1	0.3
	Acabado		0.1	0.2
Profundidad de corte (a _p)	-	mm	-	6
OTROS DATOS				
Parámetro	Unidad		Valor	
Rompevirutas	-		DM	
Recubrimiento	-		PVD; nc-TiAlN	

2.1.5 Aceite soluble

Se utilizó para el sistema de lubricación por inundación el aceite Soluble OIL D de la marca Chevron (figura 61). Es un aceite compuesto por básicos minerales de alta refinación. Se mezcla con agua creando una emulsión lechosa.

Tabla 6. Recomendaciones de mezclado del aceite soluble [47]

Material	Torneado, Formación, Aplanado, Perforación	Molienda	Enrosque simple y de tubs	Máquinas Automáticas de Atornillado	Molino	Molino de Rosca	Perforación Profunda	Afeitado o corte de engranajes
Aceros simples o de carbón medio o alto	20:1	20:1	→	20:1	50:1	20:1	→	20:1
Aleaciones de acero	15:1	15:1	→	15:1	50:1	15:1	→	15:1
Lingotes de hierro, hierro forjado, aceros con bajo contenido de carbón	15:1	15:1	→	15:1	50:1	15:1	→	15:1
Aceros inoxidables, herramientas y troqueles de acero	10:1	10:1	→	10:1	50:1	10:1	→	10:1
Aluminio y aleaciones de aluminio	25:1	25:1	30:1	30:1	50:1	30:1	20:1	30:1
Cobre y latón	25:1	25:1	30:1	30:1	→	→	20:1	30:1
Zinc y aleaciones de zinc	25:1	30:1	30:1	30:1	→	→	20:1	→
Bronce y aleaciones de cobre de alta fuerza	10:1	10:1	10:1	10:1	50:1	10:1	→	10:1
Magnesio y aleaciones de magnesio	PELIGRO DE INCENDIO							
Titanio y aleaciones de titanio	10:1	10:1	→	→	→	→	→	→
Níquel y aleaciones de níquel	10:1	10:1	→	10:1	50:1	10:1	→	10:1
Hierro fundido	Dry	Dry	Dry	→	Dry	Dry	Dry	Dry

→ Rara vez utilizado

Para la selección de la proporción de mezcla se tomó en cuenta la operación de trabajo, fresado en este caso, y el material de acero inoxidable. La relación agua - aceite es de 10:1 de acuerdo a la tabla 6.

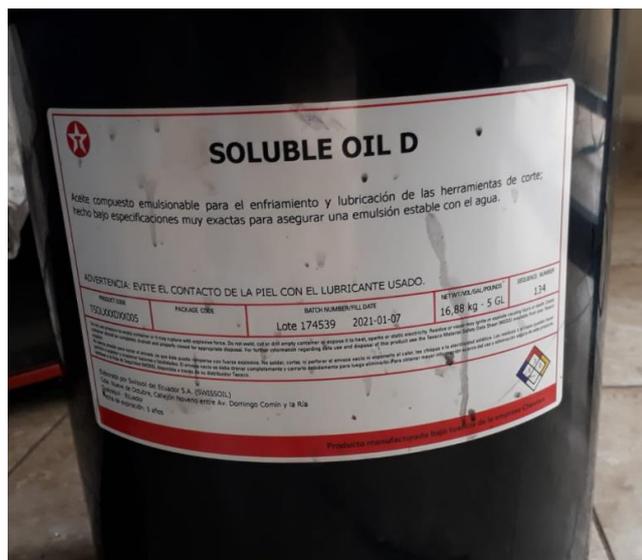


Figura 61. Soluble oil D

2.1.6 Nanopartículas de Óxido de Titanio (TiO₂)

Se seleccionó partículas de óxido de titanio con el fin de dar continuidad a investigaciones realizadas previamente [48]. Las características se las presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Datos técnicos de las nanopartículas TiO₂ adoptado de [49].

Propiedad		Valor	Unidad			
Fase		Anatasa	-			
Pureza		99.9	%			
Tamaño promedio de las partículas (APS)		100	nm			
Superficie específica (SSA)		85	m ² /g			
Color		Blanco	-			
Densidad aparente (bulk density)		0.65	g/cm ³			
Densidad real (True density)		3.9	g/cm ³			
PH		6 - 6.5				
Pérdida de peso por secado		4.17	%			
Nanopartículas de óxido de titanio (TiO₂) Certificado de análisis--ppm						
TiO₂	Al	Mg	Si	Ca	S	Nb
99.9	≤16	≤33	≤55	≤28	≤78	≤33

2.1.7 Aceite lubricante

Siguiendo la misma línea de investigación [48], se utilizó el aceite UNIST COOLUBE 2210XP, un derivado de aceites vegetales naturales, respetuoso con la salud del operario y con el medio ambiente ya que no contiene compuestos orgánicos volátiles. La exclusiva mezcla de aditivos sulfurados de extrema presión proporciona un mayor rendimiento en el mecanizado de metales ferrosos, sin el típico olor a azufre. También obtiene buenos resultados respecto a la corrosión. Sus principales propiedades se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Datos técnicos del aceite UNIST COOLUBE 2210XP adoptado de [50].

Propiedad	Detalle
Estado físico	Líquido con baja viscosidad
Punto de inflamación	> 200 °C
Punto de congelación	< -5 °C
Punto de ebullición	> 200 °C
Punto de autoinflamabilidad	> 400 °C
Solubilidad en agua	Insoluble
Gravedad específica a 25 °C	0.93
Presión de vapor	< 1 mmHg @ 25 °C
Fotografía	

2.2 Equipos

2.2.1 Fresadora CNC

Los ensayos fueron ejecutados en la fresadora CNC TRAVIS M-1000 ubicada en el laboratorio de CAD/CAM de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato. La tabla 9 contiene sus características técnicas principales.

Tabla 9. Datos técnicos de fresadora CNC TRAVIS M-1000

DESCRIPCIÓN	DETALLE	
Control numérico	Fagor 8060	
Carga máxima de la mesa	800 kg	
Carreras y distancias	X	1020 mm
	Y	600 mm
	Z	610 mm
Cabezal	Cono de husillo	BT-40
	Sistema de fijación	Neumático
	Gama de velocidades	10 000 rpm
Potencia	Motor principal	25/15 HP
	Bomba de refrigerante	0.5 HP
Peso	4500 kg	
Dimensiones	2720 x 2180 x 2720 mm	
Fotografía		

2.2.2 Sistema MQL

El sistema de mínima cantidad de lubricante, emplea una combinación de aceite y aire comprimido. El equipo es de la marca DropsA. Utiliza un regulador de caudal con un máximo de 480 ml/h y una presión de salida de 2 bar. Además, cuenta con presostato, manómetro, entrada de aire, filtro y manguera de conducción de aceite/aire para crear el efecto aerosol. La boquilla de salida estaba direccionada y ubicada aproximadamente a 30° y 50 mm respectivamente de la interfaz herramienta-pieza de trabajo.



Figura 62. Tanque MQL

2.2.3 Sistema criogénico

Está conformado por una disposición de tuberías de acero inoxidable, mangueras hidráulicas capacidad 1500 psi y un sistema de mezcla de fluido criogénico de CO₂ mediante el uso de válvulas esférica, antirretorno, acople en T, acoplamientos rápidos, codos, reguladores de caudal, y los tanques de CO₂ tanto líquido como gaseoso.

- CO₂ líquido.

El dióxido de carbono en fase líquida se adoptó mediante el giro del cilindro a 180°. Por temas de rendimiento se optó la presentación de 9 kilogramos de gas. La apertura del fluido estaba condicionada por una válvula reguladora de caudal, el cual trabajaba con un flujo másico de aproximadamente 0.2 kg/min medido de forma experimental.

- CO₂ gaseoso.

El dióxido de carbono en fase líquida se adoptó mediante la presentación de 20 kilogramos de gas. La apertura del fluido estaba condicionada por una válvula esférica, el cual trabajaba con un flujo másico de aproximadamente 0.45 kg/min medido de forma experimental. La presión a la salida del cilindro ronda los 60 bares (850 psi).

- Racor de salida

Una vez mezcladas ambas fases del fluido criogénico, se transportaba mediante una manguera neumática de 6 mm conectada a una boquilla con un diámetro de salida de 1.5 mm, direccionada y ubicada a 45° y 80 mm respectivamente respecto de la interfaz herramienta-pieza de trabajo.

Todos estos componentes se los detalla gráficamente en la figura 63.

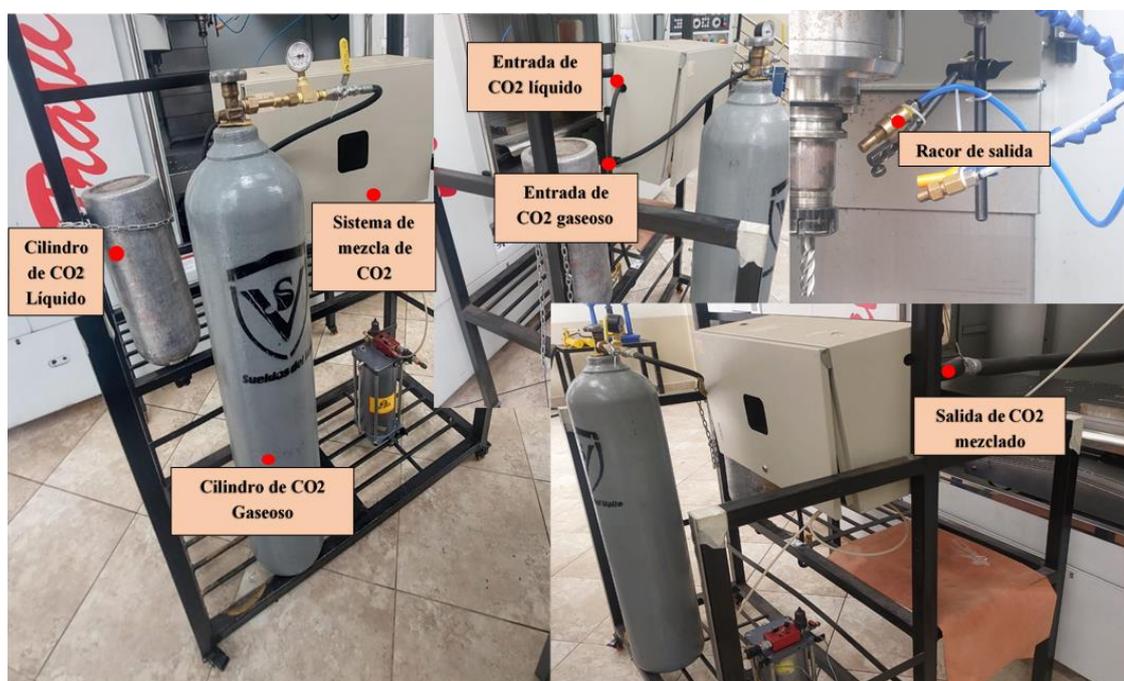


Figura 63. Sistema criogénico

2.2.4 Microscopio electrónico de barrido

Se utilizó el microscopio SEM de marca TESCAN mostrado en la figura 64, utiliza un haz de electrones que interactúa con la muestra y permite evaluarla sin alterar sus condiciones físicas ni químicas. El equipo permite obtener imágenes a diferentes

magnificaciones y en una amplia gama de resoluciones. Para los ensayos se ocupó una magnificación entre 80 y 200 aumentos, un HV de 5 - 8 kV, una velocidad de 6 μ s/pxl.



Figura 64. Microscopio SEM

La rotación de la mesa del microscopio en el eje Z fue de 88 grados resultando una disposición como se muestra en la figura 65.

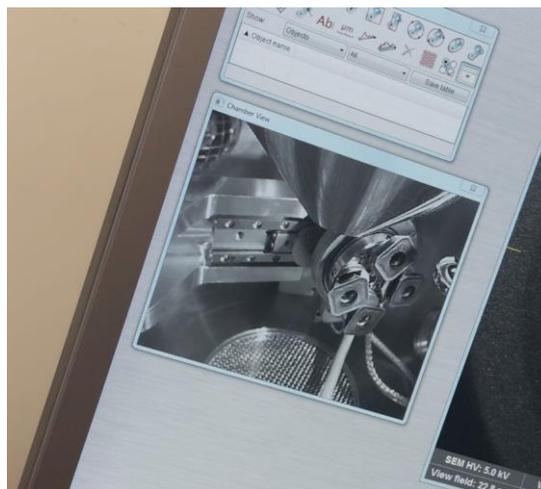


Figura 65. Rotación de Z en microscopio SEM

2.2.5 Homogeneizador

El aceite UNIST COOLUBE 2210 al ser insoluble requiere de un método no convencional para disolver las partículas de TiO_2 de forma homogénea. Se utilizó el

homogeneizador que se encuentra en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato mostrado en la figura 66.

Para lograr una mezcla lo más homogénea posible, se puso en marcha al equipo en 3500 rpm durante 90 minutos.



Figura 66. Homogeneizador

2.2.6 Compresor

El aire comprimido necesario para el funcionamiento del sistema MQL se suministró por un compresor de 5 HP del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

2.3 Métodos

2.3.1 Tipo de investigación

2.3.1.1 Bibliográfica

Con este método se obtuvo información de estudios y aplicaciones similares o relacionadas con la temática propuesta a nivel nacional e internacional. Adicionalmente, se pudo investigar las tecnologías actuales de lubricación y refrigeración para el acero inoxidable AISI 304.

2.3.1.2 Descriptiva

Durante todo el proceso de estudio se fue puntualizando en detalles y mediciones sistemáticas del desgaste de las herramientas de corte para ambos métodos de lubricación. Además, se fue describiendo magnitudes como caudal, presión, temperatura y otras variaciones aplicadas a cada condición de mecanizado.

2.3.1.3 Experimental

Implicó la manipulación de variables controladas y la observación de los efectos resultantes, es decir, se estableció parámetros como velocidad de corte, velocidad de avance, tipo de fluido de corte, material de herramienta, manteniendo constante otras variables. Después mediante análisis estadístico, se evaluaría el efecto en el desgaste de flanco de la herramienta.

2.3.2 Metodología

2.3.2.1 Diseño de experimentos

Se requiere un diseño experimental para dar enfoque al efecto principal que pueden obtenerse con la manipulación de las variables, para ello, se toma en cuenta los factores de control y los niveles de cada factor. En este caso, se tomó en cuenta 2 velocidades de corte: velocidad promedio y velocidad máxima en base a lo que el fabricante de la herramienta recomienda en la figura 59. El siguiente factor de control es el fluido de corte, el cual involucra al método por inundación con aceite soluble y al método híbrido (Nanofluido + Criogenización). Otras variables permanecerán constantes. El detalle de los factores se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Factores y niveles para diseño experimental

Factores de control			
Nombre	Unidad	Niveles	
Velocidad de corte	m/min	190	270
Fluido de corte	-	Inundación	Híbrido (Cryo+NMQL)

Para establecer las posibles variaciones de experimentos se toma en cuenta el número de factores y niveles involucrados. El número de experimentos viene dado por la siguiente fórmula.

$$\# \text{ experimentos} = N^f$$

Donde “f” es el número de factores y “N” el número de niveles de cada factor.

$$\# \text{ experimentos} = 2^2 = 4$$

Se obtiene un diseño de 4 experimentos, ya que el objetivo del presente trabajo fue analizar el efecto de la combinación de nanofluido más criogenización respecto del método convencional en la vida útil de las herramientas de corte. Las combinaciones obtenidas se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Corridas de diseño experimental

Experimento	Vc (m/min)	Fluido de corte
1	190	Inundación
2	190	Cryo+NMQL
3	270	Inundación
4	270	Cryo+NMQL

Por temas de confiabilidad, se realizaron 3 repeticiones por cada experimento para evaluar el desgaste de la herramienta de corte.

2.3.2.2 Cálculo de parámetros de corte

Al trabajar con dos velocidades de corte V_c (promedio y máxima) presentadas en la tabla 9, se requirió el cálculo de sus respectivas velocidades de husillo y avance de la mesa. Se despejó las variables de interés de la ecuación 1 y 2 respectivamente, respetando las dimensiones establecidas. Se seleccionó un avance por diente (f_z) de 0.1 por recomendación del fabricante para operaciones de semiacabado mostrado en la figura 59. Finalmente, el número de dientes efectivos de la herramienta de corte es 5 y diámetro de 63 mm seleccionados en la figura 54.

Velocidad de husillo con V_c promedio:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{D \cdot \pi}$$

$$n = \frac{190 \cdot 1000}{63 \cdot \pi}$$

$$n = 959.98 \approx 960 \text{ rpm}$$

Velocidad de avance V_c promedio:

$$V_f = f_z \cdot z_n \cdot n$$

$$V_f = 0.1 \cdot 5 \cdot 960$$

$$V_f = 480 \text{ mm/min}$$

Velocidad de husillo V_c máxima:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{270 \cdot 1000}{63 \cdot \pi}$$

$$n = 1364.19 \approx 1360 \text{ rpm}$$

Velocidad de avance V_c máxima:

$$V_f = f_z \cdot z_n \cdot n = 0.1 \cdot 5 \cdot 1360$$

$$V_f = 680 \text{ mm/min}$$

La Profundidad de corte axial para ambos casos se encuentra en el rango permitido especificado en la tabla 5.

$$a_p = 0.3 \text{ mm}$$

La profundidad de corte radial es igual al ancho de la probeta mencionada en la figura 50.

$$a_e = 48 \text{ mm}$$

El caudal mínimo para el método de inundación se adopta de la consideración de la norma ISO 8688-1, donde recomienda que no sea inferior a 3 l/min o 0.1 l/min por cada centímetro cúbico por minuto de velocidad de eliminación de metal. Se elige el que sea mayor.

Para esto se requiere calcular el caudal de viruta con la fórmula 4, donde la velocidad de avance está en mm/min y las profundidades de corte seleccionadas en mm.

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{min}} \right] \quad (4)$$

$$Q = 0.3 \cdot 48 \cdot 680 = 9792 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$Q = 9792 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}} = 9.8 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$Q_{\text{mínimo}} = \frac{0.1 \frac{\text{l}}{\text{min}} \cdot 9.8 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{\frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}$$

$$Q_{\text{mínimo}} = 0.98 \text{ l/min}$$

Se toma como mínimo el caudal de 3 l/min.

2.4 Operacionalización de variables

2.4.1 Variable independiente: método de lubricación híbrida (Nanofluido + Criogenización).

Definición de la variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
La tecnología de lubricación híbrida compuesta por LCO ₂ + Nano TiO ₂ es un nuevo método que surge debido a la carencia de propiedades tanto en lubricación como en refrigeración cuando se utilizan ambos métodos de forma independiente. La criogenización permitirá disminuir la temperatura de mecanizado y el aceite biodegradable con nanopartículas en suspensión aplicado con el sistema MQL permitirá reducir las fuerzas de corte.	MQL	Tipo de aceite	Aceite biodegradable	Medición experimental
		Caudal	480 ml/h	
		Presión	2 bares	Fichas técnicas
	Nanopartículas de TiO ₂	Concentración	0.5% en peso	Observación directa
	LCO ₂	Fase	Líquido/gaseoso	Equipos de laboratorio
		Presión	60 bares	
	Máquina herramienta	Velocidad de corte	190 m/min	Instrumentos de laboratorio
			270 m/min	
	Herramienta de corte	Avance	0.1 mm/diente	Hojas de cálculo
			Recubrimiento	
		Grado	YBG202	

2.4.2 Variable dependiente: vida útil de la herramienta de corte.

Definición de la variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p>La vida útil de la herramienta se define como el tiempo de corte efectivo hasta alcanzar un valor predeterminado del criterio de desgaste. Este criterio lo establece la norma ISO 8688-1 en función del tipo de desgaste presente en la herramienta de corte.</p>	<p>Desgaste de la herramienta</p>	<p>Desgaste de flanco</p>	<p>Norma ISO 8688-1: 1989</p>	<p>Microscopio electrónico de barrido</p> <p>Ensayos de laboratorio</p>
	<p>Vida útil de herramienta</p>	<p>Predicción de vida útil</p>	<p>Ecuación simplificada de Taylor</p>	<p>Toma de datos</p> <p>Fichas técnicas</p> <p>Hojas de cálculo</p>

2.5 Plan de recolección de información

Para la recolección de información se recurrió a libros, artículos, páginas web, revistas, documentos en línea, abordando tanto aspectos generales como específicos del tema en cuestión. Se indagó para la selección de materiales, insumos, herramientas, algunos catálogos de fabricantes, fichas técnicas de marcas distribuidoras y especificaciones del producto en páginas de internet. Se examinó la bibliografía de investigaciones previas relacionadas con los parámetros de funcionamiento del sistema de CO₂ criogénico, MQL, concentración de nanopartículas.

Las mediciones realizadas en el SEM del desgaste de flanco fueron recolectadas de la siguiente manera:

Método de inundación.

Al ser la evolución del desgaste tan drástica con este tipo de lubricación, se optó por medirlo en intervalos cortos hasta llegar al criterio de vida útil según la ISO 8688-1.

- Velocidad promedio (190 m/min)

Intervalos de tiempo de 8,16,24,32,36,40 minutos.

- Velocidad máxima (270 m/min)

Intervalos de tiempo de 3,5,7,10,13 minutos.

Método híbrido (NMQL+Cryo)

Al ser la evolución del desgaste gradual con este tipo de lubricación, se optó primero por comparar la herramienta de corte a los mismos tiempos en los que se midió en el método anterior, y posteriormente medirlo en intervalos más largos.

- Velocidad promedio (190 m/min)

Intervalos de tiempo de 8,16,24,32,36,40,50,60,70,74,80 minutos.

- Velocidad máxima (270 m/min)

Intervalos de tiempo de 3,5,7,10,13,15,17,25,35,40,45 minutos.

2.6 Selección de la trayectoria de mecanizado

Al ser la distancia de empañe o profundidad radial menor al diámetro de la fresa, se decidió realizar un solo corte por pasada o también llamado One Pass, es decir, una vez finalizada la trayectoria de corte, la herramienta se retrae a la posición inicial en X y vuela a cortar. Todo este proceso se lo realizó con mecanizado en concordancia. Se representa gráficamente en la figura 67.

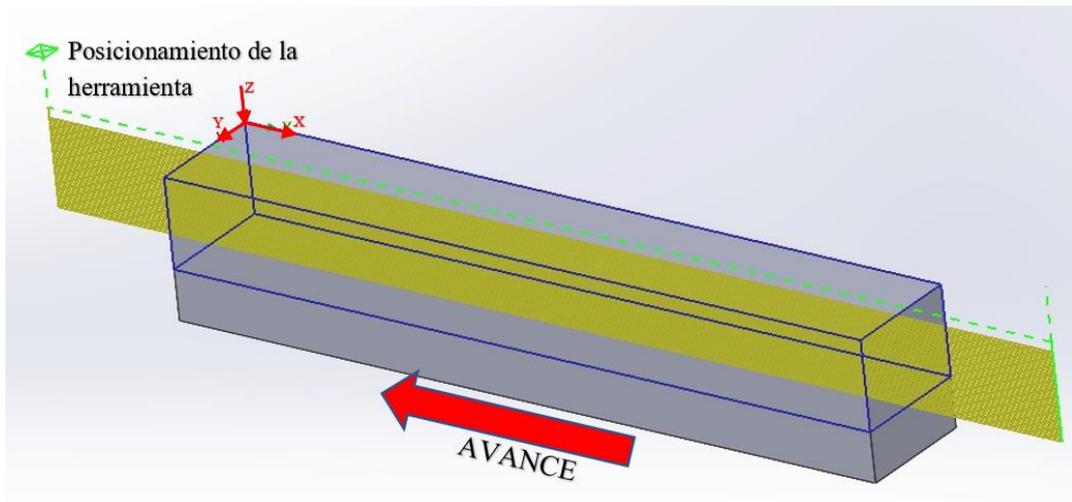


Figura 67. Trayectoria de mecanizado.

2.7 Plan de procesamiento y análisis de datos

Una vez realizado las mediciones de desgaste en el microscopio electrónico de barrido se procedió en primer lugar a analizar la repetición de ensayo con progresión gradual y más coherente de desgaste y tomarla como modelo de estudio.

Después de esta verificación, se elaboró fichas técnicas donde se especifican parámetros de corte, parámetros de los sistemas de lubricación, características de la pieza de trabajo, reconocimiento y medición del desgaste de herramienta y otras observaciones.

Una vez obtenida las fichas de los ensayos, se llevó a cabo la tabulación de los datos mediante gráficas comparativas.

Finalmente, mediante los datos e interpretación de las gráficas, conjuntamente con el cálculo de otros valores, se planteó la ecuación de Taylor para predecir el desgaste de la herramienta de corte.

2.8 Proceso de obtención y análisis de datos

En la figura 68 se presenta un diagrama de flujo en el que se explica el procedimiento general para el fresado del acero AISI 304 lubricado mediante inundación y en la figura 69 un diagrama del método híbrido, partiendo desde la adquisición de los materiales, la preparación de los sistemas, la evaluación de la herramienta de acuerdo a la normativa y la predicción del desgaste. En la figura 70 se describe las actividades llevadas a cabo para la elaboración de ensayos de desgaste y vida útil de las herramientas de corte en el fresado frontal lubricado mediante nanocriomecanizado.

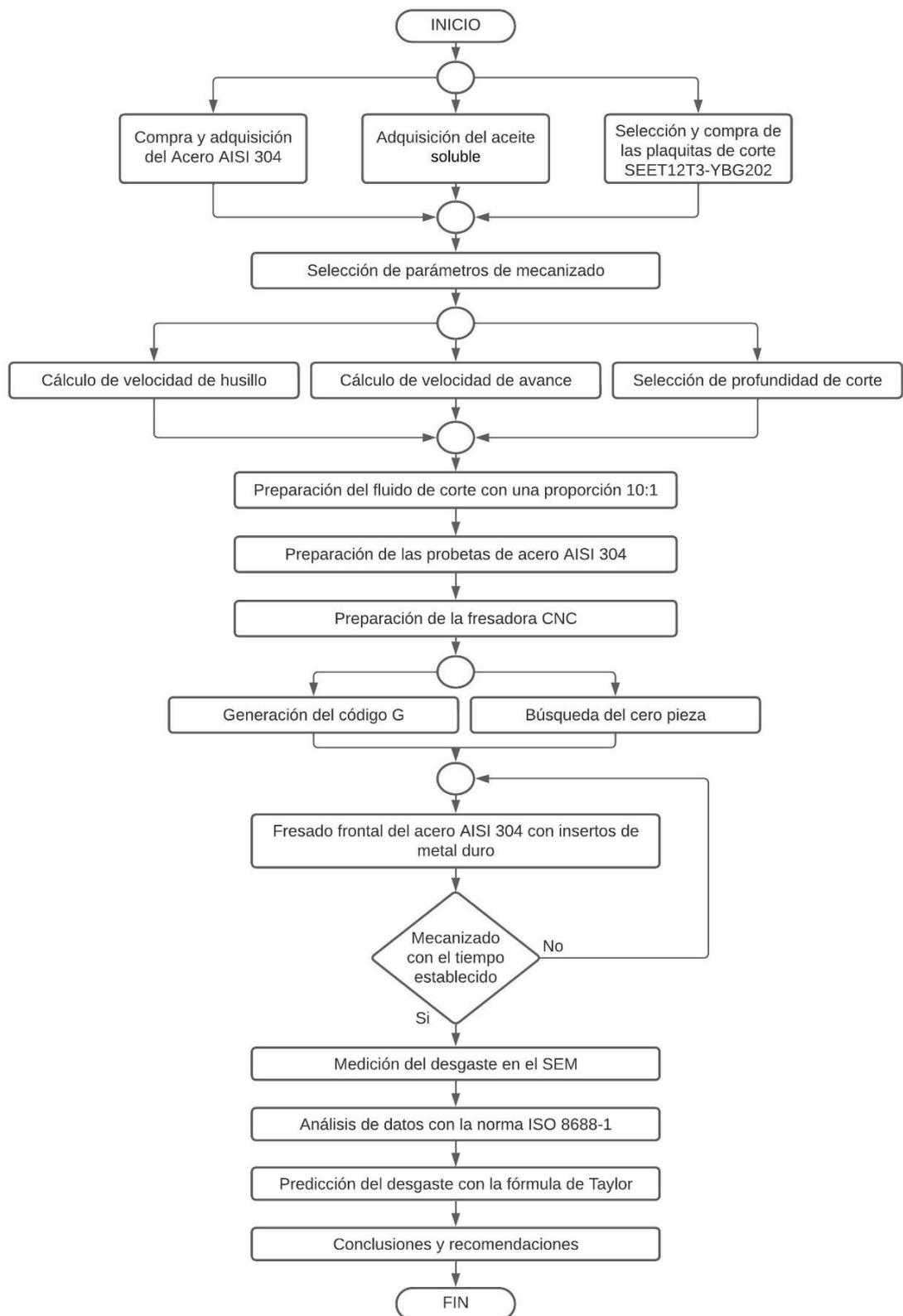


Figura 68. Diagrama de flujo para el mecanizado por inundación

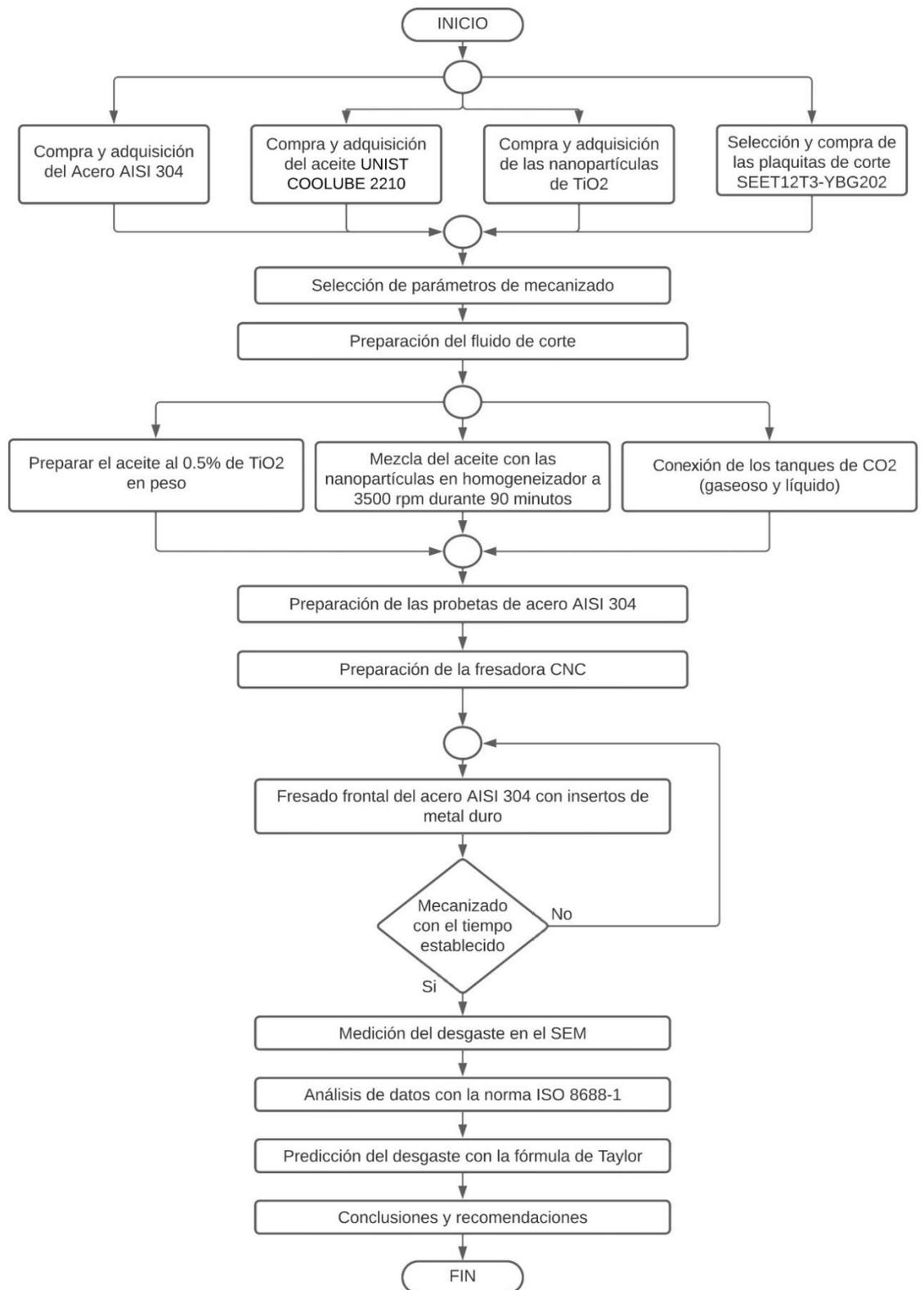


Figura 69. Diagrama de flujo para el mecanizado por nanociomecanizado.

