



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE Y
ACABADO SUPERFICIAL EN EL FRESADO DEL ACERO INOXIDABLE AISI
304 Y ACERO AISI 1018 UTILIZANDO LUBRICACIÓN HÍBRIDA
(NANOFLUIDOS +CO₂)”**

AUTORES: Wilmer Alexander Llumitasig Tubón
Adriel Santiago Ocaña Guzmán

TUTOR: Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez

AMBATO - ECUADOR

Enero – 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En la calidad de tutor, del Trabajo Experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema “**EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE Y ACABADO SUPERFICIAL EN EL FRESADO DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 Y ACERO AISI 1018 UTILIZANDO LUBRICACIÓN HÍBRIDA (NANOFLUIDOS +CO₂)**” elaborado por los señores Wilmer Alexander Llumitasig Tubon portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1850184225 y Adriel Santiago Ocaña Guzmán portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1850897693, estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

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

Ambato, enero 2024

Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Wilmer Alexander Llumitasig Tubon**, con C.I. 1850184225 y **Adriel Santiago Ocaña Guzmán** con C.I. 1850897693, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE Y ACABADO SUPERFICIAL EN EL FRESADO DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 Y ACERO AISI 1018 UTILIZANDO LUBRICACIÓN HÍBRIDA (NANOFLUIDOS +CO₂)”**, así como sus análisis, gráficos, diseño, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del Trabajo Experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2024



Wilmer Alexander Llumitasig Tubon

C.I. 1850184225

AUTOR



Adriel Santiago Ocaña Guzmán

C.I. 1850897693

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedemos los derechos en línea patrimoniales de nuestro Trabajo Experimental, con fines de difusión pública; además aprobamos 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 nuestros derechos de autor.

Ambato, enero 2024



Wilmer Alexander Llumitasig Tubon

C.I. 1850184225

AUTOR



Adriel Santiago Ocaña Guzmán

C.I. 1850897693

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por los estudiantes Wilmer Alexander Llunitasig Tubon y Adriel Santiago Ocaña Guzmán de la Carrera de Mecánica, bajo el tema: **“EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE Y ACABADO SUPERFICIAL EN EL FRESADO DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 Y ACERO AISI 1018 UTILIZANDO LUBRICACIÓN HÍBRIDA (NANOFLUIDOS +CO₂)”**

Ambato, enero 2024

Para constancia firman:

Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico este proyecto de investigación a aquellos cuyas pasiones iluminaron mi camino académico. A mis padres, quienes sembraron las semillas del conocimiento y me brindaron un amor inquebrantable, “Vuestra dedicación y amor han sido mi inspiración constante”.

A mis amigos, compañeros de estudio y confidentes, gracias por las risas compartidas, las noches de estudio interminables y el apoyo constante. Vuestra amistad ha sido un faro en este viaje académico.

A mi tutor, cuya orientación y aliento fueron fundamentales para mi crecimiento intelectual. Sus palabras sabias han dejado una huella imborrable en mi mente.

En el camino hacia este logro, he aprendido que el conocimiento es un viaje sin fin, y cada desafío es una oportunidad para crecer. En cada página de este documento reside el esfuerzo colectivo de aquellos que creyeron en mí.

Que esta obra sea un tributo a la perseverancia, la colaboración y el deseo constante de aprender. Que inspire a otros a buscar el conocimiento con pasión y a desafiar los límites de lo que es posible.

Wilmer Llunitasig

DEDICATORIA

A Dios, fuente inagotable de sabiduría y guía, que ha iluminado cada paso de mi camino académico. A mis padres, Fernando y Lorena cuyo amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido la fuerza que impulsó este viaje. A mi hermano Christian, ejemplo de perseverancia y sabiduría, y a mi hermano Daniel, fuente constante de alegría y recordatorio de la importancia de la pasión en cada tarea.

A mis docentes, quienes compartieron generosamente su conocimiento, brindaron orientación experta y desafiaron mi mente a alcanzar nuevas alturas. Su dedicación ha dejado una marca indeleble en mi formación académica.

A mis amigos, cuya amistad y apoyo han sido el ancla en los momentos desafiantes y la chispa de alegría en los triunfos compartidos. Gracias por ser mi red de confianza y por enriquecer esta experiencia con risas y camaradería.

Este trabajo de titulación está dedicado a todos ustedes, quienes han sido las piedras fundamentales de mi camino. Su influencia ha modelado mi travesía, y este logro no sería posible sin su presencia constante en mi vida.

Con gratitud y cariño,

Adriel Ocaña

AGRADECIMIENTO

En este momento trascendental, deseo expresar mi sincero agradecimiento a quienes han sido los arquitectos silenciosos de mi éxito académico. A mis padres, cuyo amor y sacrificio han sido el cimiento de este logro, les dedico mi más profundo reconocimiento. Su fe inquebrantable en mi capacidad ha sido la brújula que ha guiado mis esfuerzos.

A mis docentes y mentores, agradezco la luz que han vertido sobre mi camino, iluminando mi comprensión y expandiendo mis horizontes intelectuales. Vuestras enseñanzas han sido el combustible que alimentó mi sed de conocimiento.

A mis amigos, cuya compañía hizo más llevaderas las jornadas de estudio, les agradezco por ser los cómplices de este desafío. Vuestras risas y apoyo han sido bálsamos en los momentos difíciles.

En cada página de este documento reposa la colaboración y el esfuerzo colectivo de aquellos que creyeron en mí. Este logro no es solo mío, sino un tributo al poder transformador de la comunidad y la dedicación compartida.

Wilmer Llumitasig

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este trabajo de titulación. Sin su apoyo incondicional y orientación, este logro no habría sido posible.

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la sabiduría y la gracia necesarias para superar los desafíos y completar este paso en mi proyecto de vida. Sin él nada en este proyecto habría sido completado.

A mis padres Fernando y Lorena, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo y motivación a lo largo de este viaje académico. Su amor incondicional, sacrificio y aliento constante han sido mi impulso para alcanzar mis metas.

A mi hermano Christian, por ser un modelo a seguir y brindarme sabios consejos en cada etapa de mi educación, y a mi hermano Daniel, por su entusiasmo contagioso que siempre me recordó la importancia de mantener la alegría en cada paso del camino.

Agradezco profundamente a mis docentes, cuyo conocimiento experto y dedicación me han guiado a lo largo de esta investigación. Sus valiosas sugerencias y comentarios han enriquecido enormemente mi trabajo, ayudándome a crecer académica y personalmente.

A mis amigos, quienes han sido mi red de apoyo, confidentes y motivadores. Sus palabras alentadoras y su compañía han hecho que este proceso sea más llevadero y significativo.

En resumen, a cada persona que ha formado parte de este viaje, les extiendo mi sincero agradecimiento. Este logro no solo es mío, sino de todos ustedes que han contribuido de alguna manera a mi desarrollo académico y personal.

¡Gracias de todo corazón!

Adriel Ocaña

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| APROBACIÓN DEL TUTOR..... | ii |
| AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | iii |
| DERECHOS DE AUTOR..... | iv |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO | v |
| DEDICATORIA | vi |
| AGRADECIMIENTO..... | viii |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xix |
| ÍNDICE DE TABLAS | xxii |
| RESUMEN EJECUTIVO | xxiv |
| ABSTRACT | xxv |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes Investigativos..... | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 5 |
| 1.2.1. Objetivo General:..... | 5 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos..... | 6 |
| 1.3. Hipótesis..... | 7 |
| 1.3.1. Variable dependiente..... | 7 |
| 1.3.2. Variable independiente..... | 7 |
| 1.4. Marco Teórico..... | 7 |
| 1.4.1. El proceso de fresado por arranque de viruta..... | 7 |
| 1.4.2. Operaciones en el fresado | 8 |
| 1.4.2.1. Fresado plano..... | 8 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 1.4.2.2. | Fresado frontal..... | 8 |
| 1.4.2.3. | Fresado lateral | 9 |
| 1.4.2.4. | Fresado a horcajadas..... | 9 |
| 1.4.2.5. | Fresado angular | 10 |
| 1.4.2.6. | Fresado de bandas..... | 10 |
| 1.4.2.7. | Fresado de formas..... | 11 |
| 1.4.2.8. | Fresado de perfiles..... | 12 |
| 1.4.2.9. | Fresado de extremos | 12 |
| 1.4.2.10. | Fresado con sierra | 13 |
| 1.4.2.11. | Fresado de ranuras y chaveteros | 13 |
| 1.4.2.12. | Fresado de engranajes..... | 14 |
| 1.4.2.13. | Fresado helicoidal..... | 15 |
| 1.4.2.14. | Fresado de levas..... | 15 |
| 1.4.2.15. | Fresado de rosca..... | 15 |
| 1.4.2.16. | Procesos del trabajo del fresado..... | 16 |
| 1.4.3. | Disposición del husillo | 16 |
| 1.4.3.1. | Fresado cilíndrico | 16 |
| 1.4.3.2. | Fresado frontal..... | 17 |
| 1.4.3.3. | Fresado en concordancia | 17 |
| 1.4.3.4. | Fresado en oposición | 18 |
| 1.4.4. | Movimientos del fresado..... | 19 |
| 1.4.5. | Parámetros de trabajo del proceso de fresado | 20 |
| 1.4.5.1. | Velocidad de corte..... | 20 |
| 1.4.5.2. | Velocidad de avance..... | 21 |
| 1.4.5.3. | Sentido de avance | 22 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 1.4.5.4. | Sujeción de la pieza..... | 22 |
| 1.4.6. | Rugosidad superficial..... | 23 |
| 1.4.6.1. | Rugosidad superficial real..... | 26 |
| 1.4.6.2. | Superficie primaria..... | 26 |
| 1.4.6.3. | Filtro de superficie..... | 26 |
| 1.4.6.4. | Filtro S..... | 27 |
| 1.4.6.5. | Filtro en L..... | 27 |
| 1.4.6.6. | Operador F..... | 27 |
| 1.4.6.7. | Superficie S-F..... | 27 |
| 1.4.6.8. | Superficie S-L..... | 27 |
| 1.4.7. | Parámetros de textura superficial ISO 25178..... | 27 |
| 1.4.8. | Herramientas de corte..... | 27 |
| 1.4.9. | Vida útil de la herramienta de corte..... | 28 |
| 1.4.10. | Ecuación de Taylor..... | 30 |
| 1.4.11. | Métodos de lubricación para procesos de fresado por arranque de viruta | 31 |
| 1.4.11.1. | Mecanizado en Seco..... | 31 |
| 1.4.11.2. | Mecanizado por inundación..... | 31 |
| 1.4.12. | Fluidos de corte..... | 32 |
| 1.4.13. | Fluidos criogénicos..... | 33 |
| 1.4.13.1. | Nitrógeno líquido..... | 34 |
| 1.4.13.2. | Dióxido de Carbono..... | 34 |
| 1.4.14. | Nanopartículas..... | 35 |
| 1.4.14.1. | Clasificación de Nanopartículas..... | 35 |
| 1.4.15. | Surfactante..... | 38 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| 1.4.15.1. | Clasificación de los surfactantes..... | 38 |
| 1.4.16. | Criterios de Maquinabilidad..... | 39 |
| 1.4.16.1. | Vida útil de la herramienta..... | 40 |
| 1.4.16.2. | Tasa de eliminación de metal..... | 40 |
| 1.4.16.3. | Fuerzas de corte | 40 |
| 1.4.16.4. | Acabado superficial | 40 |
| 1.4.17. | Modelos de Desgaste para Mecanizado | 40 |
| 1.4.17.1. | Modelo de Archard..... | 40 |
| 1.4.17.2. | Modelo de Takeyama y Murata..... | 41 |
| 1.4.17.3. | Modelo de Kitagawa - Kubo – Maekawa..... | 41 |
| 1.4.17.4. | Modelo de Molinari y Nouari..... | 41 |
| 1.4.18. | Homogenización..... | 41 |
| CAPITULO II | | 42 |
| METODOLOGÍA | | 42 |
| 2.1. | Métodos..... | 42 |
| 2.1.1. | Nivel o tipo de investigación..... | 42 |
| 2.2. | Materiales..... | 43 |
| 2.2.1. | Probetas AISI 1018 | 43 |
| 2.2.2. | Probetas AISI 304 | 44 |
| 2.2.3. | Nanofluidos TiO ₂ | 53 |
| 2.2.4. | Nanofluidos Al ₂ O ₃ | 54 |
| 2.2.5. | Aceite Lubricante | 55 |
| 2.2.6. | CO ₂ | 56 |
| 2.2.7. | Fresadora..... | 57 |
| 2.2.8. | Rugosímetro SJ-210..... | 57 |