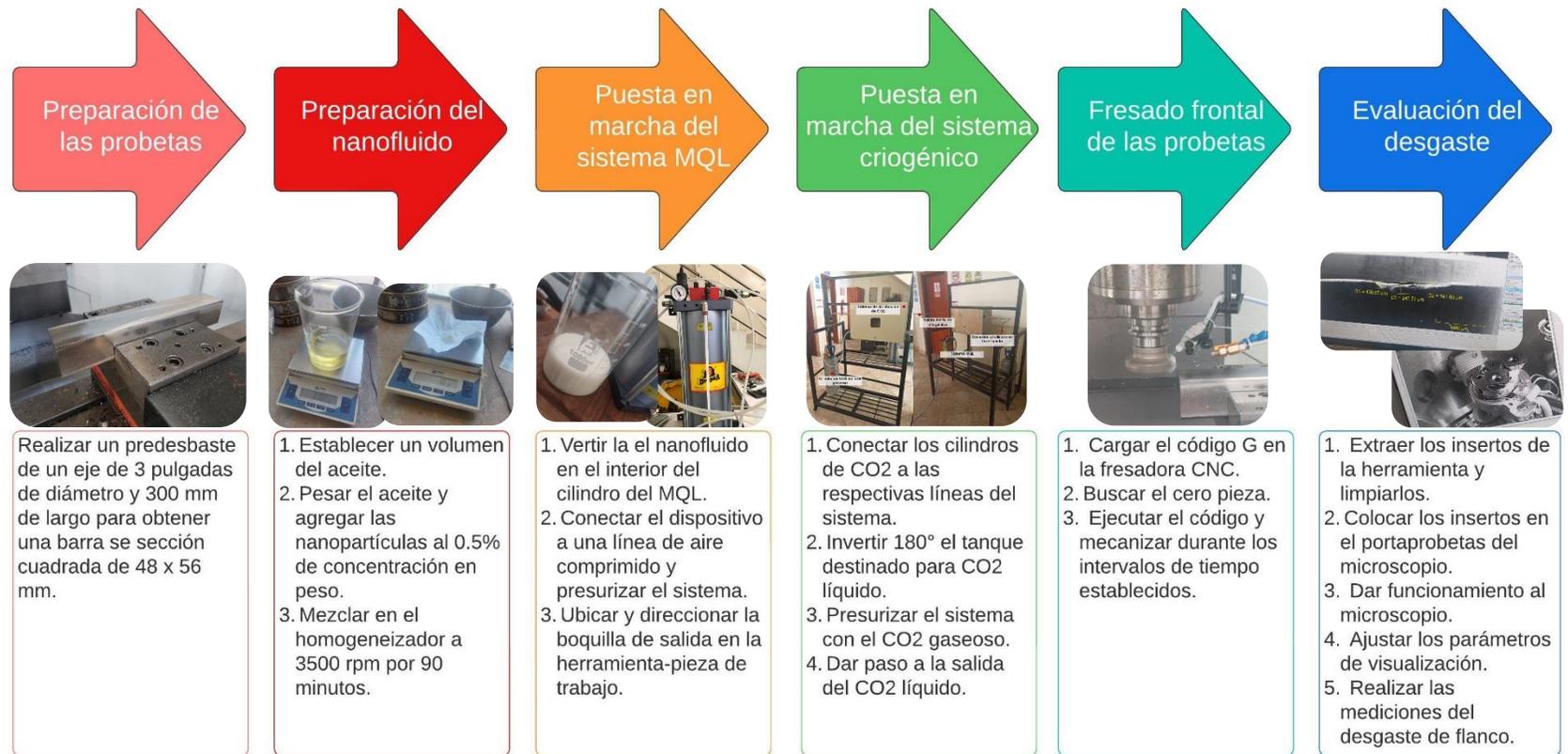


Figura 70. Procedimiento para la elaboración de ensayos de vida útil en las herramientas de corte en el proceso de fresado con lubricación híbrida (Cryo+NMQL).

2.9 Configuración del Set Up

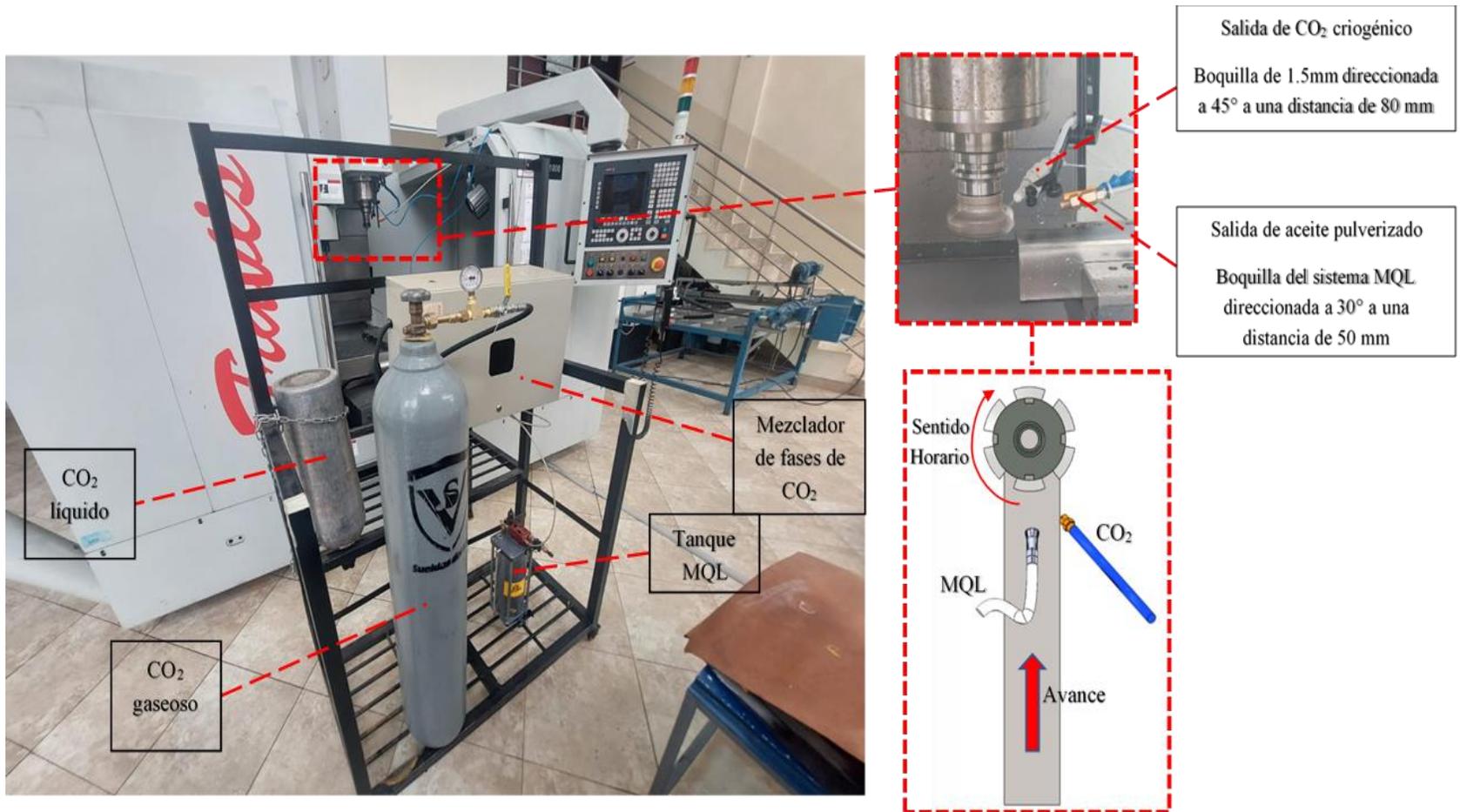


Figura 71. Configuración del Set Up.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis

La interpretación de los valores obtenidos del microscopio se llevó en base a la norma ISO 8688-1:1989.

Se presentaron dos tipos de desgaste. Al inicio del mecanizado se observó desgaste de flanco uniforme (VB 1), es decir, la pérdida de material de manera progresiva en una específica sección del flanco de herramienta. Posteriormente se evidenció un desgaste por astillado o chipping, que, de acuerdo a la norma, se lo cataloga como chipping localizado (CH 3) y puede pertenecer a dos tipos: microchipping y macrochipping, en este caso, se concentra en un solo punto el desprendimiento de material. Ambas circunstancias se las detalla en las figuras 72 y 73 respectivamente.

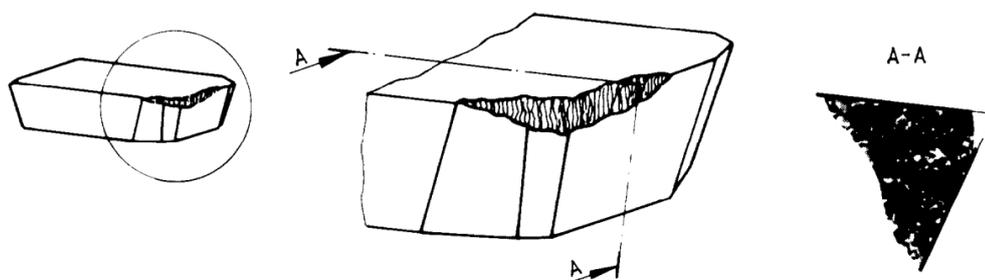


Figura 72. Desgaste de flanco uniforme (VB 1) [34].

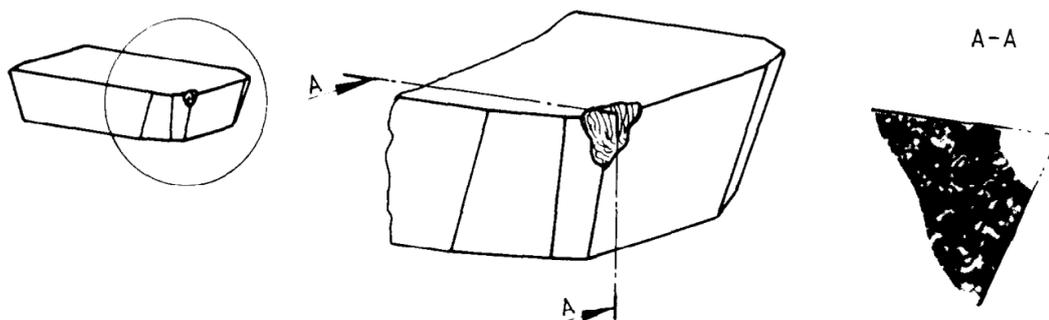


Figura 73. Astillado localizado (CH 3) [34].

Para la evaluación de la vida útil de la herramienta de corte se consideró un criterio normal “N” en ambos tipos de desgaste. Los valores se los detalla en la tabla 12.

Tabla 12. Sistema de codificación del desgaste [34].

Code	Description of tool deterioration						
	Tool deterioration phenomena	Criteria, mm			Illustration		
S		N	L				
VB	Flank wear						
	1	Uniform	0,2	0,35	0,5		
	2	Non-uniform	0,9	1,2	1,5		
	3	Localized	0,8	1	1,2		
CH	Chipping (breakage)						
	1	Uniform	For y or z with corresponding length values				
	2	Non-uniform					
	3	Localized					
		Length, mm					
	A	Micro-chipping	< 0,3	0,2	0,25		0,3
	B	Macro-chipping	0,3 to 1	0,25	0,4		0,5
C	Breakage	> 1	—	—	—		

Otro aspecto a considerar en la evaluación del desgaste es la ubicación y posición donde se registra este fenómeno. En la figura 74 se muestra la codificación del deterioro en función de área (A), puntos (P), posiciones (índices).

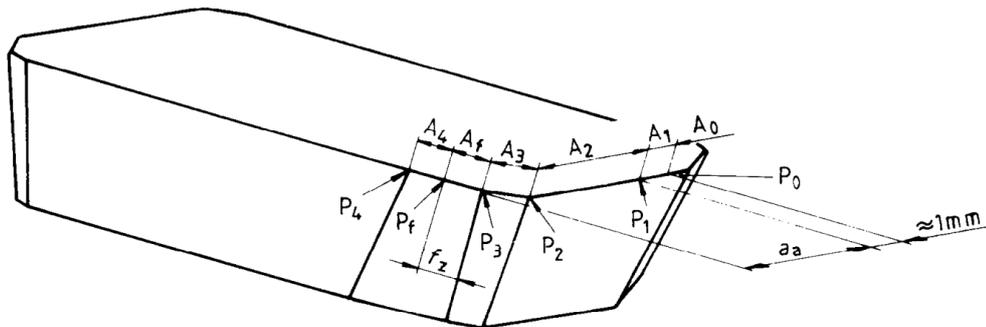


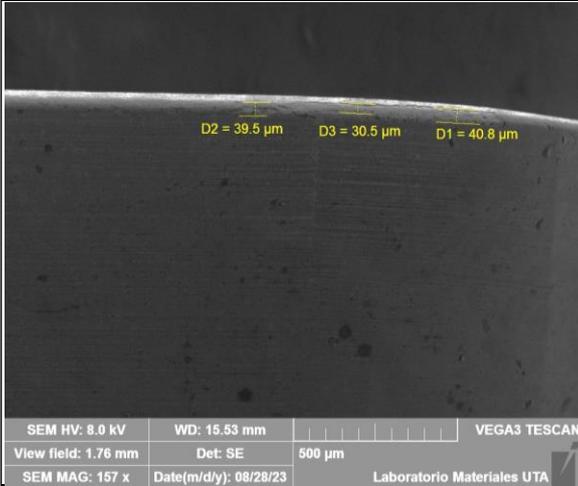
Figura 74. Codificación del deterioro de la herramienta de corte [34].

3.2 Toma de datos

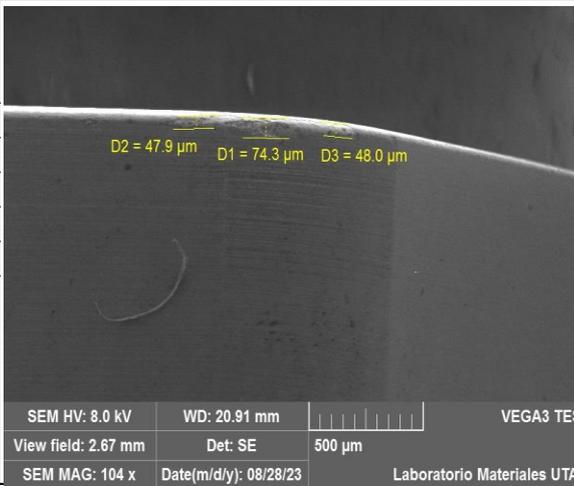
En este apartado se realizó la toma de datos de las diferentes pruebas, ensayadas bajo los parámetros establecidos anteriormente.

Para un registro eficiente y preciso, se requirió de fichas preestablecidas, donde se especifican parámetros de mecanizado, herramienta y del fluido de corte. Además, se incluye una imagen y las respectivas mediciones de desgaste de herramienta en diferentes intervalos de tiempo.

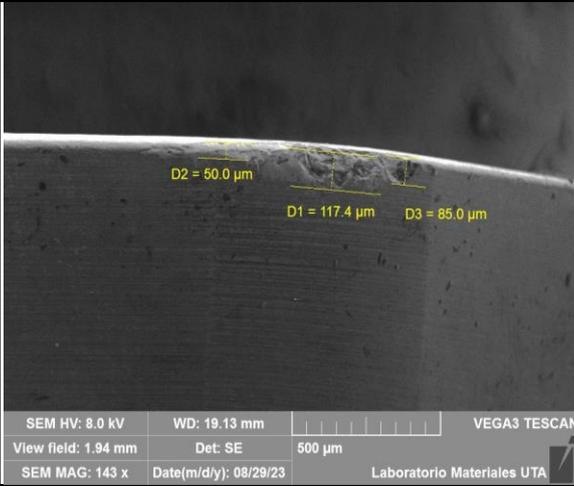
3.2.1 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 8 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA							
FRESADO FRONTAL							
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 1	
Fecha de ejecución (d/m/a)				28/8/2023			
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM					
Elaborado por		Juan González Jiménez		Revisado por		Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL							
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material			
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304			
Grado		YBG 202		Dureza			
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB			
PARÁMETROS DE MECANIZADO							
Velocidad de corte		190 m/min		Tiempo de mecanizado		8 minutos	
Profundidad de corte axial		0,3 mm					
Profundidad de corte radial		48 mm					
Avance		0,1 mm/diente					
Velocidad de husillo		960 rpm					
Velocidad de avance		480 mm/min					
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE							
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:1
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia		30°	
MEDICIÓN DEL DESGASTE							
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal	
				VM	40,8	μm	
				VB	30,5	μm	
				VS	39,5	μm	
				Suma	110,8	μm	
				Promedio	36,93	μm	
				SEM HV: 8.0 kV	WD: 15.53 mm	VEGA3 TESCAN	
View field: 1.76 mm	Det: SE	500 μm					
SEM MAG: 157 x	Date(m/d/y): 08/28/23	Laboratorio Materiales UTA					
Observación:							
Se observa un desgaste uniforme de flanco VB1 entre las zonas A3 y Af. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.							

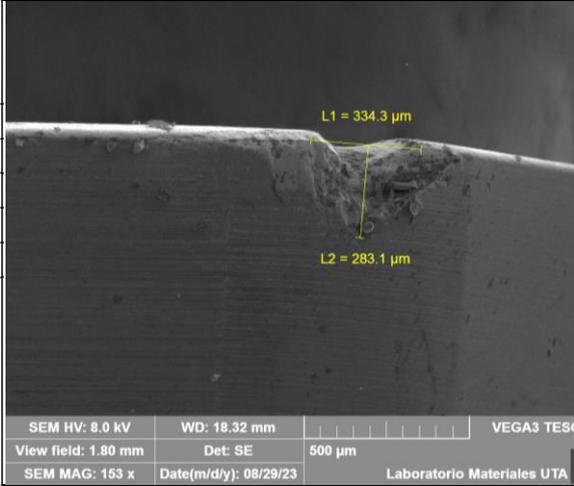
3.2.2 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 16 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																				
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																				
FRESADO FRONTAL																				
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 1																	
Fecha de ejecución (d/m/a)		28/8/2023																		
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																			
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez																	
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																				
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																		
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																		
Grado	YBG 202	Dureza																		
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																		
PARÁMETROS DE MECANIZADO																				
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	16 minutos																	
Profundidad de corte axial	0,3 mm																			
Profundidad de corte radial	48 mm																			
Avance	0,1 mm/diente																			
Velocidad de husillo	960 rpm																			
Velocidad de avance	480 mm/min																			
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																				
Sistema de lubricación	Inundación	Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:1															
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia	30°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																				
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal																	
																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">VM</td> <td style="text-align: center;">74,3</td> <td style="text-align: center;">μm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VB</td> <td style="text-align: center;">48</td> <td style="text-align: center;">μm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VS</td> <td style="text-align: center;">47,9</td> <td style="text-align: center;">μm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Suma</td> <td style="text-align: center;">170,2</td> <td style="text-align: center;">μm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">56,73</td> <td style="text-align: center;">μm</td> </tr> </tbody> </table>						VM	74,3	μm	VB	48	μm	VS	47,9	μm	Suma	170,2	μm	Promedio	56,73	μm
VM	74,3	μm																		
VB	48	μm																		
VS	47,9	μm																		
Suma	170,2	μm																		
Promedio	56,73	μm																		
Observación:																				
El desgaste se mantiene en las zonas A3 y Af. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.																				

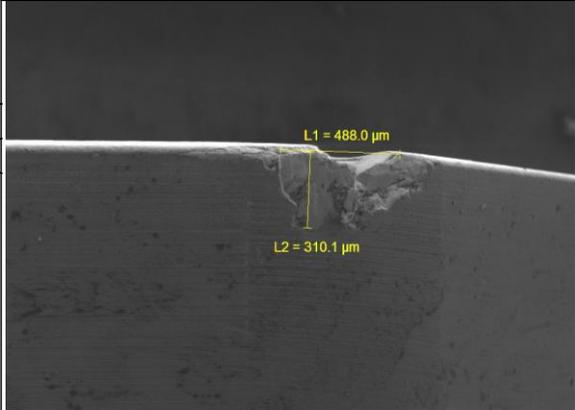
3.2.3 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 24 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA							
FRESADO FRONTAL							
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 1	
Fecha de ejecución (d/m/a)				29/8/2023			
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM					
Elaborado por		Juan González Jiménez		Revisado por		Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL							
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material			
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304			
Grado		YBG 202		Dureza			
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB			
PARÁMETROS DE MECANIZADO							
Velocidad de corte		190 m/min		Tiempo de mecanizado		24 minutos	
Profundidad de corte axial		0,3 mm					
Profundidad de corte radial		48 mm					
Avance		0,1 mm/diente					
Velocidad de husillo		960 rpm					
Velocidad de avance		480 mm/min					
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE							
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:1
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia		30°	
MEDICIÓN DEL DESGASTE							
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal	
				VM	117,4	μm	
				VB	85	μm	
				VS	50	μm	
				Suma	252,4	μm	
				Promedio	84,13	μm	
				SEM HV: 8.0 kV	WD: 19.13 mm	VEGA3 TESCAN	
View field: 1.94 mm	Det: SE	500 μm					
SEM MAG: 143 x	Date(m/d/y): 08/29/23	Laboratorio Materiales UTA					
Observación:							
El pico de desgaste se concentra en la zona A3, entre los puntos P2 y P3. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.							

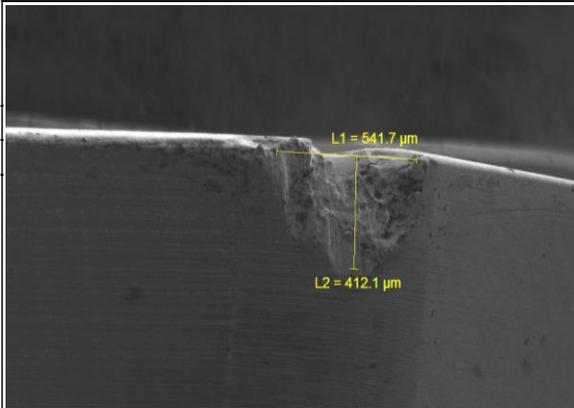
3.2.4 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 32 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA					
FRESADO FRONTAL					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 1		
Fecha de ejecución (d/m/a)	29/8/2023				
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM				
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez		
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL					
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material			
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304			
Grado	YBG 202	Dureza			
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB			
PARÁMETROS DE MECANIZADO					
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	32 minutos		
Profundidad de corte axial	0,3 mm				
Profundidad de corte radial	48 mm				
Avance	0,1 mm/diente				
Velocidad de husillo	960 rpm				
Velocidad de avance	480 mm/min				
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE					
Sistema de lubricación	Inundación	Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:1
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia	30°
MEDICIÓN DEL DESGASTE					
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal		
		Longitud	334,3	μm	
		Profundidad	283,1	μm	
Observación: Se puede apreciar un astillado (chipping) en la zona A3. Al únicamente concentrar el desgaste en esta región, se trata de chipping localizado CH3. La longitud indica que se trata de macrochipping, por ende el valor de profundidad del desgaste no supera el criterio de vida útil de 0,4 mm.					

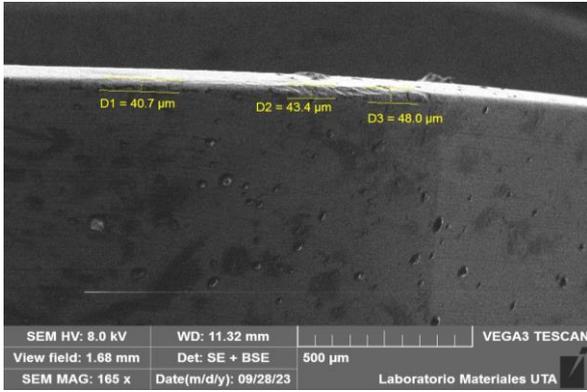
3.2.5 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 36 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																	
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																			
FRESADO FRONTAL																			
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 1													
Fecha de ejecución (d/m/a)				29/8/2023															
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por		Juan González Jiménez		Revisado por		Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																			
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material															
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304															
Grado		YBG 202		Dureza															
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB															
PARÁMETROS DE MECANIZADO																			
Velocidad de corte		190 m/min		Tiempo de mecanizado		36 minutos													
Profundidad de corte axial		0,3 mm																	
Profundidad de corte radial		48 mm																	
Avance		0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo		960 rpm																	
Velocidad de avance		480 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																			
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:1												
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia		30°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																			
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal													
				Longitud	488	μm													
				Profundidad	310,1	μm													
<table border="1"> <tr> <td>SEM HV: 8.0 kV</td> <td>WD: 19.67 mm</td> <td colspan="2">VEGA3 TES</td> </tr> <tr> <td>View field: 2.46 mm</td> <td>Det: SE</td> <td colspan="2">500 μm</td> </tr> <tr> <td>SEM MAG: 113 x</td> <td>Date(m/d/y): 08/29/23</td> <td colspan="2">Laboratorio Materiales UTA</td> </tr> </table>								SEM HV: 8.0 kV	WD: 19.67 mm	VEGA3 TES		View field: 2.46 mm	Det: SE	500 μm		SEM MAG: 113 x	Date(m/d/y): 08/29/23	Laboratorio Materiales UTA	
SEM HV: 8.0 kV	WD: 19.67 mm	VEGA3 TES																	
View field: 2.46 mm	Det: SE	500 μm																	
SEM MAG: 113 x	Date(m/d/y): 08/29/23	Laboratorio Materiales UTA																	
Observación:																			
El desgaste se mantiene únicamente en la zona A3. La longitud lo sigue clasificando como macrochipping. El valor de profundidad no supera el criterio de vida útil de 0,4 mm.																			

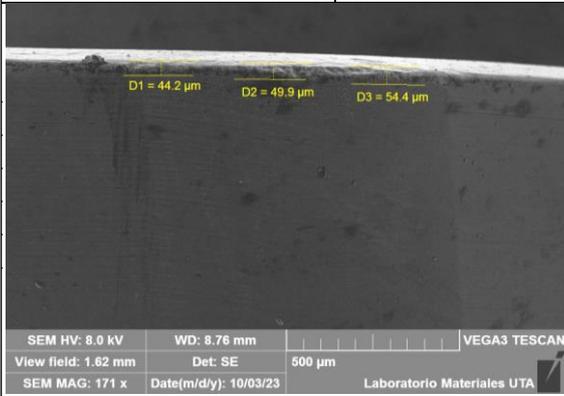
3.2.6 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 190 m/min durante 40 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA					
FRESADO FRONTAL					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 1		
Fecha de ejecución (d/m/a)		29/8/2023			
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM				
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez		
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL					
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material			
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304			
Grado	YBG 202	Dureza			
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB			
PARÁMETROS DE MECANIZADO					
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	40 minutos		
Profundidad de corte axial	0,3 mm				
Profundidad de corte radial	48 mm				
Avance	0,1 mm/diente				
Velocidad de husillo	960 rpm				
Velocidad de avance	480 mm/min				
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE					
Sistema de lubricación	Inundación	Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:1
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia	30°
MEDICIÓN DEL DESGASTE					
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal		
		Longitud	541,7	μm	
		Profundidad	412,1	μm	
Observación: El desgaste se categoriza como macrochipping, superando el límite de vida útil establecido de 0,4 mm de profundidad. La herramienta ha alcanzado su vida útil.					