| | |
|--|----|
| 2.2.9. Microscopio electrónico de barrido | 58 |
| 2.2.10. MQL..... | 58 |
| 2.2.11. Suministro de aire comprimido..... | 59 |
| 2.3. Metodología | 59 |
| 2.3.1. Diseño de experimentos | 59 |
| 2.3.2. Diseño Factorial | 60 |
| 2.3.3. Funcionamiento del Sistema MQL e Híbrido. | 65 |
| 2.3.4. Disposición y dirección de la Lubricación..... | 66 |
| 2.3.5. Norma ISO 4287 | 67 |
| 2.3.2.1. Operación de variables..... | 70 |
| 2.4. Plan de recolección de información | 75 |
| 2.5. Plan de procesamiento y análisis..... | 75 |
| CAPITULO III | 76 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 76 |
| 3.1. Análisis y discusión de resultados..... | 76 |
| 3.1.1. Adquisición de datos | 76 |
| 3.1.1.1. Ficha de registros de acabados superficial experimento 1 (Mecanizado con sistema MQL) del AISI 1018..... | 77 |
| 3.1.1.2. Ficha de registros de acabados superficial experimento 2 (Mecanizado con sistema MQL) del AISI 1018..... | 78 |
| 3.1.1.3. Ficha de registros de acabados superficial experimento 3 (Mecanizado con sistema MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico) del AISI 1018 | 79 |
| 3.1.1.4. Ficha de registros de acabados superficial experimento 4 (Mecanizado con sistema MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico) del AISI 1018 | 80 |
| 3.1.2. Rugosidad superficial Ra de Acero AISI 1018 | 81 |

| | |
|--|----|
| 3.1.3. Rugosidad superficial Rz | 82 |
| 3.1.4.1. Ficha de registros de acabados superficial experimento 5 (Mecanizado con sistema MQL) del AISI 304..... | 84 |
| 3.1.4.2. Ficha de registros de acabados superficial experimento 6 (Mecanizado con sistema MQL) del AISI 304..... | 85 |
| 3.1.4.3. Ficha de registros de acabados superficial experimento 7 (Mecanizado con sistema MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico) del AISI 304..... | 86 |
| 3.1.4.4. Ficha de registros de acabados superficial experimento 8 (Mecanizado con sistema MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico) del AISI 304..... | 87 |
| 3.1.5. Rugosidad Superficial Ra de Acero AISI 304 | 88 |
| 3.1.6. Rugosidad Superficial Rz..... | 89 |
| 3.1.7. Toma de datos de la evolución del desgaste del flanco de la herramienta de corte | 91 |
| 3.1.7.1. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (10 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 93 |
| 3.1.7.2. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (20 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 94 |
| 3.1.7.3. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (30 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 95 |
| 3.1.7.4. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (40 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 96 |
| 3.1.7.5. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (50 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 97 |
| 3.1.7.6. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (60 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 98 |
| 3.1.7.7. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (70 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 99 |

| | |
|---|-----|
| 3.1.7.8. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (80 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 100 |
| 3.1.7.9. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (90 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 101 |
| 3.1.7.10. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (100 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 102 |
| 3.1.7.11. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (110 minutos de mecanizado) y n=1360 rpm del AISI 1018..... | 103 |
| 3.1.7.12. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (10 minutos de mecanizado) y n=1860 rpm del AISI 1018..... | 106 |
| 3.1.7.13. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (20 minutos de mecanizado) y n=1860 rpm del AISI 1018..... | 107 |
| 3.1.7.14. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (30 minutos de mecanizado) y n=1860 rpm del AISI 1018..... | 108 |
| 3.1.7.15. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (40 minutos de mecanizado) y n=1860 rpm del AISI 1018..... | 109 |
| 3.1.7.16. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (50 minutos de mecanizado) y n=1860 rpm del AISI 1018..... | 110 |
| 3.1.7.17. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (60 minutos de mecanizado) y n=1860 rpm del AISI 1018..... | 111 |
| 3.1.7.18. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (70 minutos de mecanizado) y n=1860 rpm del AISI 1018..... | 112 |
| 3.1.7.19. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (80 minutos de mecanizado) y n=1860 rpm del AISI 1018..... | 113 |
| 3.1.7.20. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (8 minutos de mecanizado) y n = 960 rpm del AISI 304..... | 116 |

| | |
|---|-----|
| 3.1.7.21. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (16 minutos de mecanizado) y n = 960 rpm del AISI 304..... | 117 |
| 3.1.7.22. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (24 minutos de mecanizado) y n = 960 rpm del AISI 304..... | 118 |
| 3.1.7.23. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (32 minutos de mecanizado) y n = 960 rpm del AISI 304..... | 119 |
| 3.1.7.24. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (40 minutos de mecanizado) y n = 960 rpm del AISI 304..... | 120 |
| 3.1.7.25. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (48 minutos de mecanizado) y n = 960 rpm del AISI 304..... | 121 |
| 3.1.7.26. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (56 minutos de mecanizado) y n = 960 rpm del AISI 304..... | 122 |
| 3.1.7.27. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (64 minutos de mecanizado) y n = 960 rpm del AISI 304..... | 123 |
| 3.1.7.29. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (4 minutos de mecanizado) y n = 1360 rpm del AISI 304..... | 127 |
| 3.1.7.30. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (8 minutos de mecanizado) y n = 1360 rpm del AISI 304..... | 128 |
| 3.1.7.31. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (12 minutos de mecanizado) y n = 1360 rpm del AISI 304..... | 129 |
| 3.1.7.32. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (16 minutos de mecanizado) y n = 1360 rpm del AISI 304..... | 130 |
| 3.1.7.33. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (20 minutos de mecanizado) y n = 1360 rpm del AISI 304..... | 131 |
| 3.1.7.34. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (24 minutos de mecanizado) y n = 1360 rpm del AISI 304..... | 132 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.7.35. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (28 minutos de mecanizado) y n = 1360 rpm del AISI 304 | 133 |
| 3.1.7.36. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (32 minutos de mecanizado) y n = 1360 rpm del AISI 304 | 134 |
| 3.1.8. Ecuación de Taylor | 137 |
| 3.1.9. Temperatura de la zona de corte en el proceso de mecanizado. | 143 |
| 3.1.10. Costo de mecanizado..... | 144 |
| 3.2. Verificación de la hipótesis | 147 |
| CAPITULO IV | 155 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 155 |
| 4.1. Conclusiones | 155 |
| 4.2. Recomendaciones..... | 157 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 159 |
| ANEXOS..... | 165 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Operación de Fresado Simple [11]. | 8 |
| Figura 2. Operación de Fresado Frontal [8]. | 9 |
| Figura 3. Operación de Fresado a Horcajadas [8]. | 10 |
| Figura 4. Fresado Angular. [8]. | 10 |
| Figura 5. Operación de Fresado en Bandas [8]. | 11 |
| Figura 6. Operación de Fresado Frontal [11]. | 11 |
| Figura 7. Operación de Fresado Frontal [11]. | 12 |
| Figura 8. Operación de Fresado Frontal [11]. | 12 |
| Figura 9. Operación de Fresado Frontal [11]. | 13 |
| Figura 10. Operación de Fresado Frontal [11]. | 14 |
| Figura 11. Operación de Fresado Frontal [11]. | 14 |
| Figura 12. Operación de Fresado Frontal [11]. | 15 |
| Figura 13. Proceso de fresado por arranque de viruta [12]. | 16 |
| Figura 14. Fresado Cilíndrico [12]. | 17 |
| Figura 15. Operación de Fresado Frontal [12]. | 17 |
| Figura 16. Fresado en Concordancia [12]. | 18 |
| Figura 17. Fresado en Oposición [12]. | 18 |
| Figura 18. Posibles movimientos del Fresado [12]. | 19 |
| Figura 19. Proceso de Fresado. a) en paralelo, b) en oposición [10]. | 22 |
| Figura 20. Posibles sujeciones de pieza [10]. | 23 |
| Figura 21. Ejemplos de Análisis de textura de superficies [15]. | 26 |
| Figura 22. Selección de Fresa [43]. | 45 |
| Figura 23. Codificación de la fresa para su selección. | 46 |
| Figura 24. Codificación del inserto para su selección [46]. | 50 |
| Figura 25. Selección del inserto [43]. | 50 |
| Figura 26. Codificación de cotas del inserto [46]. | 51 |
| Figura 27. Nanofluidos TiO_2 . | 54 |
| Figura 28. Nanofluidos Al_2O_3 . | 55 |
| Figura 29. Aceite Coolube 2210XP [40]. | 55 |

| | |
|---|-----|
| Figura 30. Tanques de Dióxido de Carbono. | 56 |
| Figura 31. Fresadora Travis del Laboratorio de Ingeniería Mecánica. | 57 |
| Figura 32. Rugosímetro SJ-210..... | 58 |
| Figura 33. Microscopio Electrónico de Barrido..... | 58 |
| Figura 34. Sistema de cantidad mínima de lubricante. | 59 |
| Figura 35. Ponderación del Aceite para Lubricación..... | 65 |
| Figura 36. Esquema Funcionamiento de Sistema MQL e Híbrido. | 66 |
| Figura 37. Disposición y dirección del sistema de Lubricación. | 67 |
| Figura 38. Procedimiento para la ejecución de ensayos para la evaluación del Desgaste de flanco y el Acabado Superficial en el proceso de Fresado con lubricación MQL e Híbrida. | 74 |
| Figura 39. Calibración del rugosímetro sj-210. | 76 |
| Figura 40 Rugosidad superficial Ra de cada método analizado para el AISI 1018..... | 82 |
| Figura 41 Rugosidad superficial Rz de cada método analizado para el AISI 1018..... | 83 |
| Figura 42 Rugosidad superficial Ra de cada método analizado del AISI 304..... | 89 |
| Figura 43 Rugosidad superficial Rz de cada método analizado del AISI 304..... | 90 |
| Figura 44 Geometría de desgaste del inserto [4]..... | 92 |
| Figura 45. Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E01 & E03) del AISI 1018. | 105 |
| Figura 46. Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E02 & E04) del AISI 1018. | 115 |
| Figura 47. Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E05 & E07) del AISI 304. | 126 |
| Figura 48. Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E06 & E08) del AISI 304. | 136 |
| Figura 49. Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado MQL y con mecanizado MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico) del AISI 1018..... | 140 |
| Figura 50 Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado MQL y con mecanizado MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico) del AISI 304..... | 143 |

| | |
|---|-----|
| Figura 51. Temperatura tomada con termocupla. | 144 |
| Figura 52. Costo de mecanizado con sistema MQL. | 145 |
| Figura 53. Costo de mecanizado con sistema híbrido MQL+ (0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico y 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico). | 146 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Material según tipo de fresas [10]..... | 21 |
| Tabla 2. Procesos de trabajo según acabado [11]. | 25 |
| Tabla 3. Parámetros de Fresado para la Selección del Inserto..... | 28 |
| Tabla 4. Valores de pendiente según material [20]..... | 31 |
| Tabla 5. Propiedades AISI 1018 [41]..... | 43 |
| Tabla 6. Propiedades AISI 304 [41]..... | 44 |
| Tabla 7. Características de la fresa..... | 46 |
| Tabla 8. Tipos de Geometrías para el inserto [44]..... | 47 |
| Tabla 9. Ángulos posibles del inserto [44]..... | 47 |
| Tabla 10. Tolerancia de insertos [44]..... | 48 |
| Tabla 11. Forma - Rompe viruta [44]. | 48 |
| Tabla 12. Medidas de los insertos [44]. | 49 |
| Tabla 13. Espesor de los insertos [44]. | 49 |
| Tabla 14. Características de la plaquita seleccionada. | 51 |
| Tabla 15. Medidas del inserto. | 52 |
| Tabla 16. Datos de corte recomendado [46]. | 52 |
| Tabla 17. Datos de corte recomendados por el fabricante para AISI 1018..... | 53 |
| Tabla 18. Datos de corte recomendados por el fabricante para AISI 304..... | 53 |
| Tabla 19. Propiedades de las nanopartículas de óxido de Titanio. | 54 |
| Tabla 20. Propiedades de las nanopartículas de Alúmina..... | 55 |
| Tabla 21. Propiedades del Aceite Coolube 2210XP. | 56 |
| Tabla 22. Parámetros de control del Diseño de Experimentos..... | 60 |
| Tabla 23. Factores de Control para la experimentación..... | 61 |
| Tabla 24. Longitudes normalizadas del muestreo de Rugosidad [48]..... | 68 |
| Tabla 25. Valores estimados para la longitud de muestreo Ra [49]..... | 68 |
| Tabla 26. Valores estimados para la longitud de muestreo Rz [49]..... | 68 |
| Tabla 27. Resultados de rugosidad superficial Ra (μm) para cada método de lubricación. | 81 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 28. Resultados de rugosidad superficial Rz (μm) para cada método de lubricación. | 83 |
| Tabla 29. Resultados de rugosidad superficial Ra (μm) para cada método de lubricación. | 88 |
| Tabla 30. Resultados de rugosidad superficial Rz (μm) para cada método de lubricación. | 90 |
| Tabla 31. Desgaste de flanco en función del tiempo E01 & E03 del AISI 1018..... | 104 |
| Tabla 32 Desgaste de flanco en función del tiempo E02 & E04 del AISI 1018..... | 114 |
| Tabla 33. Desgaste de flanco en función del tiempo E05 & E07 del AISI 304..... | 125 |
| Tabla 34 Desgaste de flanco en función del tiempo E06 & E08 del AISI 304..... | 135 |
| Tabla 35. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado MQL del AISI 1018..... | 137 |
| Tabla 36. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico del AISI 1018. | 138 |
| Tabla 37. Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado MQL y con mecanizado MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico) del AISI 1018..... | 139 |
| Tabla 38. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado MQL del AISI 304..... | 140 |
| Tabla 39. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico del AISI 304. | 141 |
| Tabla 40. Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado MQL y con mecanizado MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico del AISI 304. | 142 |
| Tabla 41. Distribución T- Student..... | 149 |
| Tabla 42. Mediciones de rugosidad del sistema MQL y MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico del AISI 1018..... | 150 |
| Tabla 43. Mediciones de la rugosidad del sistema MQL y MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico) del AISI 304..... | 152 |

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto se centró en el análisis del efecto del método de lubricación híbrida y un sistema de Mínima Cantidad de Lubricante (MQL) junto a nanopartículas de Dióxido de Titanio y Alúmina en el proceso de fresado de los aceros AISI 1018 y AISI 304, el desgaste del flanco de la herramienta de corte y acabado superficial, el mismo que se llevará a cabo en una fresadora CNC.