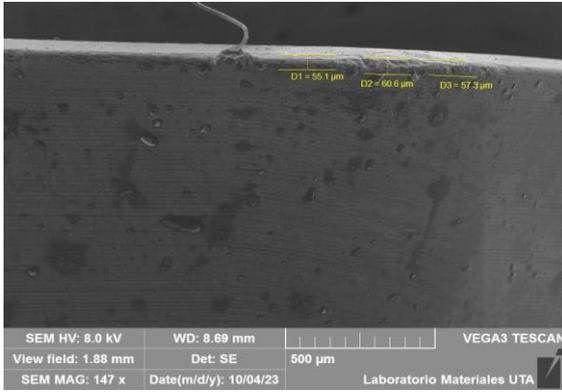
3.2.7 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 8 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																				
FRESADO FRONTAL																				
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2																	
Fecha de ejecución (d/m/a)		28/9/2023																		
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																			
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez																	
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																				
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																		
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																		
Grado	YBG 202	Dureza																		
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																		
PARÁMETROS DE MECANIZADO																				
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	8 minutos																	
Profundidad de corte axial	0,3 mm																			
Profundidad de corte radial	48 mm																			
Avance	0,1 mm/diente																			
Velocidad de husillo	960 rpm																			
Velocidad de avance	480 mm/min																			
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																				
Sistema de lubricación			Híbrido																	
NMQL			Criogénico																	
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2																	
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido	Gaseoso																
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min	0,45 kg/min																
Presión	2 bares	Presión	60 bares																	
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°																	
MEDICIÓN DEL DESGASTE																				
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal																	
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>48</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>43,4</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>40,7</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>132,1</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>44,03</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>				VM	48	μm	VB	43,4	μm	VS	40,7	μm	Suma	132,1	μm	Promedio	44,03	μm
VM	48	μm																		
VB	43,4	μm																		
VS	40,7	μm																		
Suma	132,1	μm																		
Promedio	44,03	μm																		
Observación:																				
Se observa un desgaste uniforme de flanco VB1 en la zona A3 de forma intermitente, empezando en el punto P2 hasta la mitad de la zona, y, levemente en el punto P3 pasando a la zona Af. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.																				

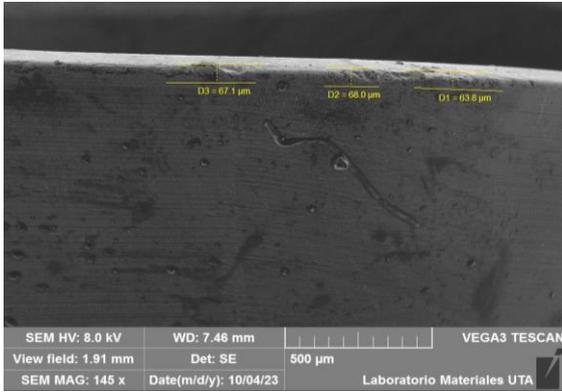
3.2.8 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 16 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																		
FRESADO FRONTAL																		
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2															
Fecha de ejecución (d/m/a)		3/10/2023																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez															
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																		
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																
Grado	YBG 202	Dureza																
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																		
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	16 minutos															
Profundidad de corte axial	0,3 mm																	
Profundidad de corte radial	48 mm																	
Avance	0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo	960 rpm																	
Velocidad de avance	480 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																		
Sistema de lubricación		Híbrido																
NMQL		Criogénico																
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2															
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso															
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min															
Presión	2 bares	Presión	60 bares															
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																		
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal															
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>54,4</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>49,9</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>44,2</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>148,5</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>49,50</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	54,4	μm	VB	49,9	μm	VS	44,2	μm	Suma	148,5	μm	Promedio	49,50	μm
VM	54,4	μm																
VB	49,9	μm																
VS	44,2	μm																
Suma	148,5	μm																
Promedio	49,50	μm																
Observación:																		
El desgaste es más evidente y se extiende por toda la zona A3. La tendencia indica que se trata de desgaste uniforme. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.																		

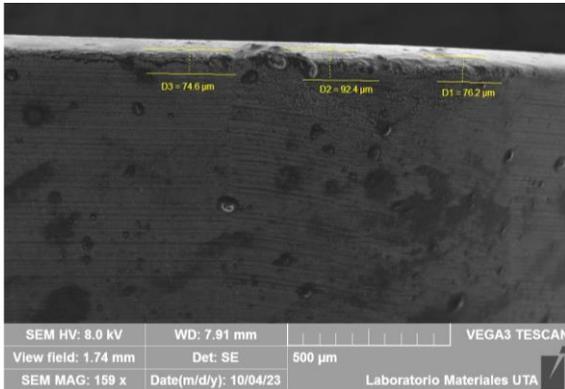
3.2.9 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 24 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																		
FRESADO FRONTAL																		
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2															
Fecha de ejecución (d/m/a)		4/10/2023																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez															
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																		
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																
Grado	YBG 202	Dureza																
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																		
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	24 minutos															
Profundidad de corte axial	0,3 mm																	
Profundidad de corte radial	48 mm																	
Avance	0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo	960 rpm																	
Velocidad de avance	480 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																		
Sistema de lubricación		Híbrido																
NMQL		Criogénico																
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2															
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso															
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min															
Presión	2 bares	Presión	60 bares															
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																		
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal															
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>60,6</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>57,3</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>55,1</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>173</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>57,67</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	60,6	µm	VB	57,3	µm	VS	55,1	µm	Suma	173	µm	Promedio	57,67	µm
VM	60,6	µm																
VB	57,3	µm																
VS	55,1	µm																
Suma	173	µm																
Promedio	57,67	µm																
Observación: La ubicación del desgaste se mantiene en la zona A3 con tendencia uniforme. Los valores de medición no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.																		

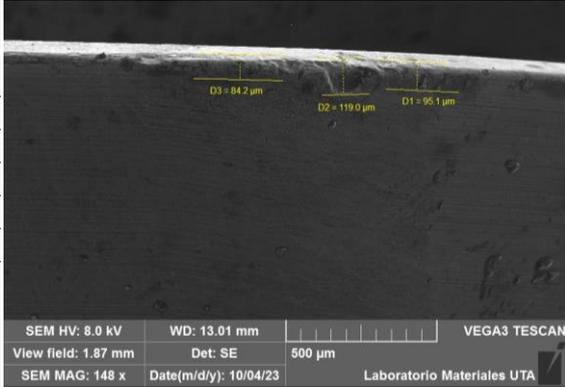
3.2.10 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 32 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																		
FRESADO FRONTAL																		
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2															
Fecha de ejecución (d/m/a)		4/10/2023																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez															
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																		
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																
Grado	YBG 202	Dureza																
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																		
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	32 minutos															
Profundidad de corte axial	0,3 mm																	
Profundidad de corte radial	48 mm																	
Avance	0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo	960 rpm																	
Velocidad de avance	480 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																		
Sistema de lubricación		Híbrido																
NMQL		Criogénico																
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2															
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso															
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min															
Presión	2 bares	Presión	60 bares															
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																		
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal															
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>68</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>63,8</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>67,1</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>198,9</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>66,30</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	68	µm	VB	63,8	µm	VS	67,1	µm	Suma	198,9	µm	Promedio	66,30	µm
VM	68	µm																
VB	63,8	µm																
VS	67,1	µm																
Suma	198,9	µm																
Promedio	66,30	µm																
Observación:																		
La evolución del desgaste es casi insignificativo respecto a la medición anterior. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.																		

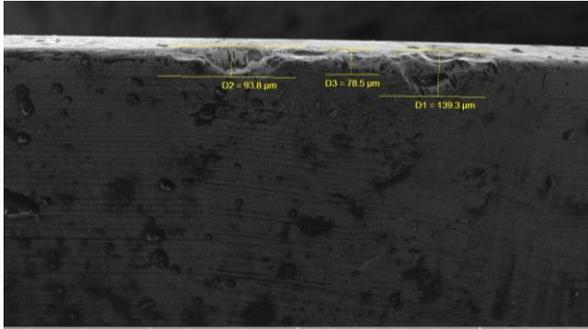
3.2.11 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 36 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																		
FRESADO FRONTAL																		
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2															
Fecha de ejecución (d/m/a)	4/10/2023																	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez															
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																		
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																
Grado	YBG 202	Dureza																
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																		
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	36 minutos															
Profundidad de corte axial	0,3 mm																	
Profundidad de corte radial	48 mm																	
Avance	0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo	960 rpm																	
Velocidad de avance	480 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																		
Sistema de lubricación		Híbrido																
NMQL		Criogénico																
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2															
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso															
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min															
Presión	2 bares	Presión	60 bares															
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																		
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal															
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>92,4</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>76,2</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>74,6</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>243,2</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>81,07</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	92,4	µm	VB	76,2	µm	VS	74,6	µm	Suma	243,2	µm	Promedio	81,07	µm
VM	92,4	µm																
VB	76,2	µm																
VS	74,6	µm																
Suma	243,2	µm																
Promedio	81,07	µm																
Observación:																		
La evolución del desgaste es casi insignificativo en las secciones cercanas al punto P2 y P3, por el contrario, en la zona central de A3 si tuvo un crecimiento. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.																		

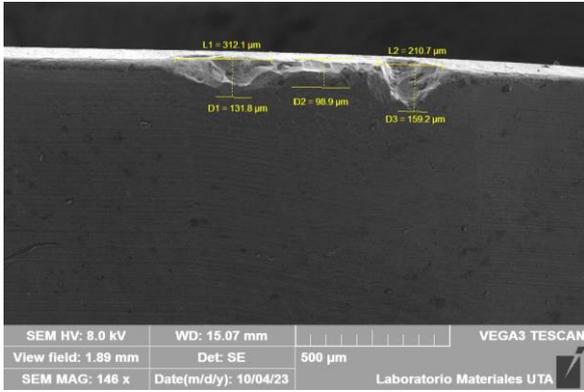
3.2.12 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 40 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																		
FRESADO FRONTAL																		
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2															
Fecha de ejecución (d/m/a)		4/10/2023																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez															
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																		
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																
Grado	YBG 202	Dureza																
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																		
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	40 minutos															
Profundidad de corte axial	0,3 mm																	
Profundidad de corte radial	48 mm																	
Avance	0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo	960 rpm																	
Velocidad de avance	480 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																		
Sistema de lubricación		Híbrido																
NMQL		Criogénico																
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2															
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso															
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min															
Presión	2 bares	Presión	60 bares															
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																		
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal															
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>119</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>95,1</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>84,2</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>298,3</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>99,43</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	119	μm	VB	95,1	μm	VS	84,2	μm	Suma	298,3	μm	Promedio	99,43	μm
VM	119	μm																
VB	95,1	μm																
VS	84,2	μm																
Suma	298,3	μm																
Promedio	99,43	μm																
Observación:																		
Se observa una tendencia de chipping en la parte central de la zona A3. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.																		

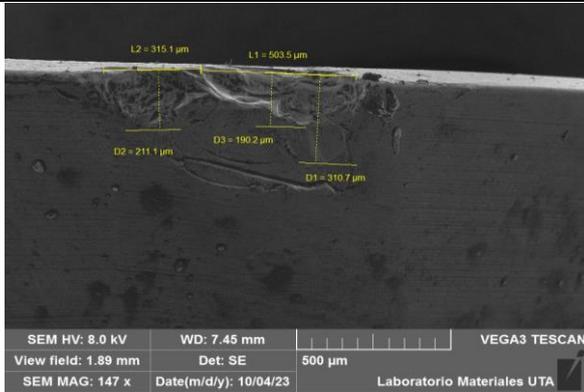
3.2.13 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 50 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA									
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA											
FRESADO FRONTAL											
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2								
Fecha de ejecución (d/m/a)	4/10/2023										
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM										
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez								
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL											
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material									
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304									
Grado	YBG 202	Dureza									
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB									
PARÁMETROS DE MECANIZADO											
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	50 minutos								
Profundidad de corte axial	0,3 mm										
Profundidad de corte radial	48 mm										
Avance	0,1 mm/diente										
Velocidad de husillo	960 rpm										
Velocidad de avance	480 mm/min										
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE											
Sistema de lubricación			Híbrido								
NMQL			Criogénico								
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2								
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido	Gaseoso							
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min	0,45 kg/min							
Presión	2 bares	Presión	60 bares								
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°								
MEDICIÓN DEL DESGASTE											
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal								
		<table border="1"> <tr> <td>Longitud</td> <td>174,13</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Profundidad</td> <td>139,3</td> <td>μm</td> </tr> </table>				Longitud	174,13	μm	Profundidad	139,3	μm
Longitud	174,13	μm									
Profundidad	139,3	μm									
SEM HV: 8.0 kV WD: 12.25 mm VEGA3 TESCAN View field: 1.81 mm Det: SE 500 μm SEM MAG: 172 x Date(m/d/y): 10/04/23 Laboratorio Materiales UTA											
Observación:											
Se confirma la formación de chipping cerca al punto P2 y otro cerca al punto P3. Se los evalúa como microchipping y sus dimensiones no superan el criterio de vida útil de 0,25 mm.											

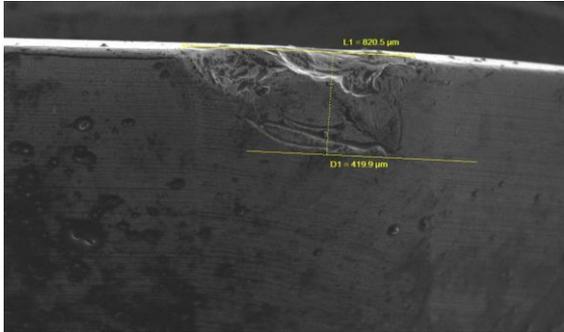
3.2.14 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 60 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA									
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA											
FRESADO FRONTAL											
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2								
Fecha de ejecución (d/m/a)		4/10/2023									
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM										
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez								
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL											
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material									
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304									
Grado	YBG 202	Dureza									
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB									
PARÁMETROS DE MECANIZADO											
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	60 minutos								
Profundidad de corte axial	0,3 mm										
Profundidad de corte radial	48 mm										
Avance	0,1 mm/diente										
Velocidad de husillo	960 rpm										
Velocidad de avance	480 mm/min										
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE											
Sistema de lubricación			Híbrido								
NMQL			Criogénico								
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2								
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido	Gaseoso							
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min	0,45 kg/min							
Presión	2 bares	Presión	60 bares								
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°								
MEDICIÓN DEL DESGASTE											
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal								
		<table border="1"> <tr> <td>Longitud</td> <td>210,7</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Profundidad</td> <td>159,2</td> <td>μm</td> </tr> </table>				Longitud	210,7	μm	Profundidad	159,2	μm
Longitud	210,7	μm									
Profundidad	159,2	μm									
Observación: El astillado del punto P3 se considera macrochipping por la dimensión de su longitud, mientras que el del punto P2 se considera aún microchipping. De cualquier forma, ninguno supera el criterio de vida útil correspondido a 0,4 mm y 0,25 mm respectivamente.											

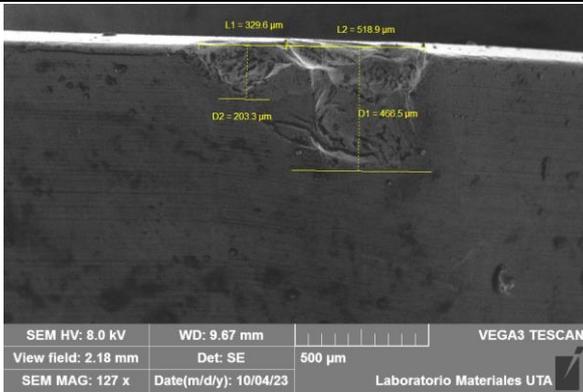
3.2.15 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 70 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA			
FRESADO FRONTAL			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2
Fecha de ejecución (d/m/a)		4/10/2023	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM		
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL			
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material	
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304	
Grado	YBG 202	Dureza	
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB	
PARÁMETROS DE MECANIZADO			
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	70 minutos
Profundidad de corte axial	0,3 mm		
Profundidad de corte radial	48 mm		
Avance	0,1 mm/diente		
Velocidad de husillo	960 rpm		
Velocidad de avance	480 mm/min		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE			
Sistema de lubricación		Híbrido	
NMQL		Criogénico	
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min
Presión	2 bares	Presión	60 bares
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°
MEDICIÓN DEL DESGASTE			
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal
		Longitud	503,5 μm
		Profundidad	310,7 μm
Observación: Se observa la ampliación de la longitud del astillado del punto P2 ocasionando casi la unión de ambos astillados. Se evalúa el más grande y no supera el criterio de vida útil.			

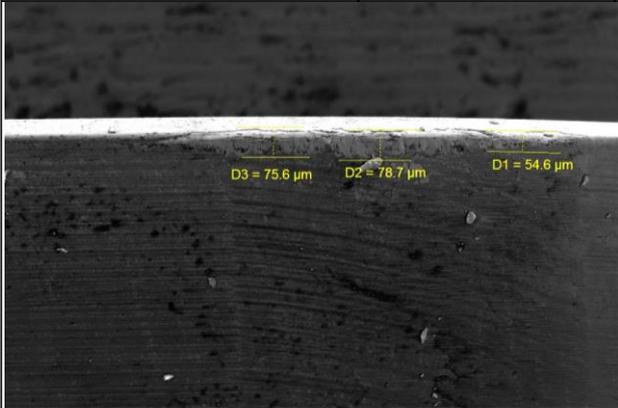
3.2.16 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 74 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA			
FRESADO FRONTAL			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2
Fecha de ejecución (d/m/a)		4/10/2023	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM		
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL			
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material	
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304	
Grado	YBG 202	Dureza	
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB	
PARÁMETROS DE MECANIZADO			
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	74 minutos
Profundidad de corte axial	0,3 mm		
Profundidad de corte radial	48 mm		
Avance	0,1 mm/diente		
Velocidad de husillo	960 rpm		
Velocidad de avance	480 mm/min		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE			
Sistema de lubricación		Híbrido	
NMQL		Criogénico	
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min
Presión	2 bares	Presión	60 bares
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°
MEDICIÓN DEL DESGASTE			
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal
		Longitud	820,5 µm
		Profundidad	419,9 µm
Observación: Finalmente ambos astillados se unieron generando un macrochipping, el cual sobrepasó el criterio de vida útil de 0,4 mm.			

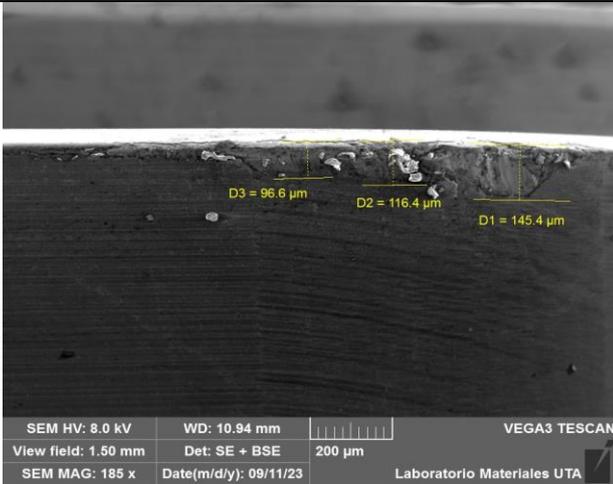
3.2.17 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 190 m/min durante 80 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA									
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA									
FRESADO FRONTAL									
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2						
Fecha de ejecución (d/m/a)		4/10/2023							
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM								
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez						
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL									
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material							
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304							
Grado	YBG 202	Dureza							
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB							
PARÁMETROS DE MECANIZADO									
Velocidad de corte	190 m/min	Tiempo de mecanizado	80 minutos						
Profundidad de corte axial	0,3 mm								
Profundidad de corte radial	48 mm								
Avance	0,1 mm/diente								
Velocidad de husillo	960 rpm								
Velocidad de avance	480 mm/min								
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE									
Sistema de lubricación		Híbrido							
NMQL		Criogénico							
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2						
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso						
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min						
Presión	2 bares	Presión	60 bares						
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°						
MEDICIÓN DEL DESGASTE									
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal						
		<table border="1"> <tr> <td>Longitud</td> <td>848,5</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Profundidad</td> <td>466,5</td> <td>μm</td> </tr> </table>		Longitud	848,5	μm	Profundidad	466,5	μm
Longitud	848,5	μm							
Profundidad	466,5	μm							
Observación: La profundidad del astillado aumentó. La herramienta alcanzó su vida útil.									

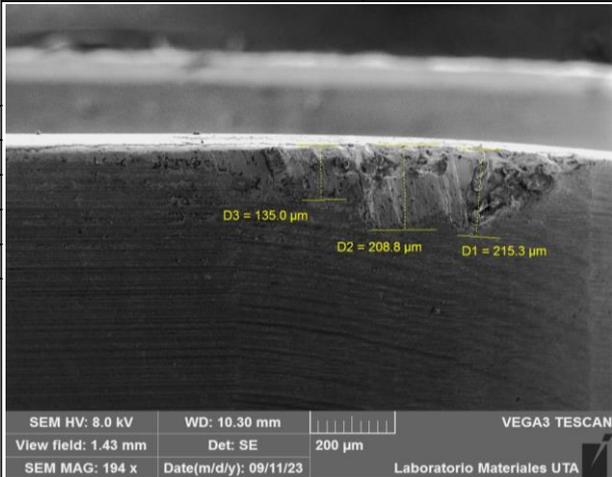
3.2.18 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 3 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																				
FRESADO FRONTAL																				
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 3														
Fecha de ejecución (d/m/a)				11/9/2023																
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																		
Elaborado por		Juan González Jiménez		Revisado por		Ing. Diego Núñez														
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																				
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material																
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304																
Grado		YBG 202		Dureza																
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																				
Velocidad de corte		270 m/min		Tiempo de mecanizado		3 minutos														
Profundidad de corte axial		0,3 mm																		
Profundidad de corte radial		48 mm																		
Avance		0,1 mm/diente																		
Velocidad de husillo		1360 rpm																		
Velocidad de avance		680 mm/min																		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																				
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido		Soluble oil D														
Caudal		3 l/min		Número de boquillas		1														
				Proporción		10:1														
				Ángulo de incidencia		30°														
MEDICIÓN DEL DESGASTE																				
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal														
				<table border="1"> <tr> <td>VM</td> <td>78,7</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>54,6</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>75,6</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>208,9</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>69,63</td> <td>μm</td> </tr> </table>		VM	78,7	μm	VB	54,6	μm	VS	75,6	μm	Suma	208,9	μm	Promedio	69,63	μm
				VM	78,7	μm														
				VB	54,6	μm														
				VS	75,6	μm														
				Suma	208,9	μm														
				Promedio	69,63	μm														
SEM HV: 8.0 kV		WD: 22.40 mm		VEGA3 TESCA																
View field: 1.58 mm		Det: SE + BSE		200 μm																
SEM MAG: 175 x		Date(m/d/y): 09/11/23		Laboratorio Materiales UTA																
Observación:																				
Se observa un desgaste uniforme de flanco VB1 en la zona A3, empezando en el punto P2 y prolongándose ligeramente más del punto P3 hasta la zona Af. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.																				

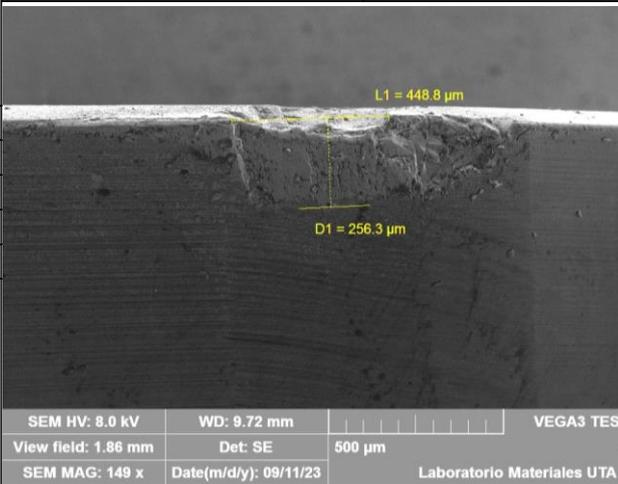
3.2.19 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 5 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA									
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA											
FRESADO FRONTAL											
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 3					
Fecha de ejecución (d/m/a)				11/9/2023							
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM									
Elaborado por		Juan González Jiménez		Revisado por		Ing. Diego Núñez					
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL											
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material							
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304							
Grado		YBG 202		Dureza							
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB							
PARÁMETROS DE MECANIZADO											
Velocidad de corte		270 m/min		Tiempo de mecanizado		5 minutos					
Profundidad de corte axial		0,3 mm									
Profundidad de corte radial		48 mm									
Avance		0,1 mm/diente									
Velocidad de husillo		1360 rpm									
Velocidad de avance		680 mm/min									
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE											
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido		Soluble oil D					
Proporción		10:1		Ángulo de incidencia		30°					
Caudal		3 l/min		Número de boquillas		1					
MEDICIÓN DEL DESGASTE											
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal					
				VM		145,4 μm					
				VB		116,4 μm					
				VS		96,6 μm					
				Suma		358,4 μm					
				Promedio		119,47 μm					
				SEM HV: 8.0 kV		WD: 10.94 mm		VEGA3 TESCAN			
				View field: 1.50 mm		Det: SE + BSE		200 μm			
SEM MAG: 185 x		Date(m/d/y): 09/11/23		Laboratorio Materiales UTA							
Observación:											
Se observa un aumento considerable del desgaste, especialmente cerca del punto P2 en la zona A3. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.											

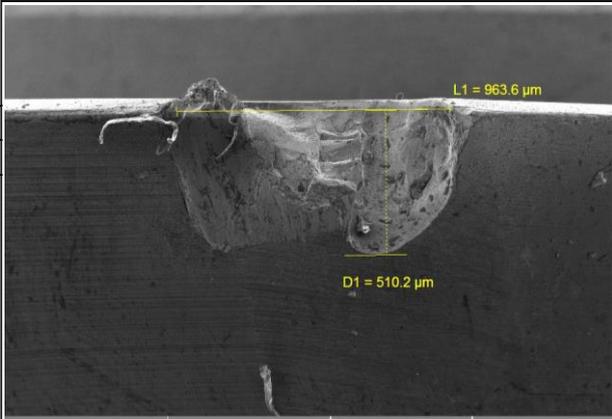
3.2.20 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 7 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA							
FRESADO FRONTAL							
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 3	
Fecha de ejecución (d/m/a)				11/9/2023			
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM					
Elaborado por		Juan González Jiménez		Revisado por		Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL							
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material			
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304			
Grado		YBG 202		Dureza			
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB			
PARÁMETROS DE MECANIZADO							
Velocidad de corte		270 m/min		Tiempo de mecanizado		7 minutos	
Profundidad de corte axial		0,3 mm					
Profundidad de corte radial		48 mm					
Avance		0,1 mm/diente					
Velocidad de husillo		1360 rpm					
Velocidad de avance		680 mm/min					
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE							
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:1
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia		30°	
MEDICIÓN DEL DESGASTE							
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal	
				VM	215,3	μm	
				VB	208,8	μm	
				VS	135	μm	
				Suma	559,1	μm	
				Promedio	186,37	μm	
Observación:							
La zona de desgaste se conserva en la A3. Se observa una tendencia de chipping. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.							

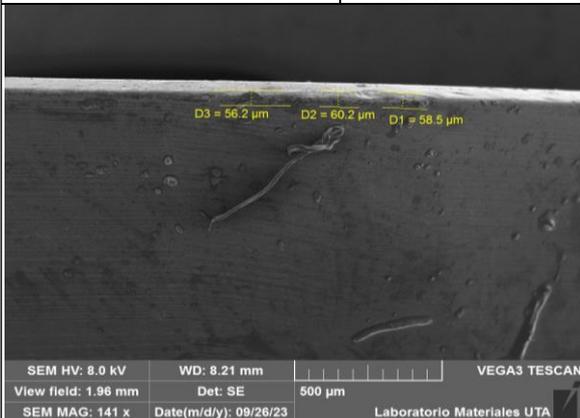
3.2.21 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 10 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA							
FRESADO FRONTAL							
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 3	
Fecha de ejecución (d/m/a)				11/9/2023			
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM					
Elaborado por		Juan González Jiménez		Revisado por		Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL							
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material			
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304			
Grado		YBG 202		Dureza			
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB			
PARÁMETROS DE MECANIZADO							
Velocidad de corte		270 m/min		Tiempo de mecanizado		10 minutos	
Profundidad de corte axial		0,3 mm					
Profundidad de corte radial		48 mm					
Avance		0,1 mm/diente					
Velocidad de husillo		1360 rpm					
Velocidad de avance		680 mm/min					
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE							
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido		Soluble oil D	
Proporción		10:1		Ángulo de incidencia		30°	
Caudal		3 l/min		Número de boquillas		1	
MEDICIÓN DEL DESGASTE							
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal	
				Longitud		448,8 μm	
				Profundidad		256,3 μm	
				SEM HV: 8.0 kV		WD: 9.72 mm	
View field: 1.86 mm		Det: SE		500 μm		Laboratorio Materiales UTA	
SEM MAG: 149 x		Date(m/d/y): 09/11/23					
Observación:							
Se puede apreciar un astillado (chipping) en la zona A3. Al únicamente concentrar el desgaste en esta región, se trata de chipping localizado CH3. La longitud indica que se trata de macrochipping, por ende el valor de profundidad del desgaste no supera el criterio de vida útil de 0,4 mm.							