En este análisis se utilizaron insertos de metal duro con recubrimiento de PVD TiAlN, la velocidad de corte es el parámetro variable, se utilizaron los valores recomendados y máximos por el fabricante para establecer las combinaciones experimentales, para los métodos de lubricación híbrida se utilizaron dos tipos de nanopartículas, Dióxido de Titanio y Alúmina para los aceros AISI 1018 y AISI 304 respectivamente a una concentración del 0.5 por ciento en peso; utilizando una combinación de CO₂ líquido y gaseoso conjunto con el sistema de mínima cantidad de lubricante direccionada a la zona de contacto del material de trabajo y herramienta de corte para minimizar la fricción y temperaturas generadas en el proceso de corte. Para la evaluación del desgaste de flanco y rugosidad se utilizaron instrumentos estándar como el microscopio electrónico de barrido, basándose en la norma ISO 8688-1 especializada en este tipo de evaluaciones y un rugosímetro para la medición de calidad superficial Ra y Rz.

Tras el análisis de los resultados mejoró el acabado superficial de los aceros e incrementó de la vida útil de las herramientas de corte

Palabras clave: Lubricación híbrida, MQL, Nanopartículas, Nanofluidos, Acabado Superficial, Desgaste de flanco, AISI 1018, AISI 304.

ABSTRACT

The present project focused on the analysis of the effect of the hybrid lubrication method and a Minimum Quantity Lubricant (MQL) system together with Titanium Dioxide and Alumina nanoparticles on the milling process of AISI 1018 and AISI 304 steels, cutting tool flank wear and surface finish, which will be carried out on a CNC milling machine.

In this analysis hard metal inserts with PVD TiAlN coating were used, cutting speed is the variable parameter, the recommended and maximum values by the manufacturer were used to establish the experimental combinations, for the hybrid lubrication methods two types of nanoparticles were used, Titanium Dioxide and Alumina for AISI 1018 and AISI 304 steels respectively at a concentration of 0.5 percent by weight; using a combination of liquid and gaseous CO₂ together with the system of minimum amount of lubricant directed to the contact zone of the work material and cutting tool to minimize the friction and temperatures generated in the cutting process. For the evaluation of flank wear and roughness, standard instruments such as the scanning electron microscope, based on the ISO 8688-1 standard specialized in this type of evaluations, and a roughness meter for the measurement of surface quality Ra and Rz were used.

After analysis of the results, the surface finish of the steels was improved and the service life of the cutting tools was increased.

Keywords: Hybrid lubrication, MQL, Nanoparticles, Nanofluids, Surface finish, Flank wear, AISI 1018, AISI 304.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

El proceso de mecanizado ha mejorado el sector de la industria con sus grandes ventajas que aparecieron en 1953 [1], pero tenía inconvenientes en torno a las herramientas de corte, las cuales sufrían desgaste que hacía que el reemplazo de estas sea a la larga muy costoso, esto cambió con el estudio de WS Hollis, el cual afirmó en 1961 que se podía alargar la vida útil de las herramientas de corte utilizando el CO₂ como refrigerante. Gracias a este, el proceso de producción moderno en el ámbito de la manufactura se ha reinventado dando la posibilidad a nuevas alternativas para que procesos como el mecanizado sean más económicos y eficientes.

En el estudio de nano corte fluido en modo MQL (Mínima cantidad de lubricante) y tribología es un tipo de aplicación de lubricación mínima aplicada la nanotecnología (nMQL), esta es la aplicación de una preparación de nanopartículas (NPs) sobre fluidos base con la finalidad de mejorar la propiedades térmicas y tribológicas. Las nanopartículas (NP) más utilizadas son los nitruros, óxidos, carburos y nanotubos; presentan varias ventajas en las mejoras de las propiedades tribológicas, mejora la conductividad térmica y humectividad; reduce el desgaste de la herramienta de corte, actúan como espaciadores entre dos pares de contactos, la aplicación de este método en la zona de corte genera un régimen de transferencia de calor similar e incluso mejor que el mecanizado bajo el método de MQL. Los beneficios de la aplicación del método aplicada en la zona de mecanizado inducen a las NPs actuadores como fins, mejorando la tasa de transferencia de calor en dirección del flujo térmico, además estas eliminan la capa de vapor durante el mecanizado o el efecto Leidenfrost, ayudando a cambiar el régimen de transferencia del film de ebullición en régimen de film nucleada [2].

Experimentaciones en el mecanizado de una superaleación GH4169 con base de Ni [3] con el método de corte en seco y otros comparando en una plaquita de dimensiones de 60x45x100 mm utilizado en una fresadora CNC en un rango de velocidad de corte de 23.9

m/min (metros por minuto), un rango de avance de 0.1 mm/z (milímetros por diente), profundidad de corte constante de 1.00 mm y un A_e de 45 mm utilizando varios tipos de lubricación; seco, húmedo, vapor de agua, aire ionizado con una herramienta de carburo YYG6A dando como resultado que el desgaste de la herramienta fue rápido en el proceso de fresado de GH4169 con la herramienta de carburo YG6A con el aumento de la velocidad de corte. El desgaste del flanco se reduce en 15 y 10 por ciento en condiciones de corte de aire ionizado a comparación de condiciones húmedo y corte en seco. Los resultados mostraron que el efecto del aire ionizado y vapor de agua en la refrigeración ilustradas en las curvas del desgaste del flanco fue positiva en el proceso de fresado de superaleaciones GH4169 con herramientas de metal duro, reduciendo la fricción entre las superficies de contacto y el desgaste del herramental.

Otra experimentación sobre la influencia de mínima cantidad de lubricante (MQL) en la vida de las herramientas de corte de metal duro en el proceso de fresado del acero AISI 1018 [4], en el cual se realizó la comparación del desgaste por dos distintos métodos de lubricación/refrigeración; Sistema tradicional de inundación y el sistema de mínima cantidad de lubricación (MQL) en una plaquita de dimensión de 37 x 70 x 300 mm, los parámetros de lubricación regidos bajo la norma ISO 8688-1:1989 aplican un caudal de alimentación de 3.5 l/min y 6.5 l/min (litros por minuto) con unas velocidades de corte de 200 m/min y 360 m/min respectivamente para un método de inundación con lubricante TRICUT 2000 W/S; mientras que para el MQL se trabajó con un caudal de alimentación de 480 l/min, 2 bares de salida para las velocidades de corte mencionadas. El análisis de los resultados registrados fue efectuado bajo la norma ISO 8688-1:1989 mediante el desgaste de flanco, reflejando un desgaste positivo en las herramientas de corte que indican un considerable incremento de hasta el 40% aplicando el método de sistema de lubricación por MQL.

Un estudio realizado por Pereira y otros colaboradores donde analizan el fresado criogénico con CO₂ de Inconel 718: Fuerza de corte y desgaste de las herramientas [5], el material de trabajo fue un acero Inconel 718 envejecido (superaleación a base de níquel), con una herramientas de corte de metal duro S10, microganancia de cobalto y recubrimiento de TiAlN con una velocidad de corte de 40 m/min, profundidad de corte

radial y axial de 0.2 y 10 mm respectivamente; comparando diferentes técnicas de lubricación y refrigeración, mecanizado en húmedo, mínima cantidad de lubricante (MQL), mecanizado con enfriamiento criogénico CO₂ y la combinación del MQL y CO₂ de adición de dos maneras, (CryoMQL). Para la adición de los canales de alimentación se inyectan a una presión de 6 MPa, el CO₂ durante las pruebas se inyectó de manera tanto interna como externa; el caudal del aceite utilizado durante el mecanizado de MQL y CryoMQL fue de 100 ml/h (mililitros por hora) con un a presión de inyección del CO₂ a 1 bar y -78°C. Los resultados obtenidos en la vida útil de los herramientas durante la comparación de los métodos se reflejó un incremento positivo durante el uso del CryoMQL reduciendo la fuerza de corte en aproximadamente 21% y la vida útil de la herramienta aumenta en un 57 % en comparación del mecanizado en seco, solo CO₂ o MQL; con el mecanizado en húmedo se logra un aproximado 12% reducción de la vida útil y 11% aumento de la fuerza de corte. Sin embargo, con el método de CryoMQL se logra una estabilidad entre cuestiones técnicas y medioambientales.

El estudio realizado por Nalbant y colaboradores donde analizan el efecto de la refrigeración criogénica en el proceso de fresado en el acero AISI 304 [6], a través del rociado de nitrógeno líquido (LN₂) en el par de contacto herramental-pieza de trabajo mediante un tubo de 1 mm; con un caudal de 5.2 l/min, donde se comparan dos métodos de lubricación (seco y criogénico) y cuatro velocidades de corte (80, 120, 160 y 200 m/min). Los resultados obtenidos se analizan las fuerzas presentes durante el proceso de fresado en el cual se obtiene que el aumento de las fuerzas de corte en los ejes x, y, z, es directamente proporcional al aumento de la velocidad de corte registradas en los distintos ejes; así como el aumento de la dureza del acero de 159 BHN a 180 BHN. Esto se debe a varios factores que afectan al material tal como: temperatura de trabajo, característica de mecanizado, etc. Así mismo no sucede cambios en la microestructura de inserto de mecanizado tras 10 min de mecanizado y 3750 mm³ de viruta desprendida.

Para optimizar los procesos de maquinado se han insertado diferentes métodos de lubricación y refrigeración como es el uso de CO₂ como agente refrigerante en el proceso de torneado, fresado y taladrado; la investigación de la lubricación criogénica y de mínima cantidad de lubricación (MQL) para un torneado ecoeficiente de AISI 304 [7] , en un

centro de torneado CMZ TC25 BTY comparando varios métodos de lubricación y refrigeración; mecanizado en seco, mecanizado utilizando mínima cantidad de lubricante (MQL), mecanizado criogénico con nitrógeno líquido (LN2); mecanizado con nitrógeno líquido y mínima cantidad de lubricación (CryoMQL_LN2) y mecanizado con dióxido de carbono y cantidad mínima de lubricante (CryoMQL_CO2) con una velocidad de corte de 225 m/min, velocidad de avance de 0.25 m/rev y profundidad de corte de 1.5 mm hasta un límite de incidencia de $0.3 V_b(\text{máx.})$ bajo la norma ISO 3685. Los refrigerantes utilizados y parámetros de mecanizado fueron en el caso de método en seco sin aceite lubricante. Mínima cantidad de lubricante (MQL) con aceite de canola y aditivos biodegradables en los canales de alimentación a un caudal de 100 ml y bajo una presión de aire de 6 bares; Nitrógeno líquido (LN2), dióxido de carbono (CO2), mecanizado con nitrógeno líquido y mínima cantidad de lubricante, mecanizado con dióxido de carbono (CryoMQL_LN2) y mínima cantidad de lubricante (CryoMQL_CO2) bajo una presión de 15 bares y una temperatura de inyección; -196 °C y -98°C respectivamente. Los resultados de la experimentación mostraron que bajo condición seca se obtuvo aproximadamente 2500 mm de vida del herramental; utilizando MQL logro alcanzar hasta 2900 mm aproximadamente; supone el 20% más de la vida del herramental en torno al método de mecanizado en seco; en cuanto al nitrógeno líquido y dióxido de carbono se obtuvo hasta un 17% y 35% respectivamente el aumento de la vida útil; utilizando la técnica de nitrógeno líquido y dióxido de carbono con mínima cantidad de lubricante se lograron hasta un 55% y más del doble del 100% de la vida de la herramienta.

Las propiedades reológicas son la bases la caracterización de los aceites lubricantes, por ello se cree que la adición de nanopartículas mejora la propiedades del lubricante; así habiendo diferentes técnicas de dispersión de partículas en el sustrato; si es bien conocido que las nanopartículas presentas características específicas de buena conductividad térmica, rigidez y alta resistencia, el presente estudio analiza el efecto de las nanopartículas Al₂O₃ en las propiedades reológicas del aceite [8], en el cual se utiliza nanopartículas de aluminio de 80 nm, aceite comercial BP Vistra 300-4TSAE 20W50, viscosidad cinemática: 16.5 – 18.5 a 100 °C utilizando un método de dispersión URVD con un atomizador ultrasónico a una frecuencia de 1.67 MHz. Con un porcentaje de

concentración de 0.1%, 0.3% y 0.5% en peso de la nanopartícula de óxido de aluminio y 33 °C, 50 °C y 66 °C de temperatura del aceite lubricante. Los resultados de la experimentación de la dispersión de nanopartículas de óxido de titanio en aceite representa un aumento ligeramente significativo a una temperatura de 33 °C en comparación al aceite original, caso más representativo cuando se realiza a 50 °C y 60 °C donde el incremento de la viscosidad dinámica es mayor; es decir que las nanopartículas Al₂O₃ incrementan significativamente la viscosidad del aceite lubricante según sea la temperatura experimentada, la viscosidad del aceite disminuye con el incremento de la temperatura caso contrario de las nanopartículas las cuales se mantienen estables.