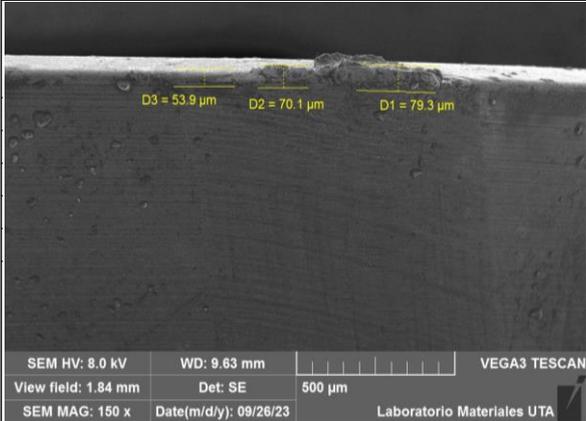
3.2.22 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método de inundación, con velocidad de corte de 270 m/min durante 13 minutos de exposición de trabajo.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA							
FRESADO FRONTAL							
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 3	
Fecha de ejecución (d/m/a)				11/9/2023			
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM					
Elaborado por		Juan González Jiménez		Revisado por		Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL							
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material			
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304			
Grado		YBG 202		Dureza			
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB			
PARÁMETROS DE MECANIZADO							
Velocidad de corte		270 m/min		Tiempo de mecanizado		13 minutos	
Profundidad de corte axial		0,3 mm					
Profundidad de corte radial		48 mm					
Avance		0,1 mm/diente					
Velocidad de husillo		1360 rpm					
Velocidad de avance		680 mm/min					
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE							
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:1
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia		30°	
MEDICIÓN DEL DESGASTE							
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal	
				Longitud	963,6	μm	
				Profundidad	510,2	μm	
SEM HV: 8.0 kV WD: 10.34 mm VEGA3 TE View field: 2.30 mm Det: SE 500 μm SEM MAG: 120 x Date(m/d/y): 09/11/23 Laboratorio Materiales UTA							
Observación:							
Se observa un aumento abrupto del astillado de flanco. La longitud categoriza al desgaste como macrochipping, aproximándose al valor de rotura de 1 mm. La profundidad indica que ha superando el límite de vida útil establecido de 0,4 mm. La herramienta ha alcanzado su vida útil.							

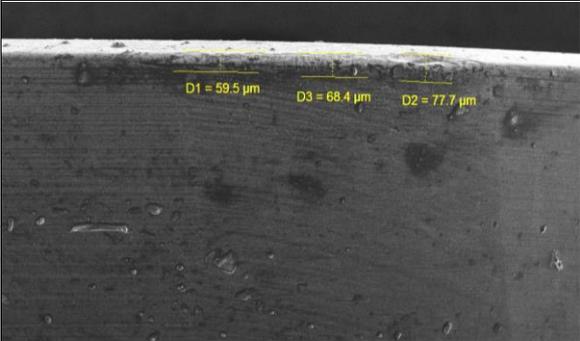
3.2.23 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 3 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																		
FRESADO FRONTAL																		
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4															
Fecha de ejecución		26/9/2023																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez															
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																		
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																
Grado	YBG 202	Dureza																
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																		
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	3 minutos															
Profundidad de corte axial	0,3 mm																	
Profundidad de corte radial	48 mm																	
Avance	0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo	1360 rpm																	
Velocidad de avance	680 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																		
Sistema de lubricación		Híbrido																
NMQL		Criogénico																
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2															
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso															
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min															
Presión	2 bares	Presión	60 bares															
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																		
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal															
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>60,2</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>58,5</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>56,2</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>174,9</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>58,30</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	60,2	µm	VB	58,5	µm	VS	56,2	µm	Suma	174,9	µm	Promedio	58,30	µm
		VM	60,2	µm														
		VB	58,5	µm														
		VS	56,2	µm														
		Suma	174,9	µm														
		Promedio	58,30	µm														
Observación:																		
Se observa un desgaste uniforme de flanco VB1 comprendido en la zona A3, empezando en el punto P2 y prolongándose ligeramente menos del punto P3. Los valores no superan el criterio de vida útil de 0,35 mm.																		

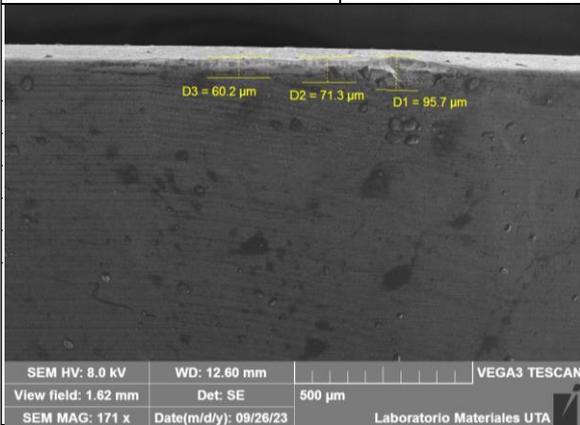
3.2.24 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 5 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																		
FRESADO FRONTAL																		
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4															
Fecha de ejecución		26/9/2023																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez															
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																		
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																
Grado	YBG 202	Dureza																
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																		
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	5 minutos															
Profundidad de corte axial	0,3 mm																	
Profundidad de corte radial	48 mm																	
Avance	0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo	1360 rpm																	
Velocidad de avance	680 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																		
Sistema de lubricación		Híbrido																
NMQL		Criogénico																
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2															
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso															
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min															
Presión	2 bares	Presión	60 bares															
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																		
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal															
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>79,3</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>70,1</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>53,9</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>203,3</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>67,77</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	79,3	μm	VB	70,1	μm	VS	53,9	μm	Suma	203,3	μm	Promedio	67,77	μm
VM	79,3	μm																
VB	70,1	μm																
VS	53,9	μm																
Suma	203,3	μm																
Promedio	67,77	μm																
Observación:																		
Se mantiene el desgaste uniforme en la zona A3. Aparentemente, el crecimiento es gradual. Los valores se mantienen por debajo del criterio de vida útil de 0,35 mm.																		

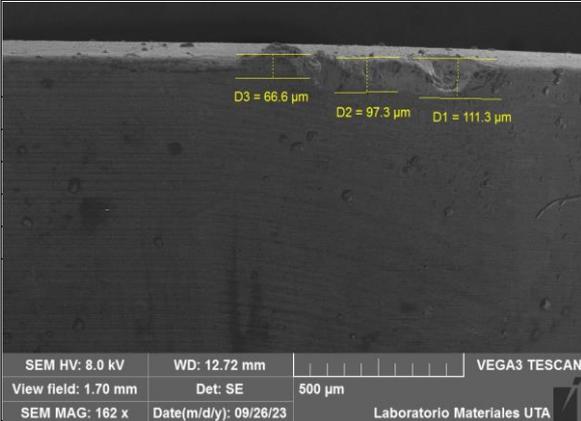
3.2.25 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 7 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																		
FRESADO FRONTAL																		
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4															
Fecha de ejecución		26/9/2023																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez															
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																		
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																
Grado	YBG 202	Dureza																
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																		
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	7 minutos															
Profundidad de corte axial	0,3 mm																	
Profundidad de corte radial	48 mm																	
Avance	0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo	1360 rpm																	
Velocidad de avance	680 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																		
Sistema de lubricación		Híbrido																
NMQL		Criogénico																
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2															
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso															
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min															
Presión	2 bares	Presión	60 bares															
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																		
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal															
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>77,7</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>68,4</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>59,5</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>205,6</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>68,53</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	77,7	μm	VB	68,4	μm	VS	59,5	μm	Suma	205,6	μm	Promedio	68,53	μm
VM	77,7	μm																
VB	68,4	μm																
VS	59,5	μm																
Suma	205,6	μm																
Promedio	68,53	μm																
<small>SEM HV: 8.0 kV WD: 13.07 mm VEGA3 TESCAN View field: 1.73 mm Det: SE 500 μm SEM MAG: 160 x Date(m/d/y): 09/26/23 Laboratorio Materiales UTA</small>																		
Observación:																		
Se mantiene el desgaste uniforme en la zona A3. El crecimiento es gradual, casi insignificativo. Los valores se mantienen por debajo del criterio de vida útil de 0,35 mm.																		

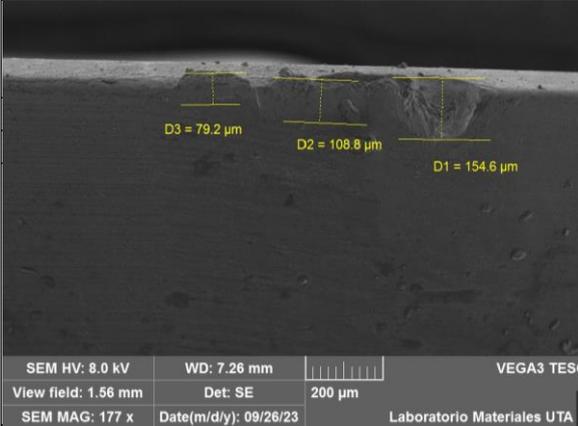
3.2.26 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 10 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																		
FRESADO FRONTAL																		
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4															
Fecha de ejecución		26/9/2023																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez															
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																		
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material																
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304																
Grado	YBG 202	Dureza																
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																		
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	10 minutos															
Profundidad de corte axial	0,3 mm																	
Profundidad de corte radial	48 mm																	
Avance	0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo	1360 rpm																	
Velocidad de avance	680 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																		
Sistema de lubricación		Híbrido																
NMQL		Criogénico																
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2															
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso															
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min															
Presión	2 bares	Presión	60 bares															
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																		
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal															
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>95,7</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>71,3</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>60,2</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>227,2</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>75,73</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	95,7	μm	VB	71,3	μm	VS	60,2	μm	Suma	227,2	μm	Promedio	75,73	μm
		VM	95,7	μm														
		VB	71,3	μm														
		VS	60,2	μm														
		Suma	227,2	μm														
Promedio	75,73	μm																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>SEM HV: 8.0 kV</td> <td>WD: 12.60 mm</td> <td>VEGA3 TESCAN</td> </tr> <tr> <td>View field: 1.62 mm</td> <td>Det: SE</td> <td>500 μm</td> </tr> <tr> <td>SEM MAG: 171 x</td> <td>Date(m/d/y): 09/26/23</td> <td>Laboratorio Materiales UTA</td> </tr> </tbody> </table>		SEM HV: 8.0 kV	WD: 12.60 mm	VEGA3 TESCAN	View field: 1.62 mm	Det: SE	500 μm	SEM MAG: 171 x	Date(m/d/y): 09/26/23	Laboratorio Materiales UTA								
SEM HV: 8.0 kV	WD: 12.60 mm	VEGA3 TESCAN																
View field: 1.62 mm	Det: SE	500 μm																
SEM MAG: 171 x	Date(m/d/y): 09/26/23	Laboratorio Materiales UTA																
Observación:																		
El desgaste se centra en la zona A3. Cerca al punto P2 se observa una tendencia de chipping. Los valores se mantienen por debajo del criterio de vida útil de 0,35 mm.																		

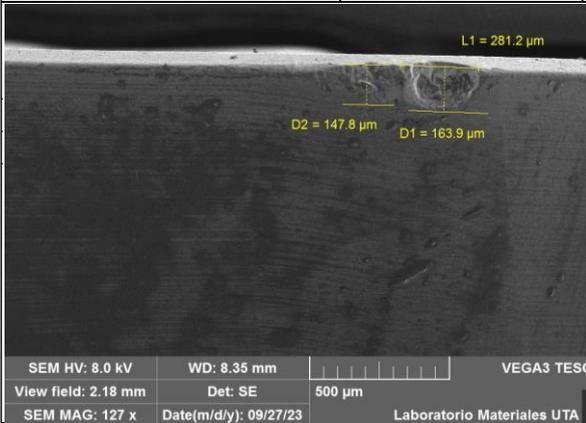
3.2.27 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 13 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA			
FRESADO FRONTAL			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4
Fecha de ejecución		26/9/2023	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM		
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL			
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material	
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304	
Grado	YBG 202	Dureza	
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB	
PARÁMETROS DE MECANIZADO			
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	13 minutos
Profundidad de corte axial	0,3 mm		
Profundidad de corte radial	48 mm		
Avance	0,1 mm/diente		
Velocidad de husillo	1360 rpm		
Velocidad de avance	680 mm/min		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE			
Sistema de lubricación		Híbrido	
NMQL		Criogénico	
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min
Presión	2 bares	Presión	60 bares
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°
MEDICIÓN DEL DESGASTE			
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal
		Longitud	143,89 μm
		Profundidad	111,3 μm
Observación: Cerca a punto P2 se evidencia una generación de astillado. La longitud cataloga al desgaste como microchipping, sin embargo, su profundidad no supera el valor del criterio de vida útil de 0,25 mm.			

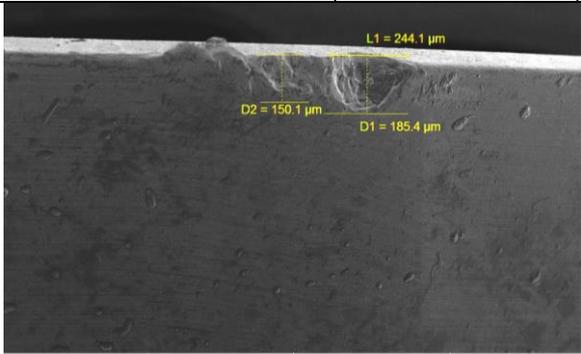
3.2.28 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 15 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA			
FRESADO FRONTAL			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4
Fecha de ejecución		26/9/2023	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM		
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL			
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material	
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304	
Grado	YBG 202	Dureza	
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB	
PARÁMETROS DE MECANIZADO			
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	15 minutos
Profundidad de corte axial	0,3 mm		
Profundidad de corte radial	48 mm		
Avance	0,1 mm/diente		
Velocidad de husillo	1360 rpm		
Velocidad de avance	680 mm/min		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE			
Sistema de lubricación		Híbrido	
NMQL		Criogénico	
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min
Presión	2 bares	Presión	60 bares
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°
MEDICIÓN DEL DESGASTE			
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal
		Longitud	165,64 μm
		Profundidad	154,6 μm
Observación: Aumento tanto en longitud como profundidad del astillado de flanco cerca al punto P2, catalogado como microchipping. El valor no supera el valor del criterio de vida útil de 0,25 mm.			

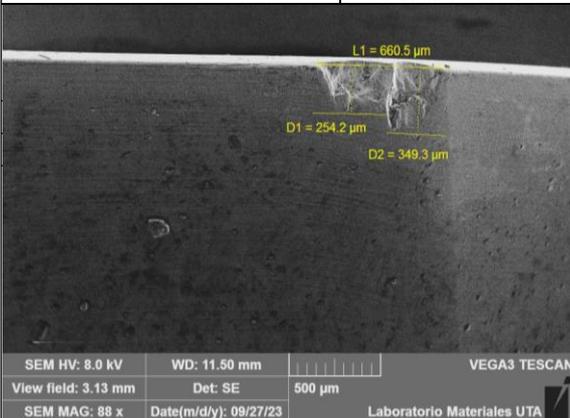
3.2.29 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 17 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA			
FRESADO FRONTAL			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4
Fecha de ejecución		27/9/2023	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM		
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL			
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material	
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304	
Grado	YBG 202	Dureza	
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB	
PARÁMETROS DE MECANIZADO			
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	17 minutos
Profundidad de corte axial	0,3 mm		
Profundidad de corte radial	48 mm		
Avance	0,1 mm/diente		
Velocidad de husillo	1360 rpm		
Velocidad de avance	680 mm/min		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE			
Sistema de lubricación		Híbrido	
NMQL		Criogénico	
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min
Presión	2 bares	Presión	60 bares
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°
MEDICIÓN DEL DESGASTE			
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal
		Longitud	281,2 μm
		Profundidad	163,9 μm
Observación: Se observa una generación de otro astillado en la parte central de la zona A3, junto al astillado ya caracterizado. Ambos se consideran microchipping y sus dimensiones no superan el criterio de vida útil de 0,25 mm.			

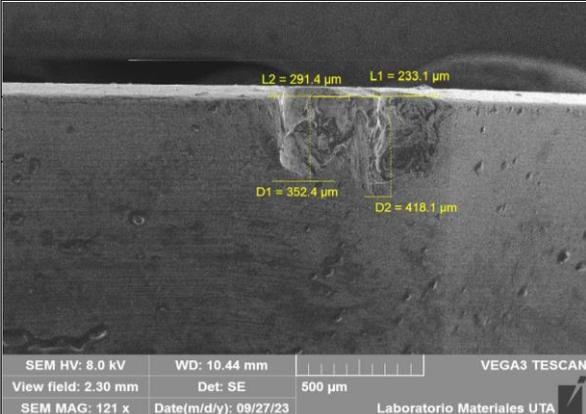
3.2.30 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 25 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA			
FRESADO FRONTAL			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4
Fecha de ejecución		27/9/2023	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM		
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL			
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material	
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304	
Grado	YBG 202	Dureza	
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB	
PARÁMETROS DE MECANIZADO			
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	25 minutos
Profundidad de corte axial	0,3 mm		
Profundidad de corte radial	48 mm		
Avance	0,1 mm/diente		
Velocidad de husillo	1360 rpm		
Velocidad de avance	680 mm/min		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE			
Sistema de lubricación		Híbrido	
NMQL		Criogénico	
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min
Presión	2 bares	Presión	60 bares
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°
MEDICIÓN DEL DESGASTE			
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal
		Longitud	244,1 μm
		Profundidad	185,4 μm
Observación: Se observa un pequeño aumento en la profundidad del astillado cerca al punto P2. Mantiene la tendencia de microchipping y su dimensión no supera el criterio de vida útil de 0,25 mm.			

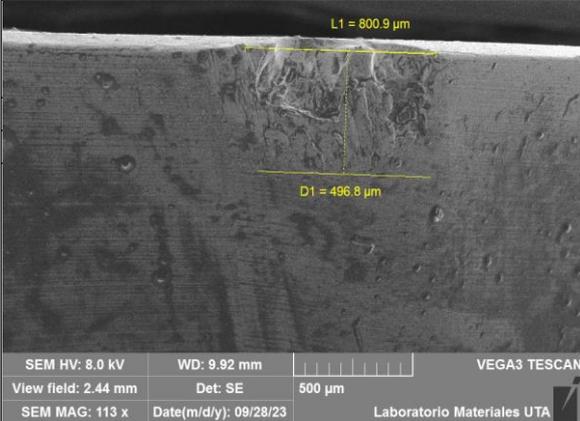
3.2.31 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 35 minutos de exposición de trabajo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA			
FRESADO FRONTAL			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4
Fecha de ejecución		27/9/2023	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM		
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL			
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material	
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304	
Grado	YBG 202	Dureza	
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB	
PARÁMETROS DE MECANIZADO			
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	35 minutos
Profundidad de corte axial	0,3 mm		
Profundidad de corte radial	48 mm		
Avance	0,1 mm/diente		
Velocidad de husillo	1360 rpm		
Velocidad de avance	680 mm/min		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE			
Sistema de lubricación		Híbrido	
NMQL		Criogénico	
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min
Presión	2 bares	Presión	60 bares
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°
MEDICIÓN DEL DESGASTE			
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal
		Longitud	660,5 μm
		Profundidad	349,3 μm
Observación:			
Se evidencia la unión de ambos astillados. Se considera como macrochipping debido a su longitud y su valor no supera el criterio de vida útil de 0,4 mm de profundidad. El crecimiento en base a la tendencia que presentaba tuvo un aumento súbito y pronunciado.			

3.2.32 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 40 minutos de exposición de trabajo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE MECÁNICA	
					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA					
FRESADO FRONTAL					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4		
Fecha de ejecución		27/9/2023			
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM				
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez		
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL					
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material			
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304			
Grado	YBG 202	Dureza			
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB			
PARÁMETROS DE MECANIZADO					
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	40 minutos		
Profundidad de corte axial	0,3 mm				
Profundidad de corte radial	48 mm				
Avance	0,1 mm/diente				
Velocidad de husillo	1360 rpm				
Velocidad de avance	680 mm/min				
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE					
Sistema de lubricación			Híbrido		
NMQL			Criogénico		
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2		
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido	Gaseoso	
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min	0,45 kg/min	
Presión	2 bares	Presión	60 bares		
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°		
MEDICIÓN DEL DESGASTE					
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal		
		Longitud	524,5	μm	
		Profundidad	418,1	μm	
Observación:					
Se observa la formación de dos astillados en la zona A3. Si se los evalúa en conjunto, la dimensión supera el criterio de vida útil de 0,4 mm; si se los evalúa de forma independiente también supera el valor de profundidad máxima de 0,25 mm. La herramienta ha alcanzado su vida útil.					

3.2.33 Ficha de registro de desgaste de flanco mediante el método híbrido (nanofluido más fluido criogénico), con velocidad de corte de 270 m/min durante 45 minutos de exposición de trabajo.

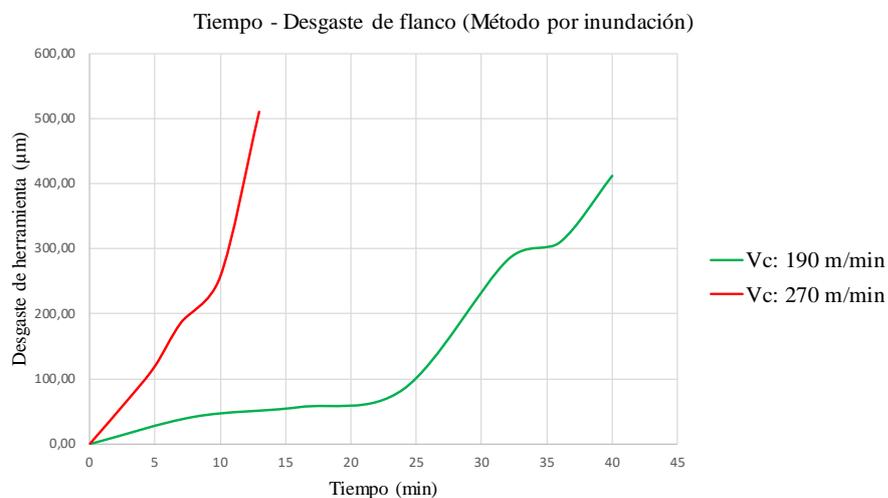
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA			
FRESADO FRONTAL			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4
Fecha de ejecución		28/9/2023	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM		
Elaborado por	Juan González Jiménez	Revisado por	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL			
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material	
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304	
Grado	YBG 202	Dureza	
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB	
PARÁMETROS DE MECANIZADO			
Velocidad de corte	270 m/min	Tiempo de mecanizado	45 minutos
Profundidad de corte axial	0,3 mm		
Profundidad de corte radial	48 mm		
Avance	0,1 mm/diente		
Velocidad de husillo	1360 rpm		
Velocidad de avance	680 mm/min		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE			
Sistema de lubricación		Híbrido	
NMQL		Criogénico	
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2
Nanopartículas	TiO2 al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min
Presión	2 bares	Presión	60 bares
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°
MEDICIÓN DEL DESGASTE			
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal
		Longitud	800,9 μm
		Profundidad	496,8 μm
Observación: Se observa nuevamente la unión de ambos astillados. Se caracteriza como macrochipping por sus dimensiones. La herramienta alcanzó su vida útil.			

3.3 Análisis de resultados

Con las fichas mostradas, se procede a contrastar la información en curvas de desgaste de flanco que se produce en los distintos parámetros de mecanizado.

Primero se analiza ambos métodos por separado para identificar la tendencia de las curvas de desgaste desde el punto de vista de la velocidad de corte.

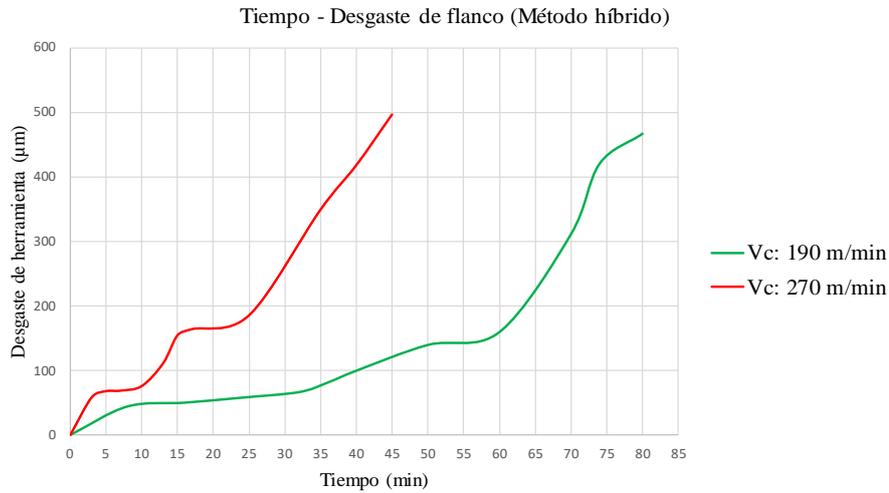
En la gráfica 1 se presenta la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco bajo un proceso de lubricación mediante inundación. Tal y como se aprecia, a una velocidad de 190 m/min muestra un crecimiento gradual hasta los 25 minutos, seguido por un incremento pronunciado en la pendiente. Posteriormente, la trayectoria vuelve a mantenerse casi uniforme hasta llegar a la vida útil. Por otra parte, la exposición de trabajo a 270 m/min muestra una evolución constante hasta alcanzar la vida útil de la herramienta.



Gráfica 1. Tiempo de mecanizado por el método de inundación a diferentes velocidades de corte.

Por otro lado, analizando las mismas condiciones de corte, bajo un entorno de lubricación mediante nanopartículas suministradas mediante la técnica MQL conjuntamente con la refrigeración con CO₂ líquido se observa en la gráfica 2 que a una velocidad de 190 m/min el comportamiento es prácticamente lineal hasta los 60 minutos de mecanizado. A partir de ese punto, la pendiente aumenta y la tendencia vuelve a mantenerse lineal hasta llegar a la vida útil. La curva de desgaste, bajo una velocidad de corte de 270 m/min, sigue un curso casi lineal, excepto por ligeras

variaciones en los minutos 10 y 20, donde el desgaste permanece constante durante esos intervalos.

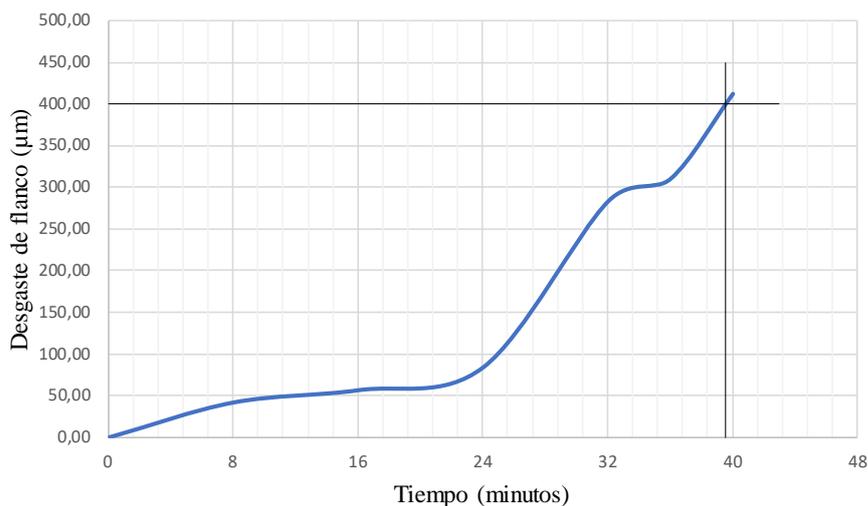


Gráfica 2. Tiempo de mecanizado por el método híbrido a diferentes velocidades de corte.

A continuación, se analiza cada método de lubricación con su respectiva velocidad de trabajo desde el punto de vista de vida útil de la herramienta.

Se muestra en la gráfica 3 la relación tiempo de mecanizado – desgaste de herramienta lubricado mediante inundación. La vida útil del inserto llegó un poco antes de los 40 minutos, así que, mediante interpolación, el tiempo de corte efectivo es de 39.53 minutos siguiendo el criterio de 0.4 mm que dicta la norma ISO 8688-1 para condiciones de astillado localizado.

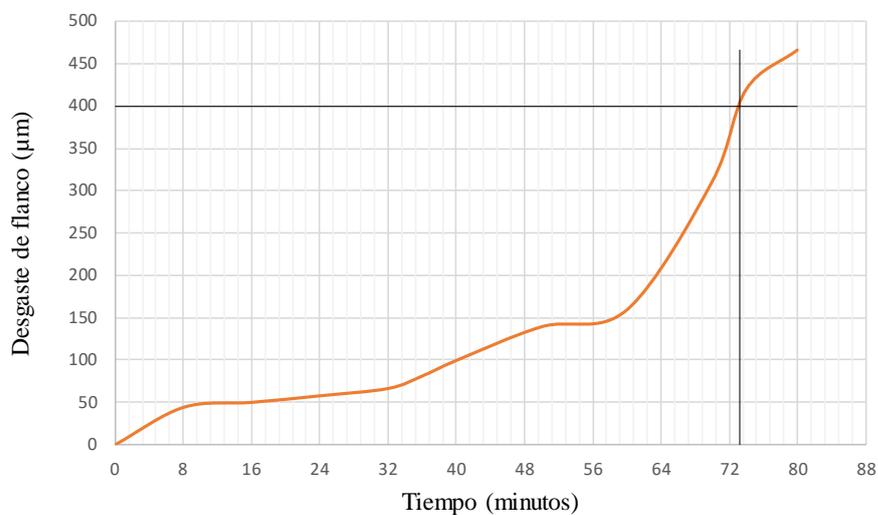
Método de inundación a Vc: 190 m/min



Gráfica 3. Evolución del desgaste bajo método de inundación a Vc: 190 m/min

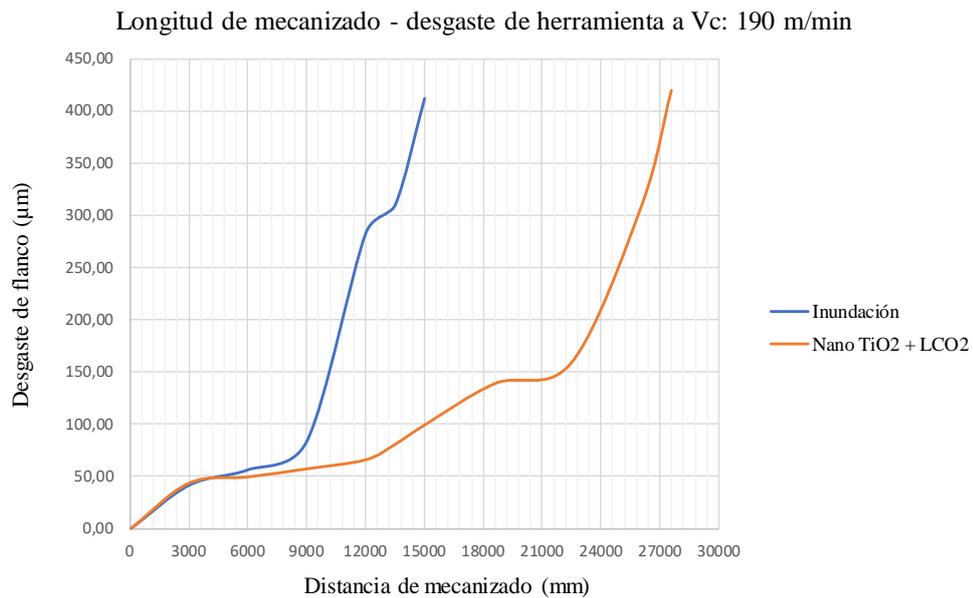
En relación a la lubricación mediante nanocriomecanizado, la gráfica 4 muestra la relación tiempo de mecanizado – desgaste de herramienta bajo los mismos parámetros de corte que el caso anterior. La vida útil del inserto llegó un poco antes de los 74 minutos, así que, mediante interpolación, el tiempo de corte efectivo es de 73.27 minutos siguiendo el criterio de 0.4 mm que dicta la norma ISO 8688-1 para condiciones de astillado localizado.

Método híbrido (Nano 0,5%TiO2 + LCO2) a Vc: 190 m/min



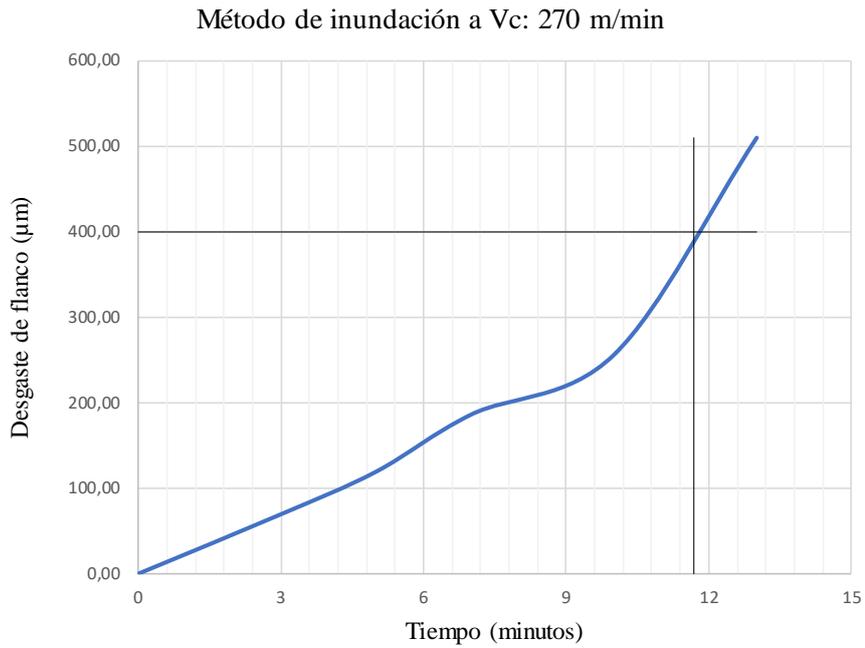
Gráfica 4. Evolución del desgaste bajo método híbrido a Vc: 190 m/min

Al comparar ambos métodos de lubricación (gráfica 5) expuestos a las mismas condiciones de trabajo, se observa que el desgaste es igual en los primeros 3000 milímetros de mecanizado. A partir de los 4800 mm aproximadamente las curvas toman diferentes cursos, sin embargo, las tendencias son casi similares. A una velocidad de corte de 190 m/min, avance de 0.1 mm/diente y profundidad axial de 0.3 mm el método convencional ofrece una distancia de fresado frontal efectiva de 15 000 mm y el método Cryo-NMQL una distancia de 27 600 mm.



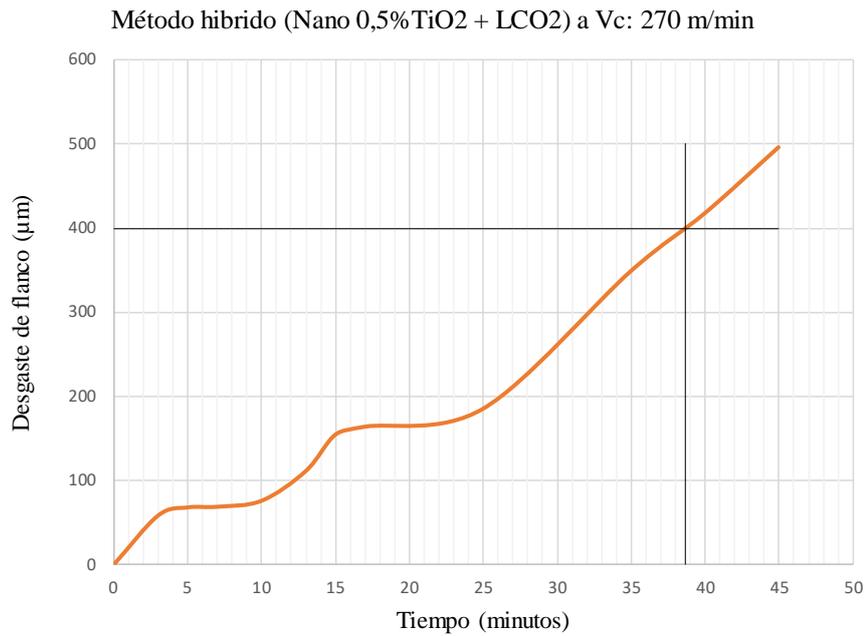
Gráfica 5. Distancia neta de mecanizado (Inundación vs Nanociomecanizado) a Vc=190 m/min.

Se muestra en la gráfica 6 la relación tiempo de mecanizado – desgaste de herramienta lubricado mediante inundación. La vida útil del inserto llegó un poco antes de los 12 minutos, así que, mediante interpolación, el tiempo de corte efectivo es de 11.70 minutos siguiendo el criterio de 0.4 mm que dicta la norma ISO 8688-1 para condiciones de astillado localizado.



Gráfica 6. Evolución del desgaste bajo método de inundación a V_c : 270 m/min

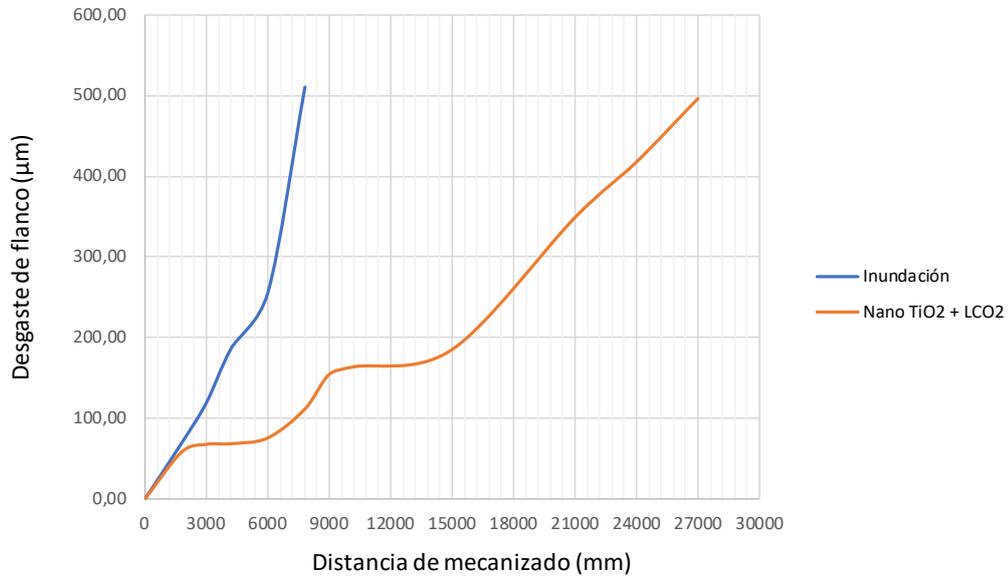
En relación a la lubricación mediante nanocriomecanizado, la gráfica 7 muestra la relación tiempo de mecanizado – desgaste de herramienta bajo los mismos parámetros de corte del caso anterior. La vida útil del inserto llegó un poco antes de los 40 minutos de ensayo, así que, mediante interpolación, el tiempo de corte efectivo es de 38.68 minutos siguiendo el criterio de 0.4 mm que dicta la norma ISO 8688-1 para condiciones de astillado localizado.



Gráfica 7. Evolución del desgaste bajo método híbrido a Vc: 270 m/min

Al comparar ambos métodos de lubricación (gráfica 8) expuestos a las mismas condiciones de trabajo, se observa que el desgaste es igual en los primeros 1800 milímetros de mecanizado. A partir de ese punto, las curvas toman diferentes cursos, ambas con tendencias distintas entre sí, pero casi lineales. A una velocidad de corte de 270 m/min, avance de 0.1 mm/diente y profundidad axial de 0.3 mm el método convencional ofrece una distancia de fresado frontal efectiva de 6 600 mm y el método Cryo-NMQL una distancia de 23 400 mm.

Longitud de mecanizado - desgaste de herramienta a Vc: 270 m/min



Gráfica 8. Distancia neta de mecanizado (Inundación vs Nanocriomecanizado) a Vc=270 m/min.

3.4 Ecuación de Taylor

Para la predicción de la vida útil de las herramientas de corte se aplica la ecuación simplificada de Taylor (ecuación 3) donde las variables están basadas en los parámetros de mecanizado. Para mayor versatilidad, la ecuación base queda de la siguiente forma:

$$V_c \cdot T^{\frac{1}{k}} = C \quad (5)$$

Donde:

Vc es la velocidad de corte.

T el tiempo de mecanizado

C y k constantes en función de las condiciones de corte del proceso expresadas con las ecuaciones 6 y 7, establecidas en la norma ISO 3685.

$$\log C = \bar{x} - \frac{\bar{y}}{k} \quad (6)$$

$$k = \frac{\sum x \cdot y - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (7)$$

Para optimizar el proceso se elaboró una hoja de cálculo descrita en las siguientes tablas.

Inundación

Tabla 13. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado por inundación.

Número de prueba n	Vc (m/min)	t (min)	x = log Vc	y = log t	x · y	x ²	y ²
1	190	39,53	2,2787536	1,59692681	3,639003	5,19272	2,55018
2	270	11,7	2,43136376	1,06818586	2,597148	5,91153	1,14102
n=2		Σ	4,71011737	2,66511268	6,236151	11,1042	3,6912

Tabla 14. Resultados, para las constantes c y k para mecanizado por inundación.

$(\sum x)^2$	22,18520559
$(\sum x)^2/n$	11,0926028
$\sum x \cdot \sum y$	12,5529935
$(\sum x \cdot \sum y)/n$	6,276496748
$\bar{x} = \sum x/n$	2,355058683
$\bar{y} = \sum y/n$	1,332556338
k	-3,464650987
 1/k 	0,288629361
log C	2,739673567
C	549,1279719

Reemplazando los valores de C y k, obtenidos en la tabla 13 y 14, en la ecuación 5, se define la vida útil en minutos de la herramienta de corte para mecanizado bajo el método de inundación de la siguiente manera:

$$V_c \cdot T^{0.55006601} = 2016.443744$$

Nanocriomecanizado (0.5%TiO₂ + LCO₂)

Tabla 15. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado por NMQL+LCO₂

Número de prueba n	Vc (m/min)	t (min)	x = log Vc	y = log t	x · y	x ²	y ²
1	190	73,27	2,2787536	1,86492619	4,249707	5,19272	3,47795
2	270	38,68	2,43136376	1,58748647	3,859757	5,91153	2,52011
n=2		Σ	4,71011737	3,45241266	8,109464	11,1042	5,99806

Tabla 16. Resultados, para las constantes c y k para mecanizado por NMQL+LCO₂

$(\sum x)^2$	22,18520559
$(\sum x)^2/n$	11,0926028
$\sum x \cdot \sum y$	16,26126881
$(\sum x \cdot \sum y)/n$	8,130634404
$\bar{x} = \sum x/n$	2,355058683
$\bar{y} = \sum y/n$	1,726206328
k	-1,817963629
 1/k 	0,55006601
log C	3,30458611
C	2016,443744

Reemplazando los valores de C y k, obtenidos en la tabla 15 y 16, en la ecuación 5, se define la vida útil en minutos de la herramienta de corte para mecanizado mediante la técnica de NMQL + líquido criogénico de la siguiente manera:

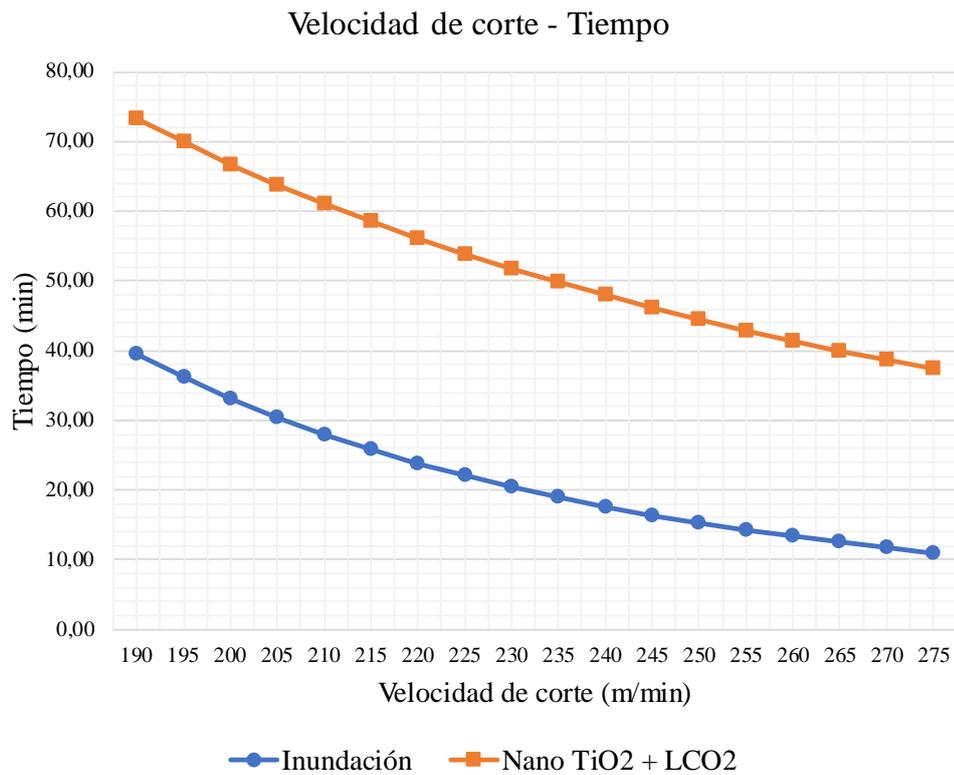
$$V_c \cdot T^{0.288629361} = 549.1279719$$

Los modelos matemáticos descritos para cada método de lubricación permiten predecir el tiempo de vida útil de la herramienta de corte despejando el tiempo T. En la tabla 17 se muestran valores calculados de vida útil en minutos para ambos casos incrementando la velocidad desde 190 m/min hasta 275 m/min en intervalos de 5 m/min.

Tabla 17. Tiempo de vida útil de la herramienta en función de la velocidad de corte (comparativa de mecanizado por inundación vs lubricación híbrida)

Velocidad de corte (m/min)	Tiempo de corte (min)	
	Inundación	Híbrido
190	39,53	73,27
195	36,13	69,89
200	33,09	66,75
205	30,38	63,82
210	27,95	61,08
215	25,76	58,52
220	23,79	56,13
225	22,00	53,88
230	20,39	51,77
235	18,93	49,79
240	17,60	47,92
245	16,38	46,15
250	15,28	44,49
255	14,26	42,92
260	13,33	41,43
265	12,48	40,02
270	11,70	38,68
275	10,98	37,41

En la gráfica 9, la curva de color naranja describe el comportamiento de la vida útil en minutos de la herramienta de fresado frontal evaluada bajo una condición de lubricación mediante la técnica MQL con adición de nanopartículas de óxido de Titanio y la refrigeración de dióxido de carbono líquido en función de la velocidad de corte, por otro lado, la curva azul describe la relación de la velocidad de corte con el tiempo útil bajo condiciones de lubricación por el método convencional de inundación. Ambas tendencias decrecen cuando la velocidad de corte aumenta, sin embargo, el método híbrido está notablemente distanciado respecto al eje “Y” del método por inundación.



Gráfica 9. Tiempo de vida útil de la herramienta en función de la velocidad de corte (comparativa de mecanizado por inundación vs lubricación híbrida)

3.5 Verificación de hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se empleará el modelo T student. Este método permite determinar si la media de una muestra es estadísticamente diferente de una media poblacional.

Se establece la siguiente hipótesis:

¿El método de lubricación híbrida (Nanofluido + Criogenización) aplicado en el proceso de fresado del acero AISI 304 mejorará la vida útil de las herramientas de corte?

- **Variable independiente**

Método de lubricación híbrida (Nanofluido + Criogenización).

- **Variable independiente**

Vida útil de las herramientas de corte.

- **Hipótesis nula H_0**

El método de lubricación híbrida (Nanofluido + Criogenización) aplicado en el proceso de fresado del acero AISI 304 **no** mejora la vida útil de las herramientas de corte.

- **Hipótesis alternativa H_a**

El método de lubricación híbrida (Nanofluido + Criogenización) aplicado en el proceso de fresado del acero AISI 304 mejora la vida útil de las herramientas de corte.

- **Modelo**

$$H_0 = VB_{inundación} = VB_{criomecanizado} ; H_a = VB_{inundación} \neq VB_{criomecanizado}$$

- **Grados de libertad**

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

Donde:

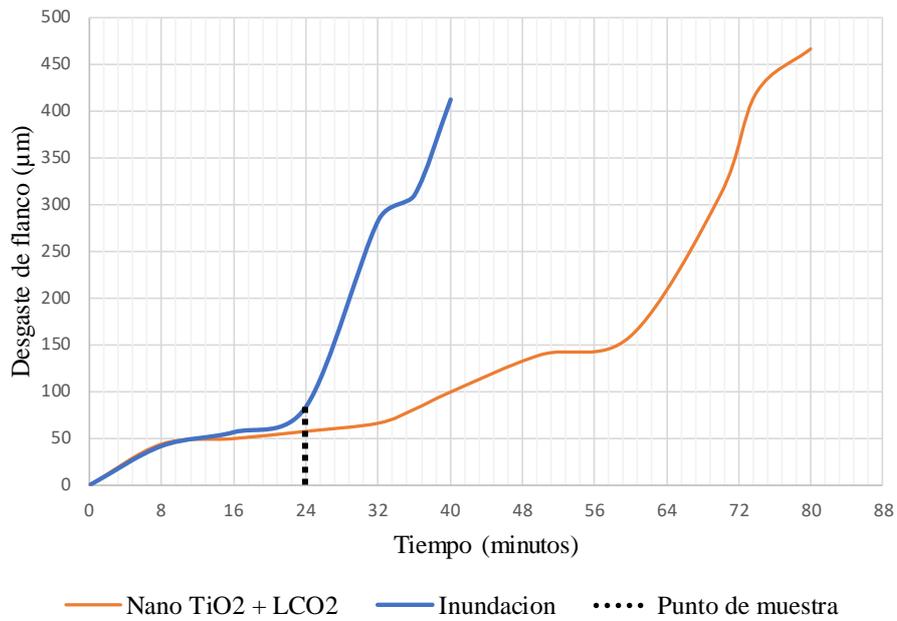
v : es el número de grados de libertad

n_1 : es el número de muestras del experimento bajo condiciones de inundación

n_2 : es el número de muestras del experimento bajo condiciones de nanocriomecanizado

Para verificar la hipótesis, se seleccionará como objeto de estudio el ensayo con una velocidad de 190 m/min, dado que presenta tendencias de desgaste con una evolución lineal y desarrollo continuo respecto a la de 270 m/min. El análisis se realizará a los 24 minutos, ya que este punto representa el último momento en el cual el recubrimiento permanece en la herramienta en el caso del método de inundación, antes de que la curva de desgaste adquiera otra pendiente más pronunciada (gráfica 10).

Punto de análisis de muestra a Vc: 190 m/min



Gráfica 10. Tiempo de análisis para obtención de muestra.

El número de muestras en cada caso de lubricación fueron obtenidos como se muestra en la tabla 18 y 19.

Tabla 18. Valores de las muestras obtenidas bajo lubricación mediante inundación.

Inundación (x)				
Vc: 190 m/min a 24 minutos de exposición de trabajo.				
	Inserto			
Repetición	1	2	3	4
1	84,13	74,33	66,30	68,37
2	88,73	68,86	76,74	80,17
3	64,43	84,05	71,38	73,28
Media µx			75,064	

Tabla 19. Valores de las muestras obtenidas bajo lubricación mediante nanociomecanizado.

Híbrido NMQL + LCO2 (y)				
Vc: 190 m/min a 24 minutos de exposición de trabajo.				
	Inserto			
Repetición	1	2	3	4
1	57,67	55,63	57,67	61,60
2	60,50	55,48	58,90	60,60
3	54,62	64,87	56,71	56,99
Media μ_y			58,435	

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

$$v = 12 + 12 - 2$$

$$v = 22$$

- **Nivel de significancia**

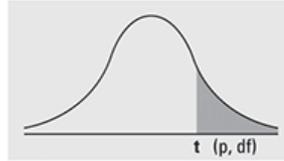
Se considera un nivel de confianza de 95 %, por lo que el nivel de significancia es de 5% lo que genera una probabilidad de $P = 0.05$. Al tener dos regiones de rechazo en la campana de Gauss se divide para 2 y es igual a $P=0.025$.

- **Selección de t tabulado**

Con los valores de probabilidad P y los grados de libertad v se selecciona t en la tabla 20.

Tabla 20. Distribución t student [52].

Numbers in each row of the table are values on a t -distribution with (df) degrees of freedom for selected right-tail (greater-than) probabilities (p).



df/p	0.40	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
1	0.324920	1.000000	3.077684	6.313752	12.70620	31.82052	63.65674	636.6192
2	0.288675	0.816497	1.885618	2.919986	4.30265	6.96456	9.92484	31.5991
3	0.276671	0.764892	1.637744	2.353363	3.18245	4.54070	5.84091	12.9240
4	0.270722	0.740697	1.533206	2.131847	2.77645	3.74695	4.60409	8.6103
5	0.267181	0.726687	1.475884	2.015048	2.57058	3.36493	4.03214	6.8688
6	0.264835	0.717558	1.439756	1.943180	2.44691	3.14267	3.70743	5.9588
7	0.263167	0.711142	1.414924	1.894579	2.36462	2.99795	3.49948	5.4079
8	0.261921	0.706387	1.396815	1.859548	2.30600	2.89646	3.35539	5.0413
9	0.260955	0.702722	1.383029	1.833113	2.26216	2.82144	3.24984	4.7809
10	0.260185	0.699812	1.372184	1.812461	2.22814	2.76377	3.16927	4.5869
11	0.259556	0.697445	1.363430	1.795885	2.20099	2.71808	3.10581	4.4370
12	0.259033	0.695483	1.356217	1.782288	2.17881	2.68100	3.05454	4.3178
13	0.258591	0.693829	1.350171	1.770933	2.16037	2.65031	3.01228	4.2208
14	0.258213	0.692417	1.345030	1.761310	2.14479	2.62449	2.97684	4.1405
15	0.257885	0.691197	1.340606	1.753050	2.13145	2.60248	2.94671	4.0728
16	0.257599	0.690132	1.336757	1.745884	2.11991	2.58349	2.92078	4.0150
17	0.257347	0.689195	1.333379	1.739607	2.10982	2.56693	2.89823	3.9651
18	0.257123	0.688364	1.330391	1.734064	2.10092	2.55238	2.87844	3.9216
19	0.256923	0.687621	1.327728	1.729133	2.09302	2.53948	2.86093	3.8834
20	0.256743	0.686954	1.325341	1.724718	2.08596	2.52798	2.84534	3.8495
21	0.256580	0.686352	1.323188	1.720743	2.07961	2.51765	2.83136	3.8193
22	0.256432	0.685805	1.321237	1.717144	2.07387	2.50832	2.81876	3.7921
23	0.256297	0.685306	1.319460	1.713872	2.06866	2.49987	2.80734	3.7676
24	0.256173	0.684850	1.317836	1.710882	2.06390	2.49216	2.79694	3.7454
25	0.256060	0.684430	1.316345	1.708141	2.05954	2.48511	2.78744	3.7251
26	0.255955	0.684043	1.314972	1.705618	2.05553	2.47863	2.77871	3.7066
27	0.255858	0.683685	1.313703	1.703288	2.05183	2.47266	2.77068	3.6896
28	0.255768	0.683353	1.312527	1.701131	2.04841	2.46714	2.76326	3.6739
29	0.255684	0.683044	1.311434	1.699127	2.04523	2.46202	2.75639	3.6594
30	0.255605	0.682756	1.310415	1.697261	2.04227	2.45726	2.75000	3.6460
z	0.253347	0.674490	1.281552	1.644854	1.95996	2.32635	2.57583	3.2905
CI	———	———	80%	90%	95%	98%	99%	99.9%

Se obtiene un t tabulado que corresponde a un valor de 2.07387.

- **Cálculo de la distribución t**

De los valores presentados en la tabla 18 y 19, se calcula la varianza S para cada muestra mediante las ecuaciones 8 y 9.

$$S_1^2 = \frac{\sum(x - \mu x)^2}{n_1 - 1} \quad (8)$$

$$S_2^2 = \frac{\sum(y - \mu y)^2}{n_2 - 1} \quad (9)$$

Donde:

x: es un valor del conjunto de datos que corresponde al desgaste medido en el proceso de mecanizado bajo inundación.

y: es un valor del conjunto de datos que corresponde al desgaste medido en el proceso de mecanizado bajo lubricación híbrida.

μx : es la media aritmética del conjunto de datos que corresponde al desgaste medido en el proceso de mecanizado bajo inundación.

μy : es la media aritmética del conjunto de datos que corresponde al desgaste medido en el proceso de mecanizado bajo lubricación híbrida.

S^2 : es la varianza

En la tabla 21 se calcula los valores respectivos para la obtención de la varianza.

Tabla 21. Valores para cálculo de varianza

x	y	$x - \mu x$	$(x - \mu x)^2$	$y - \mu y$	$(y - \mu y)^2$
84,13	57,67	9,07	82,20	-0,77	0,59
74,33	55,63	-0,73	0,53	-2,80	7,85
66,30	57,67	-8,76	76,80	-0,77	0,59
68,37	61,60	-6,70	44,85	3,16	10,02
88,73	60,50	13,67	186,86	2,06	4,26
68,86	55,48	-6,20	38,47	-2,96	8,76
76,74	58,90	1,67	2,80	0,46	0,22
80,17	60,60	5,11	26,07	2,16	4,69
64,43	54,62	-10,64	113,18	-3,82	14,58
84,05	64,87	8,99	80,76	6,43	41,39
71,38	56,71	-3,69	13,61	-1,73	2,98
73,28	56,99	-1,78	3,17	-1,45	2,10
μx 75,06	μy 58,44		Σ 669,29		Σ 98,03

$$S_1^2 = \frac{669.29}{12 - 1} = 60.844$$

$$S_2^2 = \frac{98.03}{12 - 1} = 8.912$$

Se reemplazan los valores en la fórmula de t para muestras independientes con varianzas distintas.

$$t = \frac{\mu x - \mu y}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

$$t = \frac{75.06 - 58.44}{\sqrt{\frac{60.844}{12} + \frac{8.912}{12}}}$$

$$t_{calculado} = 6.896$$

Si $t_{calculado} > t_{tabulado}$ se rechaza la hipótesis nula H_0 y se concluye que hay suficiente evidencia para que estadísticamente la hipótesis alternativa H_a sea aceptada.

Adicionalmente, en la tabla 22 se presenta la tasa de mejora de un método respecto a otro al aumentar la velocidad de corte.

Tabla 22. Porcentaje de mejora del método de inundación vs el método híbrido en función de la velocidad de corte.

Velocidad de corte Vc (m/min)	Método de lubricación				Mejora (%)
	Inundación		Nano 0,5% TiO2 + LCO2		
	Tiempo de corte efectivo (min)	Longitud de mecanizado efectivo (mm)	Tiempo de corte efectivo (min)	Longitud de mecanizado efectivo (mm)	
190	39,53	14822	73,27	27327	85,35
195	36,13	13904	69,89	26899	93,45
200	33,09	13063	66,75	26347	101,69
205	30,38	12292	63,82	25820	110,06
210	27,95	11583	61,08	25317	118,56
215	25,76	10931	58,52	24834	127,20
220	23,79	10328	56,13	24371	135,96
225	22,00	9772	53,88	23927	144,86
230	20,39	9257	51,77	23501	153,88
235	18,93	8779	49,79	23091	163,03
240	17,60	8335	47,92	22697	172,31
245	16,38	7922	46,15	22317	181,72
250	15,28	7537	44,49	21952	191,25
255	14,26	7178	42,92	21599	200,90
260	13,33	6843	41,43	21259	210,68
265	12,48	6529	40,02	20930	220,58
270	11,70	6235	38,68	20612	230,60
275	10,98	5959	37,41	20305	240,74

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En el área de mecanizado es esencial optimizar los procesos de lubricación y refrigeración para equilibrar eficiencia y sostenibilidad. Los procesos no convencionales están basados en técnicas que no requieren un tratamiento especial para su disposición o eliminación, como el mecanizado en seco, mínima cantidad de lubricante pura, con adición nanopartículas o líquidos iónicos, uso de gases a temperatura criogénica o incluso la combinación de ambas tecnologías. Estos enfoques no solamente tratan la contaminación ambiental sino también preocupaciones de salud a largo plazo de los operarios. Al analizar los métodos ecológicos de lubricación y enfriamiento del fresado del acero AISI 304 se evidencia que no son solo éticamente responsables, sino que también superan en rendimiento a las prácticas tradicionales.

El acero inoxidable AISI 304 es un material con una maquinabilidad relativa baja, es por eso que se debe contar con herramientas de corte destinadas para trabajos de alta dureza; se seleccionó un herramental para planeado frontal de 45° de ángulo de posición, porta 5 insertos con designación SEET12T3-DM de la empresa ZCC Cutting Tools grado YBG202 recubierto con nc-TiAlN mediante proceso PVD. La herramienta viene con parámetros predeterminados para aplicación de mecanizado M10-M25.