Para obtener el método de lubricación propuesto se debe realizar un proceso previo de preparación del aceite y de los nanofluidos, este proceso se denomina homogenización, este proceso ha sido muy importante para la ejecución de la lubricación por lo que se han realizado estudios para mejorar su eficacia, un resumen de los últimos avances en la producción de nanopartículas híbridas en miniemulsiones [9] indican que las nanopartículas híbridas están relacionadas entre sí pero en realidad son parte de macromoléculas o polímeros artificiales que pueden tener un origen orgánico o inorgánico, polimérico o natural. También se explica que pueden fabricarse mediante polimerización en miniemulsión, que encapsula macromoléculas naturales o componentes inorgánicos, o mediante técnicas de desplazamiento de disolventes, que precipita polímeros preformados con la ayuda de constituyentes inorgánicos.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General:

Evaluar el desgaste de las herramientas de corte y acabado superficial en el fresado de los aceros AISI 304 y acero AISI 1018 utilizando lubricación híbrida (nanofluidos + CO₂).

1.2.2. Objetivos Específicos

1.2.2.1. Investigar los tipos de nanofluidos de lubricación híbrida existentes en el mercado para las herramientas de corte en el fresado del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI 1018.

La presente investigación planteada tiene como propósito analizar y evaluar el desgaste de las herramientas de corte de los aceros inoxidables AISI 304 y acero AISI 1018. Como parámetro se va a añadir lubricación híbrida de dos nano fluidos, los cuales son el TiO_2 y el Al_2O_3 . Esto se realizará con el fin de reducir la tasa de desgaste al realizar un acabado superficial [4].

1.2.2.2. Seleccionar los principales parámetros del proceso de mecanizado que influyen en el acabado superficial y desgaste de las herramientas de corte del fresado del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI 1018 en MQL.

En los procesos de mecanizado a menudo se utiliza lubricación en estado puro como el aceite de corte y el llamado taladrina que es emulsionado en agua. La propuesta de la presente investigación es la utilización de la lubricación híbrida con dos nanofluidos, lo cual hará que exista una reducción notable de desgaste del proceso de mecanizado en las herramientas de corte en fresado. Esto ayudará en mayor proporción al sector industrial ya que reducirá el cambio de herramientas de corte que con lubricación normal sucede con más regularidad.

1.2.2.3. Ejecutar los ensayos de mecanizado bajo los parámetros delimitados; aceros y nanofluidos seleccionados con velocidad de corte, avance y profundidad definida.

Existen investigaciones previas que abarcan el problema de estudio, sin embargo, no se ha desarrollado el proceso de criomecanizado en los aceros AISI 1018 y acero AISI 304 con los nanofluidos TiO_2 y Al_2O_3 . con el parámetro de diferentes velocidades de corte. Otro de los puntos claves que distinguen a esta investigación de las ya existentes es que las ya realizadas se han evaluado en procesos de torneado, en la presente propuesta se evaluará con el proceso de fresado. Se lo evaluará con el proceso de fresado con el fin de enriquecer los conocimientos que se tiene de estos análisis en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica [10].

1.2.2.4. Comparar la rugosidad superficial y desgaste de las herramientas de corte obtenido en el proceso de mecanizado de las probetas del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI 1018 con lubricación híbrida.

El método de criomecanizado no ha sido utilizado comúnmente en el sector industrial de la ciudad de Ambato, lo cual se da por la falta de información y experimentación de esta. Esta propuesta se centra en evaluar el desgaste que tendrán las herramientas de corte y acabado superficial en el proceso de fresado de los aceros propuestos mediante la adición de dos nanofluidos TiO_2 y Al_2O_3 para la lubricación híbrida. Esta evaluación se hará con el propósito de dar a conocer este método en la ciudad con el fin de que el sector industrial se beneficie y pueda aumentar la vida útil de las herramientas de corte.

1.3. Hipótesis.

¿El método de lubricación híbrida (Nanofluidos + CO_2) aplicados a los procesos de fresado permitirá mejorar el acabado superficial de los aceros AISI 1018 y AISI 304 y aumentará la vida útil de las herramientas de corte?

1.3.1. Variable dependiente

Acabado superficial de los aceros AISI 1018 y AISI 304 y la vida útil de las herramientas de corte.

1.3.2. Variable independiente.

Lubricación híbrida (Nano partículas TiO_2 y AlO_3 + CO_2) en el proceso de fresado.

1.4. Marco Teórico.

1.4.1. El proceso de fresado por arranque de viruta

Es un proceso de arranque de viruta que permite la formación de superficies planas, cóncavas o convexas que se efectúa con utilización de maquinaria que permite el giro a bajas y altas velocidades empleando una herramienta cilíndrica giratoria con uno o múltiples filos de corte afilados que se desplaza de manera transversal y longitudinal durante el contacto con el material de trabajo, el eje de rotación del herramienta está perpendicular a la dirección hacia delante definida por una velocidad de avance a diferentes ángulos de incidencia o ataque sobre la superficie, siendo una operación de corte interrumpido; en la mayoría de los casos el proceso de fresado utiliza varios

métodos de lubricación y refrigeración para crear un sinfín de variedades de formas posibles y elevadas velocidades de producción; por ende el proceso de fresado es una de las operaciones más versátiles y ampliamente utilizadas en la industria de la manufactura[10].

1.4.2. Operaciones en el fresado

En una fresadora CNC se puede tener un sin número de formas, superficies, perfiles, todas estas dependen de la formas y aplicación de las fresas sus formas especiales a superficies, filos, cantos, guías, ranuras, alojamientos, etc [10].

1.4.2.1.Fresado plano

Es una de las operaciones más comunes para producir un superficie lisa, plana u horizontal paralela al eje de rotación como se lo puede observar en la figura 1. También es conocida como fresado de desbaste, en esta se ajusta la tanto la pieza de trabajo como la herramienta de desbaste. Su profundidad viene determinada como parámetro de maquinado sea manual o automático con una velocidad y un avance adecuado [11].