Utilizando el microscopio electrónico de barrido se realizó las mediciones del desgaste de flanco de la herramienta de corte. Se obtuvo un desgaste promedio a una velocidad de 190 m/min en condiciones de lubricación por inundación de 412.10 μm y, bajo condiciones de lubricación híbrida se registró un desgaste de 99.43 μm tras una exposición de trabajo de 40 minutos. En el caso del mecanizado a una velocidad de 270 m/min, se obtuvo un desgaste promedio de 510.20 μm y 111.30 μm para condiciones de inundación y lubricación híbrida respectivamente tras 13 minutos de exposición de trabajo.

Aplicando el criterio de deterioro de herramienta Normal conforme a la norma ISO 8688-1, se determinaron los valores de tiempo de vida útil de las herramientas de corte en distintas condiciones de trabajo. En el mecanizado lubricado mediante inundación a una velocidad de 190 m/min, el tiempo de vida útil fue de 39.53 minutos; en el nanocriomecanizado a la misma velocidad se registró un tiempo de 73.27 minutos. Por otro lado, en el caso del mecanizado a una velocidad de 270 m/min, se determinó un tiempo de vida útil de 11.70 minutos bajo efectos de lubricación por inundación y 38.68 minutos bajo efectos de nanocriomecanizado.

El uso de la lubricación híbrida (Nano 0.5% TiO₂ + LCO₂) en condiciones de velocidad de 190 m/min registra una mejora del 85.35%, es decir, aumenta 1.9 veces la vida útil respecto al método convencional por inundación. En condiciones de velocidad de 270 m/min registra una mejora del 230.60%, es decir, 3.3 veces la vida útil de herramienta de corte.

Bajo las condiciones predefinidas de lubricación por inundación y nanocriomecanizado en el fresado frontal del acero AISI 304, se determina con la ecuación de Taylor que medida que la velocidad de corte (Vc) aumenta, también incrementa el porcentaje de mejora. De manera promedio, el sistema de lubricación híbrido es 160.16 % más eficiente respecto al método de inundación en términos de vida útil de herramienta de corte.

4.2 Recomendaciones

Para la ejecución de los ensayos verificar: el cero pieza en la fresadora CNC; la sujeción del elemento de trabajo; la sujeción del herramental en el husillo, la programación del código G.

Cuando se utilice el método de inundación, purgar todo el fluido refrigerante que circula dentro de la máquina y preparar una nueva dilución.

No es recomendable usar un recipiente de vidrio para homogeneizar las nanopartículas en el aceite, puesto que este puede romperse dentro de la máquina.

Desarmar y limpiar los componentes del módulo del tanque MQL cuando se trabaje con nanofluido debido a obstrucciones en los conductos por las nanopartículas.

Utilizar el nanofluido el mismo día de su preparación, en caso de dejarlo en reposo, volver a homogeneizarlo.

Utilizar mascarilla para evitar aspirar las nanopartículas en suspensión que se encuentran en el aire después de la pulverización del aceite en el sistema MQL.

Etiquetar tanto en el portainsertos como en el microscopio las plaquitas de corte para evitar confusiones en la medición.

Limpiar los insertos antes de ingresarlos al microscopio electrónico de barrido para llevar un registro confiable de medición.

- Para futuras investigaciones:

El sistema de lubricación criogénico puede estar sujeto a optimización mediante el uso de válvulas criogénicas, medidores de caudal para fluidos en condiciones de temperatura bajo cero, implementación de un sistema de control automático.

Evaluar el comportamiento del CO₂ líquido con el uso de un cilindro con sifón y así evitar rotar el componente 180°.

Realizar los ensayos bajo los mismos métodos de lubricación utilizando un diferente grado de inserto, recubrimiento. También se puede abordar aceites vegetales de uso diario.

Analizar los mecanismos de desgaste con velocidades de corte más bajas a las presentadas en la presente investigación.

Evaluar el desgaste comparando más métodos de lubricación como: seco, inundación, MQL, Criogénico, MQL + Criogénico, NMQL, MQL + fluidos iónicos.

Utilizar diferentes nanofluidos variando las nanopartículas o nanotubos y analizar el efecto tanto en desgaste como rugosidad superficial a varias concentraciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ç. V. Yıldırım, «Investigation of hard turning performance of eco-friendly cooling strategies: Cryogenic cooling and nanofluid based MQL», *Tribology International*, vol. 144, p. 106127, abr. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.106127>.
- [2] J. A. Sanchez *et al.*, «Machining evaluation of a hybrid MQL-CO2 grinding technology», *Journal of Cleaner Production*, vol. 18, n.º 18, pp. 1840-1849, dic. 2010, doi: 10.1016/j.jclepro.2010.07.002.
- [3] S. A. Lawal, I. A. Choudhury, y Y. Nukman, «Application of vegetable oil-based metalworking fluids in machining ferrous metals—A review», *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 52, n.º 1, pp. 1-12, ene. 2012, doi: 10.1016/j.ijmactools.2011.09.003.
- [4] J. Singh, S. S. Gill, M. Dogra, y R. Singh, «A review on cutting fluids used in machining processes», *Eng. Res. Express*, vol. 3, n.º 1, p. 012002, mar. 2021, doi: 10.1088/2631-8695/abeca0.
- [5] K. Gupta, R. F. Laubscher, J. P. Davim, y N. K. Jain, «Recent developments in sustainable manufacturing of gears: a review», *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 3320-3330, ene. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.133.
- [6] Ç. V. Yıldırım, T. Kıvık, M. Sarıkaya, y F. Erzincanlı, «Determination of MQL Parameters Contributing to Sustainable Machining in the Milling of Nickel-Base Superalloy Waspaloy», *Arab J Sci Eng*, vol. 42, n.º 11, pp. 4667-4681, nov. 2017, doi: 10.1007/s13369-017-2594-z.

- [7] M. Chinnasamy, R. Rathanasamy, S. K. Pal, y S. K. Palaniappan, «Effectiveness of cryogenic treatment on cutting tool inserts: A review», *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 108, p. 105946, nov. 2022, doi: 10.1016/j.ijrmhm.2022.105946.
- [8] Y. Shokoohi y E. Shekarian*, «Application of Nanofluids in Machining Processes - A Review», *Journal of Nanoscience and Technology*, pp. 59-63, nov. 2015.
- [9] A. Balasuadhakar, S. Thirumalai Kumaran, y F. Ahmed, «A review on the role of nanoparticles in MQL machining», *Materials Today: Proceedings*, vol. 72, pp. 2828-2832, ene. 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.07.247.
- [10] A. Race *et al.*, «Environmentally sustainable cooling strategies in milling of SA516: Effects on surface integrity of dry, flood and MQL machining», *Journal of Cleaner Production*, vol. 288, p. 125580, mar. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125580.
- [11] N. Diego *et al.*, «Influencia del sistema de mínima cantidad de lubricante MQL en la vida de las herramientas de corte de metal duro en el fresado del acero AISI 1018», *Enfoque UTE*, vol. 8, n.º 2, pp. 44-55, mar. 2017, doi: 10.29019/enfoqueute.v8n2.157.
- [12] A. C. Okafor y T. O. Nwoguh, «Comparative evaluation of soybean oil-based MQL flow rates and emulsion flood cooling strategy in high-speed face milling of Inconel 718», *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 107, n.º 9, pp. 3779-3793, abr. 2020, doi: 10.1007/s00170-020-05248-3.
- [13] G. Kónya y Z. F. Kovács, «The Comparison of Effects of Liquid Carbon Dioxide and Conventional Flood Cooling on the Machining Conditions During Milling of Nickel-based Superalloys», *Periodica Polytechnica*

Mechanical Engineering, vol. 67, n.º 3, Art. n.º 3, jul. 2023, doi: 10.3311/PPme.22265.

- [14] A. Shokrani, V. Dhokia, y S. T. Newman, «Energy conscious cryogenic machining of Ti-6Al-4V titanium alloy», *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 232, n.º 10, pp. 1690-1706, ago. 2018, doi: 10.1177/0954405416668923.
- [15] N. S. Ross *et al.*, «Novel use of cryogenic cooling conditions in improving the machining performance of Al 8011/nano-SiC composites», *Int J Adv Manuf Technol*, oct. 2023, doi: 10.1007/s00170-023-12382-1.
- [16] Ü. A. Usca, M. Uzun, S. Şap, K. Giasin, D. Y. Pimenov, y C. Prakash, «Determination of machinability metrics of AISI 5140 steel for gear manufacturing using different cooling/lubrication conditions», *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 21, pp. 893-904, nov. 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.09.067.
- [17] N. S. Ross *et al.*, «Impact of hybrid cooling approach on milling and surface morphological characteristics of Nimonic 80A alloy», *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 73, pp. 428-439, ene. 2022, doi: 10.1016/j.jmapro.2021.11.018.
- [18] N. Villaranzo, S. Caneda, O. Pereira, A. Rodriguez, y L. Lopez de la Calle, «Materials | Free Full-Text | The Effects of Lubricooling Ecosustainable Techniques on Tool Wear in Carbon Steel Milling», Accedido: 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/7/2936>

- [19] A. Tiwari, D. Agarwal, A. Singh, y N. Dixit, «Study the Effect of various Nanofluids in different Machining Process and Machining characteristics: A Review», 2020.
- [20] H. Hegab, B. Darras, y H. A. Kishawy, «Sustainability Assessment of Machining with Nano-Cutting Fluids», *Procedia Manufacturing*, vol. 26, pp. 245-254, ene. 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.07.033.
- [21] P. Singh, J. S. Dureja, H. Singh, y M. S. Bhatti, «Performance evaluation of coated carbide tool during face milling of AISI 304 under different cutting environments», *Mater. Res. Express*, vol. 6, n.º 5, p. 056546, feb. 2019, doi: 10.1088/2053-1591/ab0696.
- [22] A. R. Amin, A. Ali, y H. M. Ali, «Application of Nanofluids for Machining Processes: A Comprehensive Review», *Nanomaterials*, vol. 12, n.º 23, Art. n.º 23, ene. 2022, doi: 10.3390/nano12234214.
- [23] P. Singh, J. S. Dureja, H. Singh, y M. S. Bhatti, «Nanofluid-based Minimum Quantity Lubrication (MQL) Face Milling of Inconel 625», *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 16, n.º 3, Art. n.º 3, oct. 2019, doi: 10.15282/ijame.16.3.2019.04.0516.
- [24] T. Singh, J. S. Dureja, M. Dogra, y M. S. Bhatti, «Machining Performance Investigation of AISI 304 Austenitic Stainless Steel under Different Turning Environments», *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 15, n.º 4, Art. n.º 4, dic. 2018, doi: 10.15282/ijame.15.4.2018.10.0447.
- [25] P. Amaro, P. Ferreira, y F. Simões, «Tool wear analysis during duplex stainless steel trochoidal milling», *AIP Conference Proceedings*, vol. 1960, n.º 1, p. 070001, may 2018, doi: 10.1063/1.5034897.

- [26] N. Ismailov, «Cutting tool durability when stainless steel is machined», UNIVERSITY OF WEST BOHEMIA, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/39058/1/DP%20Ismailov.pdf>
- [27] A. Nápoles Alberro y J. A. Travieso Rodríguez, *Ingeniería en los procesos de fabricación mediante el arranque de virutas*. Delta Publicaciones, 2015. Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/169708?page=172>
- [28] O. Khayal, *DESIGN FOR MACHINING*. 2019.
- [29] H. N. Gupta, *Manufacturing Processes, Second Edition*.
- [30] BIRT-LH, «4.1.1.- Ángulos y superficies características de las fresas. | TFM04.- Procesos de fresado.» Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://ikastaroak.birt.eus/edu/es/DFM/TFM/TFM04/es_DFM_TFM04_Contenidos/website_411_ngulos_y_superficies_caractersticas_de_las_fresas.html
- [31] D. A. Stephenson y J. S. Agapiou, *Metal Cutting Theory and Practice, Third Edition*.
- [32] M. T. Prado Cerqueira, «Análisis de desgaste de herramienta y optimización de proceso mecanizado mediante visión computarizada y consumo eléctrico», doctoralThesis, Diseño na enxeñaría, 2015. Accedido: 9 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/handle/11093/516>

- [33] Sandvik Coromant Academy, «Metal Cutting Technology Training Handbook».
- [34] «ISO 8688-1:1989 Tool life testing in milling — Part 1: Face mi...»
Accedido: 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso?c=016091>
- [35] Ques10, «Taylors tool life equation.» Accedido: 18 de noviembre de 2023.
[En línea]. Disponible en: <https://www.ques10.com/p/48279/taylors-tool-life-equation-1/>
- [36] F. J. Rodríguez Dorado, D. S. Sánchez, y F. M. Sanguino, *Especificaciones técnicas en procesos de mecanizado por arranque de viruta*. IC Editorial, 2012. Accedido: 7 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/43227?page=66>
- [37] R. Ma, S. Ju, H. Chen, y C. Shu, «Effect of Cobalt Content on Microstructures and Wear Resistance of Tungsten Carbide–Cobalt-Cemented Carbides Fabricated by Spark Plasma Sintering», *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 207, n.º 1, p. 012019, jun. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/207/1/012019.
- [38] S. KUMAR HANSDA, «Machinability Study of AISI 316 Grade Austenitic Stainless Steel Using P 30 Grade Cemented Carbide Insert», NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ROURKELA, INDIA, 2011.
- [39] I. H. MULYADI, «Improving the Performance of Minimum Quantity Lubrication in High Speed Milling and Environmental Performance Analysis», The University of Manchester, Inglaterra, 2013. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en:

<https://research.manchester.ac.uk/en/studentTheses/improving-the-performance-of-minimum-quantity-lubrication-in-high>

- [40] S. Mane y S. Kumar, «Cutting Fluids and Cutting Fluid Application Techniques in Machining: A Review», 2018. Accedido: 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Cutting-Fluids-and-Cutting-Fluid-Application-in-A-Mane-Kumar/b75880965186e45392f8b567b8e5326686a2672a>
- [41] O. Pereira Neto, A. I. Fernández Abia, y J. Barreiro García, «Alternativas al mecanizado con taladrina», Interempresas. Accedido: 18 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/108938-Alternativas-al-mecanizado-con-taladrina.html>
- [42] A. Chu *et al.*, «Nanofluids Minimal Quantity Lubrication Machining: From Mechanisms to Application», *Lubricants*, vol. 11, n.º 10, Art. n.º 10, oct. 2023, doi: 10.3390/lubricants11100422.
- [43] M. Liu *et al.*, «Cryogenic minimum quantity lubrication machining: from mechanism to application», *Front. Mech. Eng.*, vol. 16, n.º 4, pp. 649-697, dic. 2021, doi: 10.1007/s11465-021-0654-2.
- [44] BOHMAN, «Catálogo de Aceros & Materiales 2023». Accedido: 19 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://online.fliphtml5.com/dljug/alyk/>
- [45] ZCC Cutting tools Europe, «Indexable Milling Tools». 2019.

- [46] ToolsUnited, «ZCC Cutting Tools - SEET12T3-DM YBG202 - Plaquetas de corte - cuadradas - ToolsUnited». Accedido: 20 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.toolsunited.com/App/ESP/Article/ArticleDetailsPage/bd896fa0-dd18-4d3c-bea6-e5ef1b15d8e4?dataSource=toolsUnited&classificationType=DIN4000&print=False>
- [47] «PDSDetailPage.pdf». Accedido: 28 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cglapps.chevron.com/msdspds/PDSDetailPage.aspx?docDataId=393134&docFormat=PDF>
- [48] D. M. Carranza Calero y L. A. Mayorga Ases, «Evaluación del desgaste de las herramientas de corte y acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 mediante lubricación híbrida CO₂ + NANO TiO₂», UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA, Ambato, Ecuador, 2020. Accedido: 21 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/31235>
- [49] US Research Nanomaterials, Inc, «TiO₂ Nanoparticles / TiO₂ Nanopowder (TiO₂, anatase, 99.9%, 100nm)». Accedido: 21 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.us-nano.com/inc/sdetail/47163>
- [50] UNIST, «Coolube® 2210XP - Unist, inc.» Accedido: 21 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://unist.com/product.html?prod=2210xp>

[51] D. R. Arias Soto, «Desarrollo de un sistema híbrido “Plug and Play” de lubricación pulverizada con nanofluido y fluido criogénico para mejorar los procesos de mecanizado por arranque de viruta torneado», masterThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Mecánica Mención Manufactura, 2021. Accedido: 21 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33070>

[52] D. J. Rumsey, «How to Find t-Values for Confidence Intervals», dummies. Accedido: 19 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.dummies.com/article/academics-the-arts/math/statistics/how-to-find-t-values-for-confidence-intervals-169841/>

ANEXOS

ANEXO A

Indexable milling

Product overview	B4-B5
System overview	B6-B15
Chip breaker overview	B16
Grade overview	B17-B19
Application fields of grades	B20
System code – milling bodies	B22-B23
ISO code – inserts	B24-B25
System code – slot milling	B26
Face milling	B27-B93
Square shoulder milling	B94-B125
Profile milling	B126-B142
Slot milling	B143-B154
High feed milling	B155-B163
Bore milling	B164-B165
T-slot milling	B166-B167
Helical milling	B168-B173
Chamfer milling	B174-B186
Indexable heads – QCH series	B187-B202
General milling inserts	B203-B215
Recommended cutting data	B216-B248
Trouble shooting	B448
Technical information	B449-B456

B

A

Turning

B

Milling

C

Drilling

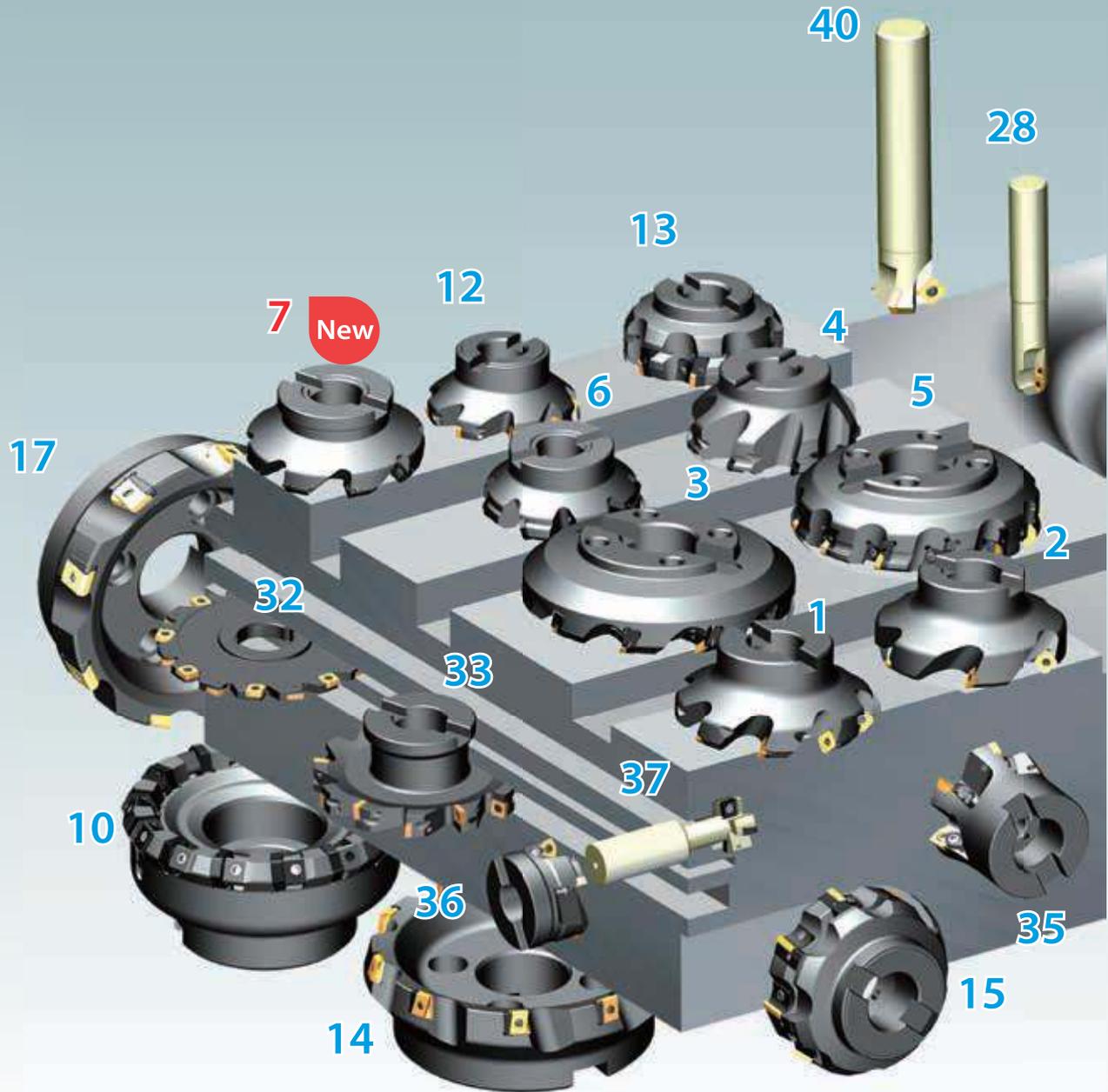
D

Technical
Information

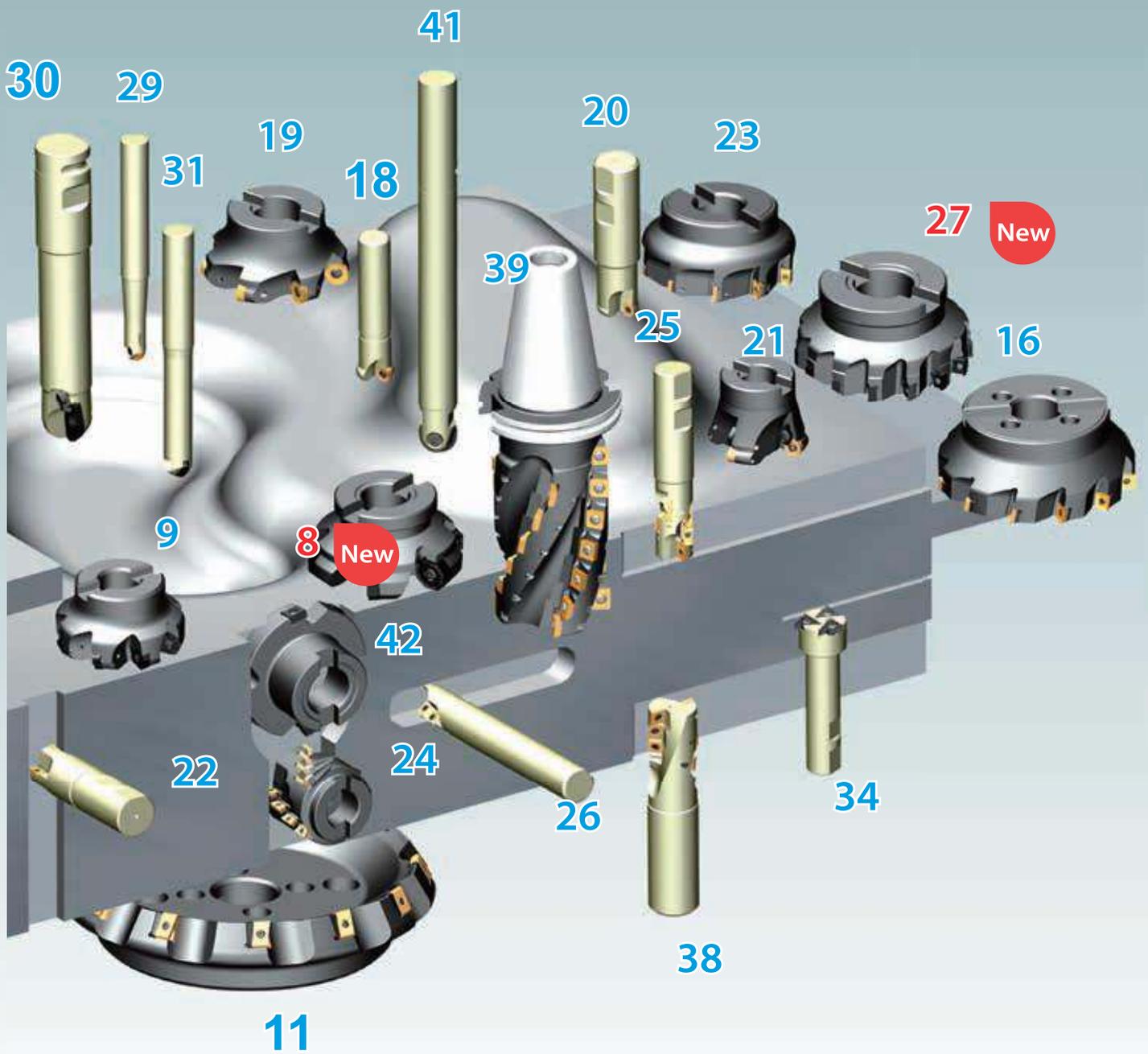
E

Index

Indexable inserts milling tool program



No.	Tool category	Page	No.	Tool category	Page	No.	Tool category	Page
1	FMA01	B27	9	FMD02(PN11)	B56	17	FMP03	B79
2	FMA02	B30	10	FMD02(HN09)	B62	18	FMR01	B81
3	FMA03	B33	11	FMD03	B64	19	FMR02	B83
4	FMA04(OFKT05**)	B36	12	FME02	B66	20	FMR03	B86
5	FMA04(OFKR07**)	B38	13	FME03	B68	21	FMR04	B90
6	FMA07	B42	14	FME04	B72	22	EMP01	B94
7	FMA11	B48	15	FMP01	B74	23	EMP02	B100
8	FMA12	B52	16	FMP02	B76	24	EMP03	B103



No.	Tool category	Page	No.	Tool category	Page	No.	Tool category	Page
25	EMP04	B105	33	SMP03	B147	41	QCH	B188
26	EMP05	B107	34	SMP05	B151	42	XMP01	B164
27	EMP13	B116	35	XMR01(SDMT**)	B156			
28	BMR01	B126	36	XMR01(WPGT**)	B160			
29	BMR02	B129	37	TMP01	B166			
30	BMR03	B133	38	HMP01	B168			
31	BMR04	B139	39	HMP01-EC	B172			
32	SMP01	B143	40	CM*01	B174			

A
Turning

B
Milling

C
Drilling

D
Technical Information

E
Index

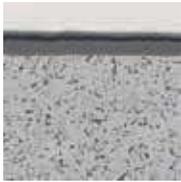
Series	Milling body	Inserts	Kr	Application						Features	Page
				P	M	K	N	S	H		
FMA01		 SEET12T3 SEET18T6	45°	✓	✓	✓	✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø50 – 315 mm • For steel, stainless steel, cast iron, non-ferrous metals and heat-resistant alloys • Milling cutter with positive, soft cutting geometry • Wiper inserts for good surface quality 	B27
FMA02		 SEET12T3	45°	✓	✓	✓	✓	✓		<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø50 – 125 mm • For steel, stainless steel, cast iron, non-ferrous metals and heat-resistant alloys • Milling cutter with positive, soft cutting geometry • Wide pitch 	B30
FMA03		 SEEN1203 SEKN1203 SEKR1203 SEKR1504 SEKN1504	45°	✓	✓	✓	✓			<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø80 – 315 mm • For steel, stainless steel and cast iron • Milling cutter with positive, soft cutting geometry • Wedge clamping 	B33
FMA04		 OFKT05T3	45°	✓	✓	✓	✓			<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø50 – 160 mm • For steel, stainless steel, cast iron and non-ferrous metals • Inserts with eight cutting edges • Screw clamping 	B36
FMA04		 OFKR0704	45°	✓	✓	✓	✓			<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø125 – 315 mm • For steel, stainless steel, cast iron and non-ferrous metals • Inserts with eight cutting edges • Wedge clamping 	B38
FMA07		 ONHU0604 ONHU08T5	45°	✓		✓			✓	<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø25 – 50 mm • For steel and cast iron • Inserts with 16 cutting edges 	B42
FMA07		 ONHU0604 ONHU08T5	45°	✓		✓			✓	<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø40 – 315 mm • For steel and cast iron • Inserts with 16 cutting edges 	B44
FMA11		 SNEG1205 SNEG1506 SNEG1907	45°	✓	✓	✓			✓	<ul style="list-style-type: none"> • Diameter range Ø63 – 315 mm • For steel, stainless steel and cast iron • Inserts with eight cutting edges • Double sided, thicker inserts for high stability and deeper cutting depths • Wiper geometry for good surface quality • Normal and fine pitch 	B48

✓ Very suitable ✓ Suitable

Chip breakers overview

	Finishing	Medium machining	Roughing
A Turning	DF	DM	DR
	APF	APM	-
	PF	PM	PR
	GF	GM	GR
	-	-	ZR
	MO-2	MO-1	MO-3
B Milling	EF	EM	-
	APF	APM	-
	DF	DM	-
	PF	PM	PR
	GF	GM	GR
	E	E	-
C Drilling	-	-	ZR
	CF	CM	CR
	DF	DM	DR
	EDFR	DER	DER
	PF	PM	PR
	GF	GM	GR
D Technical Information	-	-	ZR
	MO-2	MO-1	MO-3
	EF	EM	-
E Index	NM	NM	-
	LH	LH	LH
	ALH	ALH	ALH

Coated cemented carbide CVD

Grade	ISO	Micro structure	Grade description
YBC301	P20–P35		CVD coated P20–P35 carbide grade for medium operation to roughing of steel at lower cutting speed.
YBC302	P20–P35		CVD coated P20–P35 carbide grade for medium operation to roughing of steel at higher cutting speed. Optimal performance of wear resistance and toughness for a wide application field.
YBC401	P30–P50 M30–M40		CVD coated P30–P50/M30–M40 carbide grade for roughing operation of steel at lower cutting speed and unstable condition.
YBM251	P20–P30 M15–M35		CVD coated P20–P30/M15–M35 carbide grade for medium to roughing operation in stainless steel and steel with wide application field. Good wear resistance and capability against plastic deformation at normal cutting speed.
YBM253	M15–M35		CVD coated M15–M35 carbide grade for medium to roughing operation in stainless steel with wide application field. High wear resistance and capability against plastic deformation at higher cutting speed.
YBM351	P25–P40 M25–M40		CVD coated P25–P40/M25–M40 carbide grade for roughing operation in stainless steel and steel. Good wear resistance and edge stability at normal cutting speed.
YBD152	K10–K25		CVD coated K10–K25 carbide substrate. Optimized for medium to roughing operation of cast iron. Good wear resistance and toughness at higher cutting speed.
YBD252	K20–K35		CVD coated K20–K35 carbide substrate. Optimized for medium to roughing operation of cast iron and Steel. Good wear resistance and toughness at higher cutting speed.

A

Turning

B

Milling

C

Drilling

DTechnical
Information**E**

Index

Coated cemented carbide PVD

Grade	ISO	Micro structure	Grade description
YBG102	S05–S15		PVD coated S05–S15 carbide substrate for finishing to medium application of super alloy material, stainless steel and aluminum. Good wear resistance in a wide application field.
YBG202	P10–P30 M10–M25		PVD coated P10–P30/M10–M25 carbide substrate for finishing to medium application of stainless steel and steel (milling). Good wear resistance in a wide application field.
YB9320	P10–P30 M20–M40		PVD multilayer coated P10–P30/M20–M40 carbide substrate for finishing to medium application of stainless steel, super alloy and steel (grooving/milling). Optimized coating stability for higher wear resistance and thermal stability in a wide application field.
YBG205	P10–P30 M20–M40 S15–S25		PVD multilayer coated P10–P30/M20–M40/S15–S25 carbide substrate for finishing to medium application of stainless steel, super alloy and steel (milling). Good wear resistance and thermal stability in a wide application field.
YBG302	P15–P30 M25–M40		PVD coated P15–P30/M25–M40 carbide substrate for medium roughing application of stainless steel and steel (milling). Good wear resistance and toughness.
YBG152	K20–K35	–	PVD coated K20–K35 carbide substrate for medium roughing application of cast iron. Good wear resistance and toughness.
YBG252	P10–P20 M10–M20 K10–K20	–	PVD coated P10–P20/M10–M20/K10–K20 carbide grade for finishing to medium operation of steel, stainless steel and cast iron. Good wear resistance and toughness for a wide application field.

A

Turning

B

Milling

C

Drilling

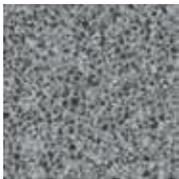
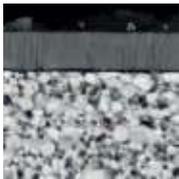
D

Technical Information

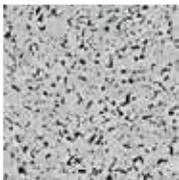
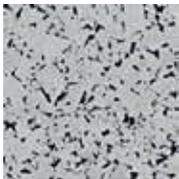
E

Index

Cermet

Grade	ISO	Micro structure	Grade description
YNG151	P05–P15		Uncoated P05–P15 cermet grade for fine finishing operation of steel and stainless steel. Good resistance against plastic deformation for good surface finishing.
YNG151C	P05–P15		PVD coated P05–P15 cermet grade for fine finishing operation of steel and stainless steel. Good wear resistance and capability against plastic deformation for good surface roughness.

Uncoated cemented carbide

Grade	ISO	Micro structure	Grade description
YC30S	P25–P40 M25–M40		Uncoated P25–P40/M25–M40 carbide substrate for roughing operation of steel and stainless steel.
YD101	K05–K20 N05–N20		Uncoated K05–K20/N05–N20 carbide substrate for fine to medium application in aluminum and other material.
YD201	K10–K30 N10–N30		Uncoated K10–K30/N10–N30 carbide substrate for medium application in aluminum and other material.

A

Turning

B

Milling

C

Drilling

DTechnical
Information**E**

Index

Application fields of grades – Indexable milling

	ISO	HC ¹ (CVD)	HC ¹ (PVD)	HT	HC ²	HW	PCBN/PCD
P	P01		YBG102		YNG151C		
	P10		YBG202	YNG151			
	P20	YBC301	YBG205				
	P30	YBC302	YBG252				
	P40	YBC401	YBG302			YC305	
		YBM351	YB9320				
		YBM253					
M	M01		YBG102		YNG151C		
	M10	YBM251	YBG202	YNG151			
	M20	YBM253	YBG205				
	M30	YBM351	YBG252				
	M40	YBC401	YBG302			YC305	
		YB9320					
K	K01		YBG102				
	K10	YBD152	YBG152				
	K20	YBD252	YBG202				YD201
	K30		YBG252				
	K40						
N	N01					YD051	
	N10		YBG101			YD101	
	N20		YBG202			YD201	
	N30						
S	S01		YBG102				
	S10		YBG202				
	S20		YBG205				
	S30						
H	H01		YBG102				
	H10						
	H20						
	H30						

P	Steel
M	Stainless steel
K	Cast iron

N	Non-ferrous metals
S	Heat-resistant alloys
H	Hardened materials

HC ¹	Coated carbide
HT	Uncoated cermet
HC ²	Coated cermet
HW	Uncoated carbide

Insert shape	
A	C
H	L
M	O
P	R
S	T
W	X Special
Z	Special

6

Clearance angle	
B	C
D	E
F	N
P	

7

Cutting edge length l [mm]	
Insert shape	
A	C, M
H, O, P	L
R	S
T	W

8

No. of teeth

9

Cutting direction	
Code	Description
L	Left

10

With inner cooling

11



Tools with B coupling and inner coolant supply require the following spare parts:



Coolant clamp screw



Coolant shower plate



Spare parts (B coupling with inner coolant supply)

		B27	B32	B40	B40
	∅	80	100	125	160
	Coolant clamp screw	LDB27C	LDB32C	LDB40C	LDB40C
	Coolant shower plate	B27-002-CP	B32-002-CP	B40-002-CP	B40-003-CP

When purchasing tools with inner coolant supply and B coupling these spare parts are included in delivery.

A

Turning

B

Milling

C

Drilling

D

Technical Information

E

Index

S P K N 12 04 ED T21K R – DM

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Insert shape	
A	C
H	L
M	O
P	R
S	T
W	X Special
Z Special	

1

Clearance angle	
B	C
D	E
F	N
P	

2

Tolerance class			
Code	I.C [mm]	m [mm]	S [mm]
A	±0.025	±0.005	±0.025
C	±0.025	±0.013	±0.025
E	±0.025	±0.025	±0.025
F	±0.013	±0.005	±0.025
G	±0.025	±0.025	±0.130
H	±0.013	±0.013	±0.025
J	±0.05 – 0.13	±0.005	±0.025
K	±0.05 – 0.13	±0.013	±0.025
L	±0.05 – 0.13	±0.025	±0.025
M	±0.05 – 0.13	±0.08 – 0.18	±0.130
N	±0.05 – 0.13	±0.08 – 0.18	±0.025
U	±0.08 – 0.25	±0.13 – 0.38	±0.130

3

Fastening features (metric)	
Insert shape	
A	B
C	F
G	H
J	M
N	Q
R	T
U	W
X Special	

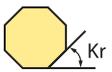
4

Cutting edge length l [mm]	
Insert shape	
A	C, M
H, O, P	L
R	S
T	W

5

Insert thickness S [mm]			
Code	S	Code	S
00	0.79	05	5.56
T0	0.99	T5	5.95
01	1.59	06	6.35
T1	1.98	T6	6.75
02	2.38	07	7.94
T2	2.58	09	9.52
03	3.18	T9	9.72
T3	3.97	11	11.11
04	4.76	12	12.70
T4	4.96		

6

Angle			
			
Code	Kr	Code	alpha_n
A	45°	A	3°
D	60°	B	5°
E	75°	C	7°
F	85°	D	15°
P	90°	E	20°
Z	Special	F	25°
		G	30°
		N	0°
		P	11°
		Z	Special

7

Chamfer							
Code	Type	Code	Angle	Code	Width [mm]	Code	Position
F		0	5°	0	0.10	K	
E		1	10°	1	0.15		
T		2	15°	2	0.20		
S		3	20°	3	0.25		
		4	25°	4	0.30		
		5	30°	5	0.35		
				6	0.40	W	
				7	0.45		
						-	

8

Cutting direction	
Code	Description
R	Right
L	Left
N	Right and left

9

Chip breaker overview
(on page B16)

10

A

Turning

B

Milling

C

Drilling

D

Technical Information

E

Index

SM P 03 – 160 × 16 – K 40 – M P 12 – 12 L

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

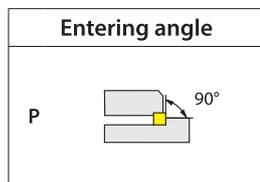
11

12

A

Turning

Type	
Code	Description
SM	Slot milling cutter



Serial no.

Nominal diameter [mm]

Cutting width [mm]

1

2

3

4

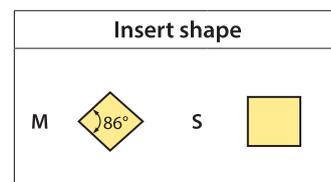
5

B

Milling

Tool holder type			
Code	Description	Code	Description
A	A type	B	B type
C	C type	D	D type
K	With feather key		

Diameter of mounting hole [mm]



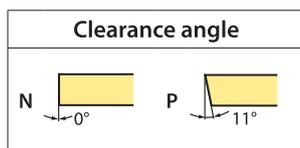
6

7

8

C

Drilling



Insert size [mm]

No. of teeth

Cutting direction	
Code	Description
R	Right
L	Left

9

10

11

12

D

Technical Information

E

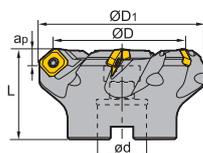
Index

Face milling

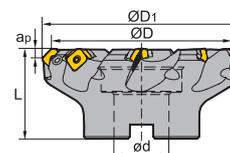
FMA01 Kr: 45°



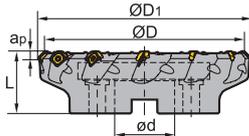
Fine pitch



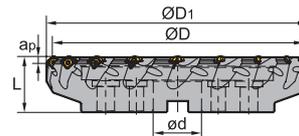
A



B



C



D

Article	*	Stock		Dimensions [mm]					Teeth	Coupling	kg	Inserts	
		R	L	ØD	ØD ₁	ød	L	a _{p max}					
FMA01-050-A22-SE12-04		●	○	50	61	22	40	6	4	A	0.3	SEET12T3	
FMA01-050-A22-SE12-04C	*	●	○	50	61	22	40	6	4	A	0.3		
FMA01-063-A22-SE12-05		●	○	63	74	22	40	6	5	A	0.5		
FMA01-063-A22-SE12-05C	*	●	○	63	74	22	40	6	6	A	1.2		
FMA01-080-A27-SE12-06		●	●	80	91	27	50	6	6	A	1.2		
FMA01-080-A27-SE12-06C	*	●	●	80	91	27	50	6	6	A	1.2		
FMA01-100-B32-SE12-07		●	●	100	107	32	50	6	7	B	1.2		
FMA01-100-B32-SE12-07C	*	●	○	100	107	32	50	6	7	B	1.2		
FMA01-125-B40-SE12-08		●	●	125	136	40	63	6	8	B	2.6		
FMA01-125-B40-SE12-08C	*	●	○	125	136	40	63	6	8	B	2.6		
FMA01-160-B40-SE12-10		●	●	160	170	40	63	6	10	B	4.3		
FMA01-160-B40-SE12-10C	*	○	○	160	170	40	63	6	10	B	4.3		
FMA01-200-C60-SE12-12		●	○	200	210	60	63	6	12	C	7.6		
FMA01-250-C60-SE12-14		●	○	250	260	60	63	6	14	C	13.5		
FMA01-315-D60-SE12-18		●	○	315	325	60	70	6	18	D	20.8		
FMA01-100-B32-SE18-04		○	○	100	120	32	63	10	4	B	1.2		SEET18T6
FMA01-125-B40-SE18-05		○	○	125	145	40	63	10	5	B	2.6		
FMA01-160-C40-SE18-06		○	○	160	180	40	63	10	6	C	4.3		
FMA01-200-C60-SE18-08		●	○	200	220	60	63	10	8	C	7.6		
FMA01-250-C60-SE18-10		●	○	250	270	60	63	10	10	C	13.5		
FMA01-315-D60-SE18-12		○	○	315	335	60	80	10	12	D	20.8		

● Ex stock ○ On demand

* With internal cooling

System code > B22

Grade selection > B20

Technical info > B447

Cutting data > B216



A

Turning

B

Milling

C

Drilling

D

Technical Information

E

Index

Spare parts				
Insert	SEET12T3	SEET12T3	SEET18T6	
ØD	50-100	125 - 315	100- 315	
	Screw (insert)	I60M3.5*10	I60M3.5*12	I60M5*17
	Screw (shim)		SM5*7XA	SM8*9XA
	Shim		S13BS	S18BS
	Wrench (insert)	WT15IS	WT15IS	
	Wrench (insert)			WT20IT
	Wrench (shim)		WH35L	WH50L



Milling inserts

- Ideal machining conditions
- Normal machining conditions
- Unfavourable machining conditions

SEET	L	I.C	S	d
12 T3	13.4	13.4	3.97	4.1
18 T6	18	18	6.1	5.5

SE** milling insert			HC ¹ (CVD)						HC ¹ (PVD)				HT	HC ²	HW									
		P																						
		M																						
		K																						
		N																						
		S																						
		H																						
ISO		bs	YBC302	YBC301	YBC401	YBM253	YBM251	YBM351	YBD152	YBD252	YBG101	YBG102	YBG320	YBG205	YBG202	YBG212	YBG302	YBG152	YBG252	YNG151	YNG151C	YD101	YD201	
	SEET12T3-CF	2.55							●		●													
	SEET12T3-CM	2.55							●		●													
	SEET12T3-CR	2.55							●	●	○		○											
	SEET12T3-DF	2.55	●	●		●	●						●	●				○			○			
	SEET12T3-DM	2.55	●	●	●	●	●	●				●		●	●									
	SEET18T6-DM	2.29	●			●																		
	SEET12T3-DR	2.55	●	●			●	●					○	○										

● Ex stock ○ On demand

HC¹ Coated carbide
 HT Uncoated cermet
 HC² Coated cermet
 HW Uncoated carbide

System code > B22

Grade selection > B20

Technical info > B447

Cutting data > B216

Milling inserts

- Ideal machining conditions
- Normal machining conditions
- Unfavourable machining conditions

SEET	L	I.C	S	d
12 T3	13.4	13.4	3.97	4.1
18 T6	18	18	6.1	5.5

SE** milling insert			HC ¹ (CVD)						HC ¹ (PVD)						HT	HC ²	HW						
		P																					
		M																					
		K																					
		N																					
		S																					
		H																					
ISO		bs	YBC302	YBC301	YBC401	YBM253	YBM251	YBM351	YBD152	YBD252	YBG101	YBG102	YB9320	YBG205	YBG202	YBG302	YBG152	YBG252	YNG151	YNG151C	YD101	YD201	
	SEET12T3-EF	2.55													●	●							
	SEET12T3-EM	2.55				●	●								●	●							
	SEET12T3-LH	2.55										●										●	●

● Ex stock ○ On demand

HC¹ Coated carbide
 HT Uncoated cermet
 HC² Coated cermet
 HW Uncoated carbide

Milling inserts

- Ideal machining conditions
- Normal machining conditions
- Unfavourable machining conditions

SEET	L	I.C	S	d
12 T3	17.82	13.4	3.97	4.1

SE** milling insert			HC ¹ (CVD)						HC ¹ (PVD)						HT	HC ²	HW						
		P																					
		M																					
		K																					
		N																					
		S																					
		H																					
ISO		R	bs	YBC302	YBC301	YBC401	YBM253	YBM251	YBM351	YBD152	YBD252	YBG101	YBG102	YB9320	YBG205	YBG202	YBG302	YBG152	YBG252	YNG151	YNG151C	YD101	YD201
	SEET12T3-W	500	9.46					○	○						●						○		

● Ex stock ○ On demand

HC¹ Coated carbide
 HT Uncoated cermet
 HC² Coated cermet
 HW Uncoated carbide

Coated Cemented Carbide **PVD** Beschichtetes Hartmetall

B

Milling Tools
Fräser

Grade Sorte	Coating Beschichtung	ISO	Application Anwendung
YBG102	PVD nano-TiAlN coated fine grain hard carbide grade. Nano-TiAlN PVD-beschichtete, feinkörnige Hartmetallsorte.	K05~K20	For light milling of cast iron, hard steel. Zum Schlichtfräsen von Guss und gehärtetem Stahl.
YBG202	PVD nano-TiAlN coated fine grain hard carbide grade. Good performance in combination of toughness and wear resistance. Nano-TiAlN PVD-beschichtete, feinkörnige Hartmetallsorte. Hervorragende Kombination von Zähigkeit und Verschleißfestigkeit.	P10~30	Milling of steel, finishing and semi-finishing of stainless steel, and high-temperature alloys . Zum Fräsen von Stahl, rostfreiem Stahl und warmfesten Superlegierungen bei leichter und mittlerer Bearbeitung.
		M10~30	
		S05~20	
YBG320	New coating technology with increased adhesion between coating and substrate and an excellent combination of toughness and hardness. The new grade also has a high temperature resistance. Neue Beschichtungstechnologie mit optimaler Schichthftung und einer guten Kombination aus Zähigkeit und Härte. Die neue Sorte hat auch eine hohe Temperaturbeständigkeit.	P10~30	Suitable for a wide application range in stainless steel and also heat resistance material. Für ein breites Anwendungsspektrum in rostfreien und warmfesten Materialien.
		M10~30	
		S05~20	
YBG205	PVD multilay coated special nano-TiAlxN fine grain hard carbide grade. Good performance in combination of toughness and wear resistance. PVD mehrlagig beschichtete spezielle Nano-TiAlxN, feinkörnige Hartmetallsorte. Hervorragende Kombination von Zähigkeit und Verschleißfestigkeit.	P10~30	Milling of steel, finishing and semi-finishing of stainless steel. Zum Fräsen von Stahl, rostfreiem Stahl bei leichter und mittlere Bearbeitung
		M10~30	
		S05~20	
YBG302	Substrate with reasonable hardness and strength + Nano-TiAlN PVD coating Substrate mit guter Härte und Festigkeit + Nano-TiAlN PVD Beschichtung.	P25~P40	For rough and semi-finish milling of steel and stainless steel. Anwendung für mittlere und Schruppbearbeitung von Stahl, und rostfreiem Stahl.
		M25~40	
YBG152	Substrate with medium hardness and strength + Nano-TiAlN PVD coating Substrate mit mittlerer Härte und Festigkeit + Nano-TiAlN PVD Beschichtung	K 20~35	Applicable for rough and semi-finish milling of cast iron. Anwendung für Schrupp- und mittlere Bearbeitung. von Guss.
YBG252	Ultra fine carbide substrate plus nano-TiAlN PVD coating with high strength, toughness and wear resistance. Ultra-Feinkorn-Hartmetall plus Nano-TiAlN PVD-Beschichtung mit guter Zähigkeit und Verschleißfestigkeit.	P05~20	Special for finishing of alloy steel, stainless steel and cast iron. Speziell zum Schlichten von legiertem Stahl, rostfreiem Stahl und Guss.
		M05~20	
		K05~K20	

Chipbreaker Selection for FMA01 · Spanbrecher Auswahl für FMA01

Application Anwendung		Finishing Schlichten	Semi-Finishing Mittlere Bearbeitung	Roughing Schruppen
P		-DF	-DM	-DR
M	S	-EF	-EM	
K		-CF	-CM	-CR
N		-LH		

Recommended cutting data · Empfohlene Schnittdaten

Workpiece material Werkstückstoff	Hardness HB Härte	Grade Sorte	Cutting data Schnittdaten				
			V (m/min)	f (mm/z)			
				-DF	-DM	-DR	
P	Low-carbon steel Soft steel Niedrig legierter Kohlenstoffstahl Baustahl	YBM251 YBC301	270(220-350)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBG202 YBG205	270(200-360)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBG302	230(180-350)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBM351 YBC401	220(170-300)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
	High-carbon steel Alloy steel Hoch Leg. Kohlenstoffstahl	YBM251 YBC301	240 (200-320)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBG202 YBG205	240 (180-350)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBG302	220 (150-330)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBM351 YBC401	200 (150-280)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
	Alloy tool steel Leg. Werkzeugstahl	YBM251 YBC301 YBD252	220 (180-300)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBG202 YB9320 YBG205	220 (170-340)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBG302	190 (130-300)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBM351 YBC401	180 (150-250)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
M	Stainless steel Rostfreier Stahl	YBM251	150 (120-240)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)		
		YBG202 YB9320 YBG205	160 (110-270)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)		
		YBG302	140 (100-250)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)		
		YBM351 YBC401	140 (100-220)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)		
K	Cast iron Gusseisen	YBG102	210 (120-300)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
		YBD152	240 (180-300)	0.15(0.1-0.2)	0.2 (0.1-0.3)	0.3(0.2-0.4)	
N	Al alloy NE-Metalle	YD101	300-	-LH 0.25 (0.1-0.4)			
		YD201	300-				
S	High temperature alloy Hoch warmfeste Leg.	YBG202	40(20-50)	-EF	-EM		
				0.1 (0.1-0.2)	0.15 (0.1-0.3)		

ANEXO B



BARRA INOXIDABLE

BARRA INOXIDABLE

INFORMACIÓN GENERAL

Aceros con L: 304-L y 316-L tienen ventajas sobre los aceros Inoxidables 304 y 316, en cuanto a su mejor soldabilidad. Al tener menor contenido de carbono, disminuye su capacidad de precipitación de carburos al ser soldados, debido a que las zonas afectadas por el calor tienen mejor resistencia a la corrosión que los aceros convencionales 304 y 316. Esto es importante, cuando el medio corrosivo es crítico, como en el caso de alimentos y ácidos.

COMPOSICIÓN QUÍMICA %

AISI	C	Si	Mn	P Max	S	Cr	Ni	Mo
304	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.015	18.0-20.0	8.0-10.5	--
316 L	≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.015	16.0-18.0	10.0-14.0	2.0-3.0
430	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.015	16.0-18.0	--	--

EQUIVALENCIAS Y PROPIEDADES

AISI	Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	Resistencia a la cedencia (kg/mm ²)	Elongación %	Dureza HB (max)	W.Nr	AF NOR	Designación europea	SS
304	54-75	23	40-50	190	1.4301	Z7C N18-09	X5CrNi18-10	2332
316 L	53-68	24	40-50	200	1.4404	Z3CND17-11-02	X2CrNiMo17-12-2	2343
430	45-60	26	20	180	1.4016	Z8Cr17	X6Cr17	2320

Aceros con L: 304-L y 316-L tienen ventajas sobre los aceros Inoxidables 304 y 316, en cuanto a su mejor soldabilidad. Al tener los aceros con L menor contenido de carbono, disminuye su capacidad de precipitación de carburos al ser soldados, por lo que las zonas afectadas por el calor tienen mejor resistencia a la corrosión que los aceros convencionales 304 y 316. Esto es sumamente importante, cuando el medio corrosivo es crítico, como en el caso de alimentos y ácidos.

BARRAS DE ACERO INOXIDABLE

BARRAS TREFILADAS, TORNEADAS O PULIDAS. TOLERANCIA H9-H11

MEDIDAS EN STOCK

BARRAS 304

REDONDO

Diámetro (pulg)	Peso (Kg/m)	Diámetro (pulg)	Peso (Kg/m)
3/16	0,1	2	15,9
1/4	0,2	2 1/4	20,1
5/16	0,4	2 1/2	24,9
3/8	0,6	2 3/4	30,1
1/2	1,0	3	35,1
5/8	1,6	3 1/2	46,7
3/4	2,2	4	63,6
7/8	3,0	4 1/2	80,5
1	4,0	5	99,4
1 1/8	5,0	5 1/2	120,3
1 1/4	6,2	6	143,2
1 1/2	8,9		
1 3/4	12,2		

BARRAS 316 L

REDONDO

SKU	Peso
2 1/2	24,9
2	15,9
3 1/2	46,7
3	35,8
4	63,6



ANEXO C



Safety Data Sheet - Coolube® 2210XP

Version 1.1 | Date: 12/19/22

SECTION 1: IDENTIFICATION OF THE SUBSTANCE/MIXTURE AND THE COMPANY/UNDERTAKING

1.1 Product Identifier

Product Name: Coolube® 2210XP
Other Identifier: Mixed Esters
Recommended Use: Metal Working Lubricant

1.2 Relevant Identified Uses of the Substance or Mixture and Uses Advised Against

Identified Uses: Environmentally friendly lubricant
Uses Advised Against: None known

1.3 Details of the Supplier of the Safety Data Sheet

Company Name: UNIST, Inc.
Address: 4134 36th Street SE
Grand Rapids, MI 49512
Telephone Number: (800) 253.5462 alternatively (616) 949.0853
Fax Number: (616) 949.9503
Email Address: salessupport@unist.com

1.4 Emergency Telephone Number

Emergency Number: (800) 253.5462
Hours of Operation: Monday thru Friday, 8:30 am - 5:00 pm

SECTION 2: HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the Substance or Mixture

US Hazard Classification (29CFR 1910.1200-2012): This product is not classified as hazardous in accordance with the OSHA Hazard Communication Standard.

GHS/EU CLP Classification (No 1272/2008): Not classified as a hazardous substance.

GHS Classification:

Physical Hazard: Not classified as hazardous substance.
Health Hazard: Not classified as hazardous substance.
Environmental Hazard: Not classified as hazardous substance.

2.2 Label Elements**No Labeling Required****GHS Label Element**

Hazard Symbol:	Not classified as hazardous substance.
Signal Word:	Not classified as hazardous substance.
Hazard Statement:	Not classified as hazardous substance.
Precautionary Statement:	Not classified as hazardous substance.

2.3 Other Hazards

PBT: This product is not identified as a PBT substance or mixture.

SECTION 3: COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS**3.1 Substance**

Chemical Name	CAS Number	Wt., %
Mixed Esters/Ester Blend	Proprietary	>90%
Registered Sulfurized Olefin	Proprietary	<5%
Methyl Ester	67784-80-9	<2%
Diisotridecyl Adipate	36401-35-4	<2%

No ingredients are hazardous according to OSHA criteria. No components need to be disclosed according to the applicable regulations.

See Section 16 for further information on EU and GHS Classification.

SECTION 4: FIRST AID MEASURES**4.1 Description of First Aid Measures**

Eye Contact:	Flush with generous amounts of temperate water for a minimum of 30 minutes. Seek medical attention if irritation occurs.
Skin Contact:	Wash with soap and water. Seek medical attention if irritation occurs.
Ingestion:	Drink moderate amounts of water or milk. Do not induce vomiting. Contact medical professional if any adverse reactions are noticed.
Inhalation:	Remove to fresh air. Get medical attention if irritation persists.

4.2 Most Important Symptoms/Effects, Both Acute and Delayed:

Eye Contact:	There may be irritation and redness.
Skin Contact:	There may be mild irritation at the site of contact.
Ingestion:	There may be soreness and redness of the mouth and throat.
Inhalation:	There may be irritation of the throat with a feeling of tightness in the chest.

4.3 Indication of Immediate Medical Attention and Special Treatment Needed:

Immediate/Special Treatment: Not applicable. Immediate treatment is not required.

SECTION 5: FIRE-FIGHTING MEASURES**5.1 Extinguishing Media:**

Use water fog/spray, dry chemical powder, carbon dioxide, foam, sand/earth, use water spray to cool containers.

5.2 Special Hazards Arising from the Substance or Mixture

Unusual Fire and Explosion Hazards: Not considered flammable but will burn under fire conditions.
In combustion emits toxic fumes of carbon dioxide/carbon monoxide.

5.3 Special Protective Actions for Fire-Fighters:

Special Fire Fighting Procedures: Treat as an oil or fat fire. Do not use heavy stream of water. Burning material may float or splatter surrounding area and spread fire. Cool fire exposed containers with water.

Fire Fighting Equipment: As in any fire, wear positive pressure, self-contained breathing apparatus and full protective gear.

SECTION 6: ACCIDENTAL RELEASE MEASURES**6.1 Personal Precautions, Protective Equipment and Emergency Procedures**

Personal Precautions: Refer to section 8 of SDS for personal protection details.
Turn leaking containers leak-side up to prevent escape of liquid.

6.2 Environmental Precautions

Environmental Precautions: Do not discharge into drains or rivers. Contain the spillage using bunding. Report spills and releases as required to appropriate authorities.

6.3 Methods and Material for Containment and Cleaning Up

Small Spills: Stop spill at source, dike area of spill to prevent spreading. Absorb liquid with an absorbent material and place in a disposal container. Wash area with hot soapy water. Use caution. Spill area will be slippery.

Large Spills: Stop spill at source, dike area of spill to prevent spreading. Pump liquid to salvage tank. Absorb remaining liquid with an absorbent material and place in a disposal container. Wash floors with hot soapy water to prevent slipping. Use caution. Spill area will be slippery.

SECTION 7: HANDLING AND STORAGE**7.1 Precautions for Safe Handling**

Handling Requirements: Use with adequate ventilation. Avoid contact with eyes. Wear recommended personal protective equipment. Wash thoroughly after handling. Keep product away from heat, sparks and flames. Keep containers closed when not in use. Never use pressure to empty drums. If material is hot, take precautions against thermal burns.

7.2 Conditions for Safe Storage, Including any Incompatibilities

Suitable Packaging: Corrosion resistant bulk tanks, IBC, steel drums. Store in a dry area away from heat or sparks and direct sunlight. Maintain good ventilation in storage area.

Storage Conditions: Storage temperature +41°F (+5°C) to +104°F (+40°C). Store in closed container, preferably as delivered. Keep containers closed when not in use. Storage stability is at least 12 months. Lined or unlined steel drums are suitable for storage.

SECTION 8: EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

8.1 Control Parameters:

Chemical Name	Exposure Limits
Ester Blend	None Established

DNEL/PNEC: No data available

8.2 Appropriate Engineering Controls

Engineering Measures: Exposure should be minimized preferably with technical measures rather than personal protective equipment. Ensure there is sufficient ventilation of the area.

8.3 Individual Protection Measures

Respiratory Protection: Not necessary in normal use. Emergency situation where there is a risk of mist or fume exposure may require that respiratory protection be used. Gas/vapor filter, Type A: organic vapors (EN141). Follow applicable regulations and good Industrial Hygiene practice.

Hand/Skin Protection: Impermeable gloves recommended. (e.g. Neoprene, PVC, or rubber gloves). Use lined, thermally protective gloves for handling hot material.

Eye Protection: Chemical safety goggles recommended if needed to avoid eye contact.

Protective Clothing: Wear a work uniform or tyvek suit if needed to avoid contamination of personal clothing. Wear thermally protective clothing when working with hot material.

Work Hygienic Practices: Remove contaminated clothing and launder or dispose in an approved waste disposal facility. Wash hands with soap and water after handling product or clothing containing residual.

SECTION 9: PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1 Information on Basic Physical and Chemical Properties

Physical State:	Low viscosity liquid
Viscosity, 104°F (40°C)	Viscous
Appearance:	Yellow
Odor:	Characteristic
pH Value:	Not determined/not applicable
Flash Point:	(Open Cup): >400°F (COC), >200°C
Freeze Point:	<23°F (<-5°C)
Boiling Point	>392°F (>200°C)
Autoflammability	>752°F (>400°C)
Autoignition Temperature:	Not determined
Exposure Range:	Not applicable
Vapor Pressure:	<1 mmHg @ 77°F (25°C)
Vapor Density:	Greater than 1
Specific Gravity:	0.93 @ 77°F (25°C)
Melting Point:	Not determined
Solubility in Water:	Insoluble
Also Solvent in:	Soluble in most organic solvents
Evaporation Rate:	Nil
Percent Volatile:	Not determined
Partition Coefficient, N-octanol/Water:	Not determined
Explosive Properties:	None
Flammable Limits: LEL:	Not determined
Flammable Limits: UEL:	Not determined
Flammability (Solid/Gas):	Not applicable
Decomposition Temperature:	Not determined
Oxidizing Properties:	None

SECTION 10: STABILITY AND REACTIVITY

10.1 Reactivity:	Not reactive. Stable under recommended transport or storage conditions.
10.2 Chemical Stability:	Stable under normal conditions.
10.3 Possibility of Hazardous Reactions:	Hazardous reactions will not occur under normal transport and storage conditions. Reaction with strong oxidizers may generate heat and cause fires.
10.4 Conditions to Avoid:	Keep away from heat, sparks, flames and other sources of ignition. Avoid contact with acids.
10.5 Incompatible Materials	
Materials to Avoid:	Strong oxidizing agents. Strong acids.
10.6 Hazardous Decomposition Products:	
Haz. Decomp. Products:	In combustion, emits toxic fumes of carbon dioxide/carbon monoxide. No carcinogenic products of combustion.

SECTION 11: TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on Toxicological Effects**Toxicity Values:**

Route	Species	Test	Value	Units
ORAL	RAT	LD50	>5000	mg/kg

11.2 Symptoms/Routes of Exposure

Skin Contact:	There may be mild irritation at the site of contact.
Skin Absorption:	No evidence of adverse effects from available information.
Ingestion:	There may be soreness and redness of the mouth and throat. May cause gastrointestinal discomfort if ingested in large quantities.
Inhalation:	Vapors, mists, or aerosols which may be formed at elevated temperatures may be irritating to the eyes and respiratory tract.
Chronic Toxicity:	No adverse effects expected.
Delayed/Immediate Effects:	No data available.
Skin Corrosion/Irritation:	Not expected to be irritating.
Eye Damage/Irritation:	Slightly irritating.
Skin Sensitization:	Not expected to be sensitizing.
Respiratory Sensitization:	No data available.
Mutagenicity:	Not mutagenic.
Carcinogen Status:	No data available. none of the components of this product are listed as carcinogens by OSHA, IARC, NTP, ACGIH or the EU Dangerous Substance Directive.
Toxicity for Reproduction:	No data available. No adverse effects are expected.
STOT - Single Exposure:	No data available.
STOT - Repeated Exposure:	No data available.
Exposure Aspiration Hazard:	No data available.

SECTION 12: ECOLOGICAL INFORMATION

12.1 Toxicity:	No specific data is available. Not expected to be toxic to aquatic organisms.
12.2 Persistence and Degradability:	The product is not readily biodegradable
12.3 Bioaccumulative Potential:	No bioaccumulative potential.
12.4 Mobility in Soil:	The product is insoluble in water.
12.5 Results of the PBT and vPvB assessment	
PBT Identification:	This product is not identified as a PBT substance.
12.6 Other Adverse Effects:	Negligible ecotoxicity.

SECTION 13: DISPOSAL CONSIDERATIONS**13.1 Waste Treatment Methods**

Disposal Operations:	Transfer to a suitable container and arrange for collection by specialized disposal company. Dispose in accordance with all applicable national environmental laws and regulations.
Disposal of Packaging:	Arrange for collection by specialized disposal company.
NB:	The user's attention is drawn to the possible existence of regional or national regulations regarding disposal.
General Comments:	It is the responsibility of the user of this product to characterize wastes generated to determine if the waste meets the definition of hazardous waste. Do not dispose of by means of sinks, drains, or in the immediate environment. Obtain consent of pollution control authorities before discharging to wastewater treatment plants.
EWC Waste Code:	EWC: 130208 other engine, gear and lubricating oils.

SECTION 14: TRANSPORTATION INFORMATION**14.1 Land Transport (DOT/ADR/RID)**

UN Number:	Not classified as dangerous goods under transport regulation.
UN Proper Shipping Name:	Not applicable.
Transport Hazard Class:	Not hazardous.
Packing Group:	Not applicable.

14.2 Sea Transport (IMDG Code)

UN Number:	Not classified as dangerous goods under transport regulation.
UN Proper Shipping Name:	Not applicable.
Transport Hazard Class:	Not hazardous.
Packing Group:	Not applicable.

14.3 Air Transport (IATA)

UN Number:	Not classified as dangerous goods under transport regulation.
UN Proper Shipping Name:	Not applicable.
Transport Hazard Class:	Not hazardous.
Packing Group:	Not applicable.

14.4 Inland Waterways Transport (IATA)

UN Number:	Not classified as dangerous goods under transport regulation.
UN Proper Shipping Name:	Not applicable.
Transport Hazard Class:	Not hazardous.
Packing Group:	Not applicable.

14.5 Transport in Bulk (Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code)

Product Name:	Not applicable.
Ship Type:	Not applicable.
Pollution Category:	Not applicable.

14.6 Special Precautions for User: None**14.7 Transport in Bulk According to Annex II of MARPOL 73/78 and the IBC Code:** Not applicable.**SECTION 15: REGULATORY INFORMATION****15.1 Safety, Health and Environmental Regulations/Legislation Specific for the Substance or Mixture**

References (Laws/Regulations):	The Aerosol Dispensers (EEC Requirements) (Amendment) Regulations 1996 (S.I 1996 No. 2421). Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC, including amendments. Dangerous Substance Directive 67/548/EEC. EH40/2005, Workplace exposure limits 2005, with amendments. The List of Wastes FLME 1254 Page 4 of 5 (England) (Amendment) Regulations 2005. (SI 2005 No. 895).
---------------------------------------	---

Symbols:	None.
Risk Phrases:	None.
Safety Phrases:	None.

No labeling required according to EU Regulations.

Superfund Amendments and Reauthorization Act of 1986 (SARA) title III requires submission of annual reports of toxic chemicals that appear in 40 CFR 372 (SARA 313). This information must be included in all SDS's that are copied and distributed for this material. Components present in the product at a level which could require reporting under the statute are: None.

California Proposition 65:	This product is not known to contain chemicals regulated under Proposition 65.
-----------------------------------	--

15.2 Chemical Safety Assessment

Chemical Safety Assessment	
Performed:	No
CSR Required:	No

SECTION 16: OTHER INFORMATION

16.1 Other Information:

This safety data sheet is prepared in accordance with Commission Regulation (EU) No. 453/2010.

Coolube® 2210XP is a neat metalworking oil with superior lubricating properties. The product is based on vegetable oils and natural esters and should be used undiluted in, for example, minimal lubrication applicators. This product (or components, if a mixture) has not been found to be a carcinogen or potential carcinogen by IARC; is not listed in the NTP Third Annual Report; nor is it regulated by OSHA as a carcinogen.

Legal Disclaimer:

The information presented herein has been compiled from sources considered by the company, in good faith, to be dependable and is accurate and reliable to the best of our knowledge and belief. However, the company cannot make any warranty or representation respecting the accuracy or completeness of the data and assumes no responsibility for any liability or damages relating thereto or for advising you regarding the protection of your employees, customers, or others. Users should make their own tests to determine the applicability of such information or suitability of any products of specific use.

HMIS Rating:	NFPA Rating:
Health: 0	Health: 0
Flammability: 1	Fire: 1
Physical Hazard: 0	Reactivity: 0

EU Classes and Risk Phrases for Reference (See Sections 2 and 3):
None.

ANEXO D



SOLUBLE D

Soluble D es un producto formulado con básicos minerales altamente refinados, conteniendo aditivos especiales y bactericidas para ser mezclado con agua formando un fluido de corte bioresistente.

APLICACIONES

Soluble D está recomendado para procesos de mecanizado de metales ferrosos y no ferrosos.

Forma una micro-emulsión lechosa cuando es mezclado con agua. Puede ser utilizado en diluciones de 10:1 hasta 50:1 o de acuerdo con la severidad de la operación, características de la pieza y del material.

Puede ser utilizado en sistemas individuales o centralizados.

Soluble D¹ puede ser utilizado en otras aplicaciones cuando es requerido un fluido emulsificante con propiedades lubricantes, de refrigeración y principalmente resistencia al crecimiento bacterial.

BENEFICIOS

El Soluble D proporciona:

- **Elevada resistencia microorgánica** — inhibe el desarrollo de bacterias que causan la decomposición y olores desagradables.
- **Protección contra corrosión** — en función de los inhibidores que protegen las superficies trabajadas.
- **Buena operación de corte** — debido a la calidad del aceite mineral y aditivos utilizados en su formulación.
- **Larga vida útil de las máquinas herramientas** — pues no ataca raspadores, resinas y sellos de los equipos.
- **Sin separación** — la emulsión no se separa en fases aún en condiciones severas de operación.

MANEJO:

Para información detallada sobre seguridad en el manejo, referirse a la hoja de seguridad o contacte con su representante de ventas.

1. producto manufacturado en Argentina, Colombia, Ecuador, Peru y Venezuela

CARACTERISTICAS TÍPICAS:

	Método ASTM	
<i>Código de producto</i>	-	786
<i>Código de hoja de seguridad, MSDS</i>	-	-
Apariencia	Visual	ambar
Color	D-1500	4,0
Densidad @ 15°C	D-4052	0,901
Viscosidad cinemática cSt @ 40°C	D-445	63,0
Agua, %	D-95	1,4
pH	-	9,6

Las características típicas son valores promedio. En la manufactura se pueden encontrar ligeras variaciones las cuales no afectan la calidad del producto, ni el rendimiento.

ANEXO E

CARACTERÍSTICAS

- CAUDAL CONSTANTE INCLUSO AL VARIAR LA PRESIÓN EN LA ENTRADA Y LA SALIDA
- CONTROL ELECTROVÁLVULA INDEPENDIENTE
- LA VÁLVULA DE COMPENSA DE LA PRESIÓN PERMITE MANTENER CONSTANTE EL CAUDAL DE ACEITE AUNQUE VARIE LA PRESIÓN EN LA ENTRADA O SALIDA DEL AIRE
- EN LOS SISTEMAS COAXIALES VA INTEGRADO UN SISTEMA DE ASPIRACIÓN DE ACEITE
- LA VERSIÓN STANDARD SE SUMINISTRA CON MONO-TUBO O TUBO COAXIAL
- CAPACIDAD DEPÓSITO: 1 LT 3LT
- CAUDAL: VARIABLE, 0+2 CC/ MIN
- POSIBILIDAD DE REGULAR EL CAUDAL DEL AIRE Y DEL ACEITE DE CADA ELEMENTO
- REGULACIÓN DEL AIRE Y DEL ACEITE DE CADA ELEMENTO POR SEPARADO

EQUIPO CENTRALIZADO DE LUBRICACIÓN MÍNIMA AIRE – ACEITE DE ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO

EFICIENTE Y COMPLETO

El sistema modular aire aceite MiQueL ha sido proyectado para la lubricación mínima de máquina herramienta en general, máquina para el corte y doblado de chapa, puede ser utilizado en todas las instalaciones que necesitan una lubricación calibrada y con control de todas las funciones.

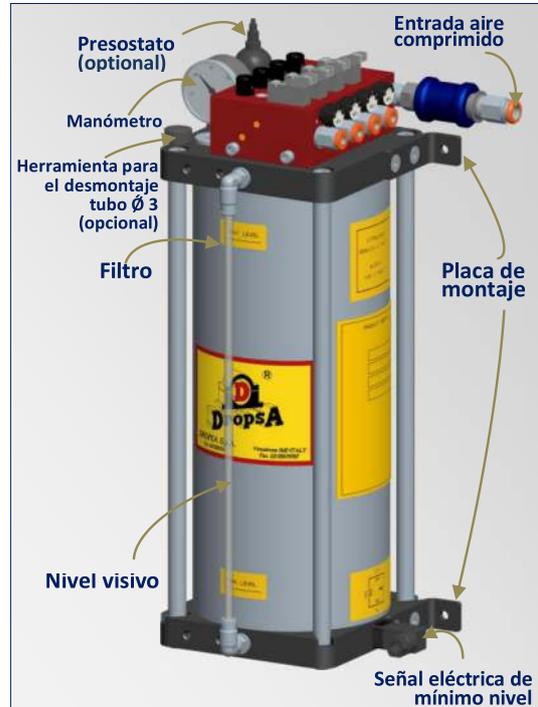
Es posible insertar hasta 8 elementos conectados entre si, que en cualquier momento pueden ser excluidos o activados de forma individual a través de una electro válvula integrada.

FUNCIONAL Y DE FÁCIL USO

Tanto el caudal de aire como de aceite pueden ser controlados de forma individual en cada elemento.

LIMPIO

El sistema esta provisto de un dispositivo que, acabado el ciclo de lubricación, garantiza que no hay goteo del lubricante.



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



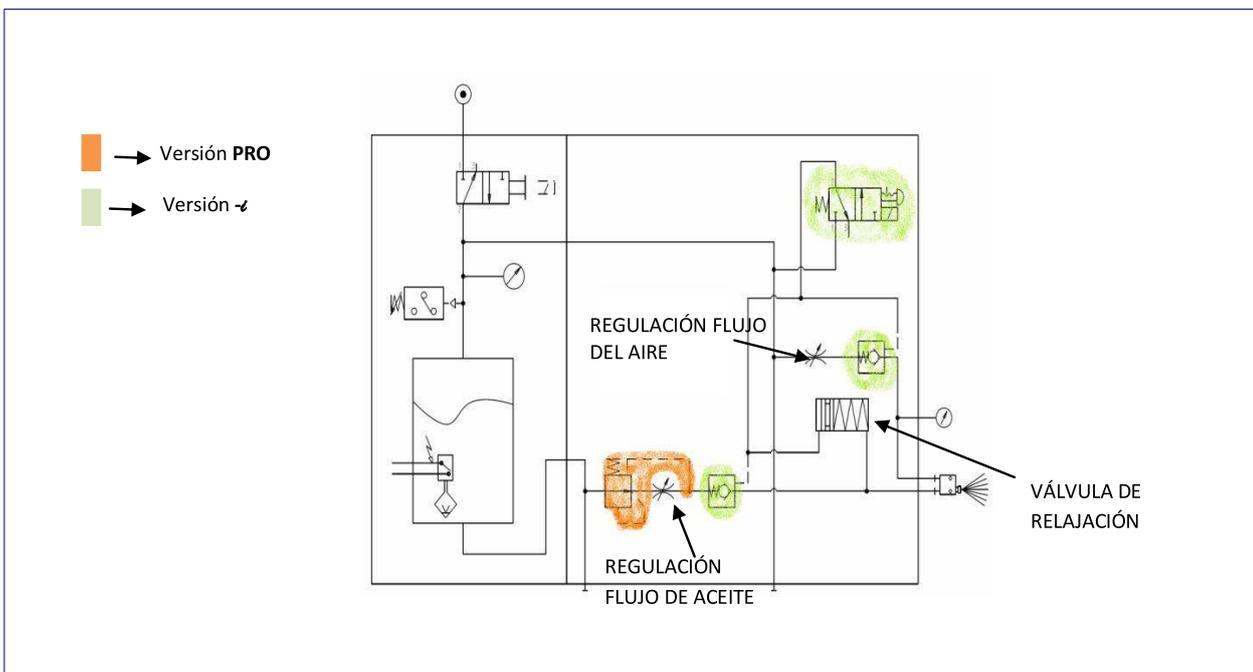
APLICACIONES

- MÁQUINA HERRAMIENTA
- MÁQUINA PARA CORTE Y DOBLADO DE CHAPA
- ACERIAS

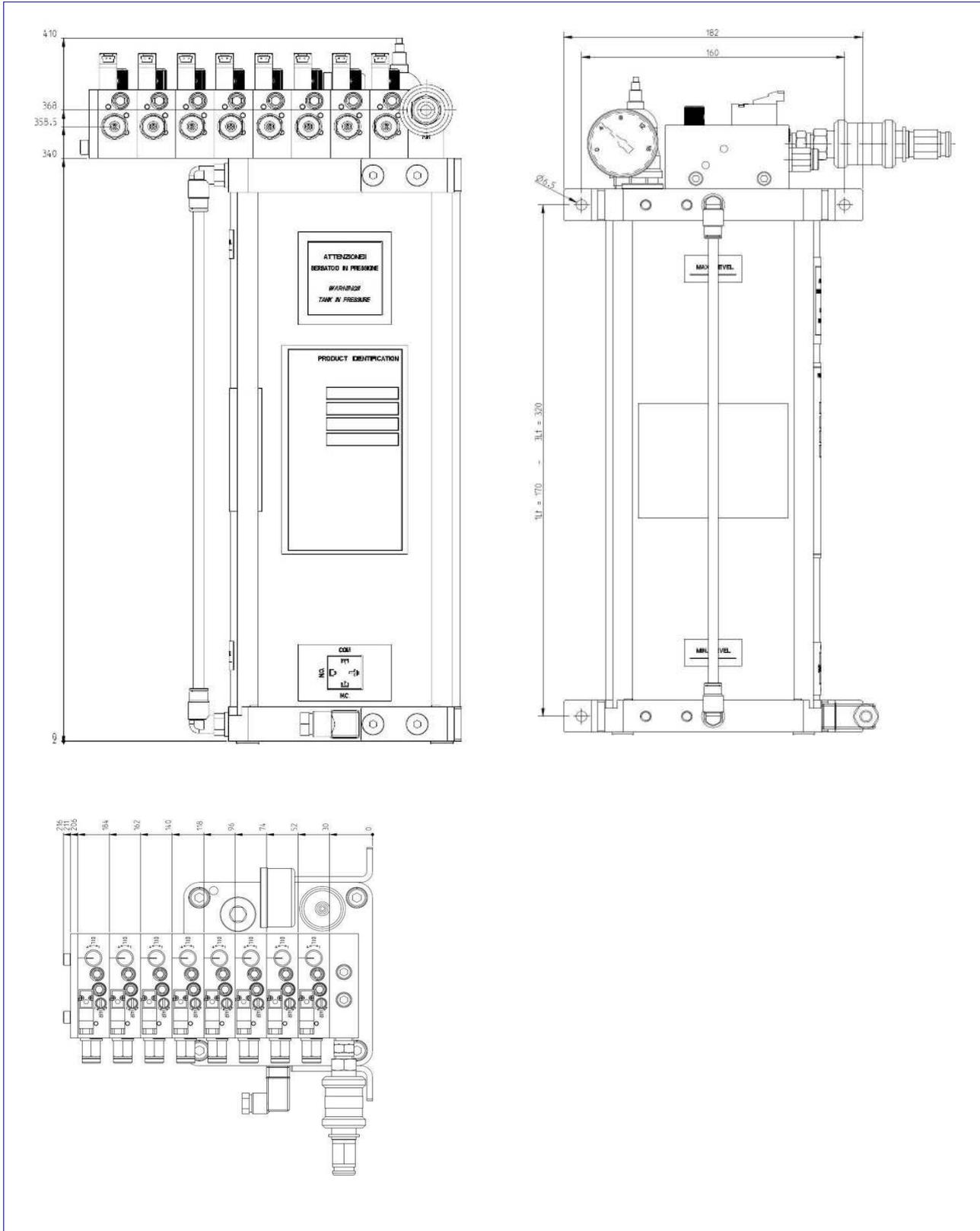
Al variar la presión en la entrada o la salida, el caudal del lubricante se mantiene constante gracias a la válvula de auto compensación, que mantienen constante el Δp entre la presión del aceite en la entrada y la salida. $\Delta p (\text{aceite}) = \text{constante} (\sim 2 \text{ bar}) \Rightarrow Q (\text{aceite}) = \text{constante}$

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Capacidad del depósito	1lt – 3lt	
Número máximo de módulos	8	
Presión entrada de aire	4bar ÷ 7bar	
Consumo máximo aire en la salida	~50NI/min (por módulo)	
Tubo entrada aire	Ø10mm	
Tubo salida aire	Ø6mm	
Tubo salida aceite	Ø3mm	
Caudal de aceite por elemento	PRO	0,1 ÷ 2,7 cc/min (Aceite 10cSt)
		0 ÷ 1 cc/min (Aceite 32cSt)
		0 ÷ 0,2 cc/min (Aceite 100cSt)
	BASE	0,3 ÷ 8 cc/min (Aceite 10cSt)
		0,1 ÷ 3 cc/min (Aceite 32cSt)
		0 ÷ 0,6 cc/min (Aceite 100cSt)
CART	$cc/min = (P \times 8,16) / V$ P= presión de trabajo en bar V= viscosidad a la temperatura de trabajo	
Aceite lubricante	10cSt ÷ 100cSt	
grado de protección del módulo “-j”	Standard	IP 00
	a pedido (especial)	IP 65
grado de protección del depósito	IP 65	
Tarado del presostato (optional)	6 bar	
Carga máxima presostato (optional)	Contacto máxima tensión 250V Máxima potencia 100W	
Carga máxima nivel	0,2A @ 30V	
Alimentación electrobomba	24Vdc- 1,3 W - 0,05 A	
Temperatura de ejercicio	+5°C ÷ +50°C	
Temperatura de almacenamiento	-10°C ÷ +80°C	
Humedad relativa máxima sin condensación	90%	
Nivel acústico	< 70 db (A)	
Peso neto	~5Kg (mod. 1lt) – ~7Kg (mod. 3lt)	

SISTEMA HIDRAULICO



DIMENSIONES (DISEÑO A ESCALA)



INFORMACIÓN PARA PEDIDO L'ORDINE

	Descripción	Modulos	Ref. No Depósito 1 L		Ref. No 3 L depósito		Q.ty
MiQueL PRO	Sistema mínimo modular Aire/Aceite con válvula de compensación sin válvula solenoide para control independiente.	1	3135501	○	3135541	○	
		2	3135502	○	3135542	○	
		3	3135503	○	3135543	○	
		4	3135504	○	3135544	○	
		5	3135505	○	3135545	○	
		6	3135506	○	3135546	○	
		7	3135507	○	3135547	○	
		8	3135508	○	3135548	○	
MiQueL PRO - €	Sistema mínimo modular Aire /Aceite con válvula de compensación con válvula solenoide para control independiente	1	3135511	○	3135551	○	
		2	3135512	○	3135552	○	
		3	3135513	○	3135553	○	
		4	3135514	○	3135554	○	
		5	3135515	○	3135555	○	
		6	3135516	○	3135556	○	
		7	3135517	○	3135557	○	
		8	3135518	○	3135558	○	
MiQueL BASE	Sistema mínimo modular Aire/Aceite sin válvula de compensación sin válvula solenoide para control independiente	1	3135521	○	3135561	○	
		2	3135522	○	3135562	○	
		3	3135523	○	3135563	○	
		4	3135524	○	3135564	○	
		5	3135525	○	3135565	○	
		6	3135526	○	3135566	○	
		7	3135527	○	3135567	○	
		8	3135528	○	3135568	○	
MiQueL BASE - €	Sistema mínimo modular Aire/Aceite sin válvula de compensación con válvula solenoide para control independiente.	1	3135531	○	3135571	○	
		2	3135532	○	3135572	○	
		3	3135533	○	3135573	○	
		4	3135534	○	3135574	○	
		5	3135535	○	3135575	○	
		6	3135536	○	3135576	○	
		7	3135537	○	3135577	○	
		8	3135538	○	3135578	○	
MiQueL CART - €	Sistema mínimo modular Aire/Aceite sin válvula de compensación y sin ajuste aceite con válvula solenoide para control independiente	1	-	○	3135641	○	
		2	-	○	3135642	○	
		3	-	○	3135643	○	
		4	-	○	3135644	○	
		5	-	○	3135645	○	
		6	-	○	3135646	○	
		7	-	○	3135647	○	
		8	-	○	3135648	○	
MiQueL BASE NO-EV	Sistema modular aire/aceite mínimo Sin válvula de compensación con válvula neumático para el control independiente	1	3135441	○	3135451	○	
		2	3135442	○	3135452	○	
		3	3135443	○	3135453	○	
		4	3135444	○	3135454	○	
		5	3135445	○	3135455	○	
		6	3135446	○	3135456	○	
		7	3135447	○	3135457	○	
		8	3135448	○	3135458	○	

ACCESORIOS

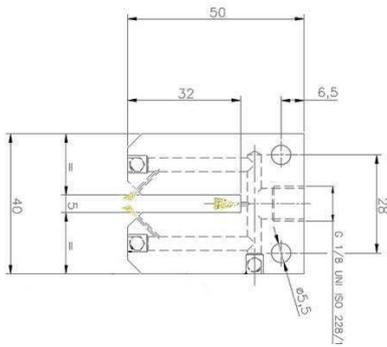
DESCRIPCIÓN	Part No		Q.Ty
MiQueL PRO- ϵ – Elemento modular	1525430	<input type="radio"/>	_____
MiQueL PRO – Elemento modular	1525440	<input type="radio"/>	_____
MiQueL BASE- ϵ – Elemento modular	1525450	<input type="radio"/>	_____
MiQueL BASE – Elemento modular	1525460	<input type="radio"/>	_____
MiQueL BASE- ϵ - IP65 – Elemento modular	1525456	<input type="radio"/>	_____
MiQueL CART- ϵ – Elemento modular	1525688	<input type="radio"/>	_____
MiQueL CART- ϵ - Sin SV – Elemento modular	1525871	<input type="radio"/>	_____
Válvula solenoide (- ϵ)	1525442	<input type="radio"/>	_____
Mínimo nivel eléctrico	1525431	<input type="radio"/>	_____
Conector para mínimo nivel eléctrico	0039841	<input type="radio"/>	_____
Presostato tarado a 6 bar (optional)	3291028	<input type="radio"/>	_____
Manómetro del depósito	0020557	<input type="radio"/>	_____

DESCRIPCIÓN	Part No		Q.Ty
Electroválvula entrada de aire	3133559	<input type="radio"/>	_____
Manómetro para modulo salida aire (- ϵ)	0020694	<input type="radio"/>	_____
Conector para la válvula solenoide (- ϵ) con 600mm cable	1525446	<input type="radio"/>	_____
Conector M8 para válvula solenoide (- ϵ)	1525476	<input type="radio"/>	_____
Tubo $\varnothing 3$ salida aceite	5717232	<input type="radio"/>	_____
Tubo $\varnothing 6$ salida aire	5717301	<input type="radio"/>	_____
Aceite MK 150 20 lt.	3226664	<input type="radio"/>	_____
Aceite MK 100 25 lt.	3226665	<input type="radio"/>	_____
Aceite MK alto rendimiento 29 lt.	3226666	<input type="radio"/>	_____
Aceite MK para INOX 20 lt	3225465	<input type="radio"/>	_____
Cono boquilla coaxial	3133455	<input type="radio"/>	_____
Boquilla coaxial a 65°	3133558	<input type="radio"/>	_____
Boquilla solo para tubo	3133564	<input type="radio"/>	_____
Boquilla a 65° solo para tubo	3133565	<input type="radio"/>	_____
Boquilla lubricación para cuchilla 50mm	1525050	<input type="radio"/>	_____
Boquilla lubricación para cuchilla 70mm	1525051	<input type="radio"/>	_____
Herramienta para quitar tubo $\varnothing 3$	1525475	<input type="radio"/>	_____

UGELLI

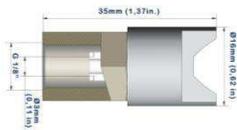
	Part. No	Q.ty
	3132768	<input type="radio"/> _____

BOQUILLAS PARA LUBRICACION DE LAMINAS



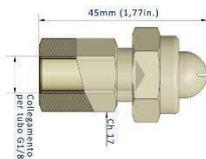
ENTRADA	SALIDA	ESPEJOR LAMINA	CODIGO	Q.ty
1	3	50 mm	1525050	<input type="radio"/>
		70 mm	1525051	<input type="radio"/>

PULVERIZADOR ROSCA CONICA

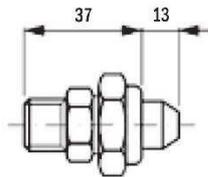


Part. No	Q.ty
3133558	<input type="radio"/>

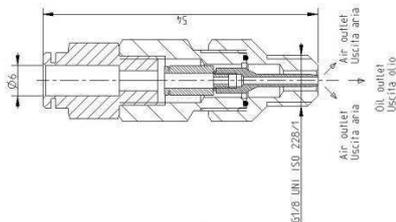
PULVERIZADOR DE LAMINA



Part. No	Q.ty
3133565	<input type="radio"/>



Part. No	Q.ty
3133564	<input type="radio"/>



Part. No	Q.ty
3133455	<input type="radio"/>

Info Distributor:

C2159PS WK 04/16

Los productos Dropsa se pueden comprar a través de las sucursales o distribuidores oficiales, consultar la página web: www.dropsa.com/contact o escribir a: sales@dropsa.com