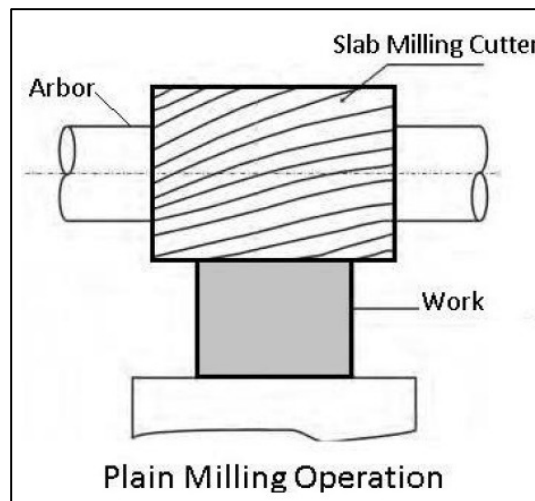


Figura 1. Operación de Fresado Simple [11].

1.4.2.2.Fresado frontal

Es de las operaciones más sencillas de la fresadora realizada mediante una fresa frontal girada alrededor de un eje perpendicular de trabajo como se indica en la figura 2. Esta operación se lleva a cabo en fresado plano por lo que la fresa se monta en un eje para

diseñar una superficie plana. La profundidad de corte se ajusta de manera manual o automático en el avance transversal de la mesa [11].

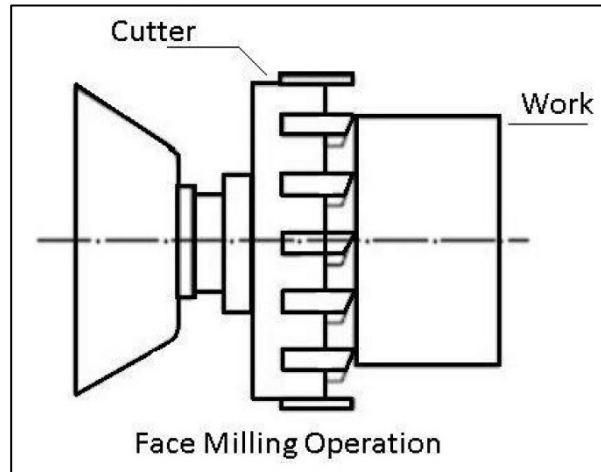


Figura 2. Operación de Fresado Frontal [8].

1.4.2.3. Fresado lateral

Es una de las operaciones que ayudan a producir una superficie plana vertical en el lateral de una pieza utilizando una fresa lateral. La profundidad de corte se ajusta al girar el tornillo de avance vertical de la mesa [11].

1.4.2.4. Fresado a horcajadas

Es la operación que ayuda a producir una superficie vertical plana en ambos lados de la pieza de trabajo mediante la utilización de dos fresas laterales montadas en el mismo eje como se representa en la figura 3. Esto se lo realiza así para ajustar la distancia entre ejes de las dos cuchillas por lo que se lo realiza mediante collares espaciadores adecuados. Es comúnmente utilizado para diseñar superficies cuadradas o hexagonales [11].

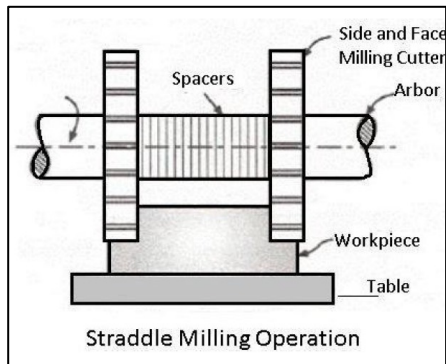


Figura 3. Operación de Fresado a Horcadas [8].

1.4.2.5. Fresado angular

Operación para producir una superficie angular en una pieza de trabajo que no se dé de manera perpendicular al husillo de la fresadora como se lo puede observar en la figura 4. Esta ranura puede tener un ángulo simple o doble incluido una variable según el tipo y el contorno de la fresa angular utilizada. Uno de las aplicaciones principalmente utilizadas en procesos de producción son los bloques en V [11].

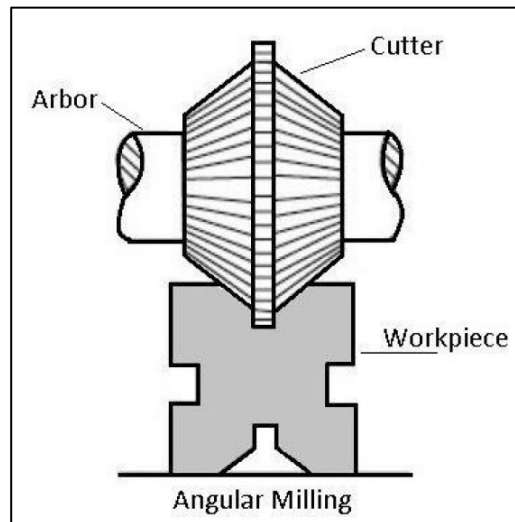


Figura 4. Fresado Angular. [8]

1.4.2.6. Fresado de bandas

Es un grupo de operaciones que consiste en mecanizar simultáneamente varias superficies de una pieza alimentado la mesa contra varias fresas de igual o distinto diámetro montado en el árbol de la máquina como se representa en la figura 5. Este tipo

de mecanizado es usado por ahorro de tiempo y trabajo repetitivo, la velocidad de la fresa se calcula a través del diámetro de estas [11].

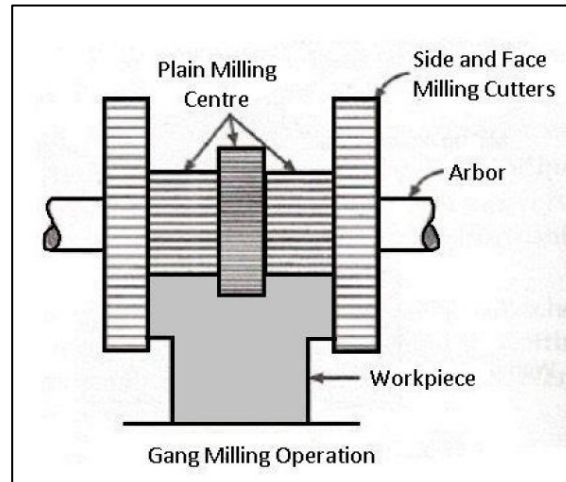


Figura 5. Operación de Fresado en Bandas [8].

1.4.2.7. Fresado de formas

Operación para producir el contorno irregular mediante el uso de fresas de formas definidas, la forma irregular puede ser convexa, cóncava o cualquier forma como se indica en la figura 6. Tras el mecanizado es necesario una inspección mediante un calibre de plantilla deseada o un patrón guía. La velocidad de corte se da entre un 20 y 30% inferior al fresado plano o liso [11].

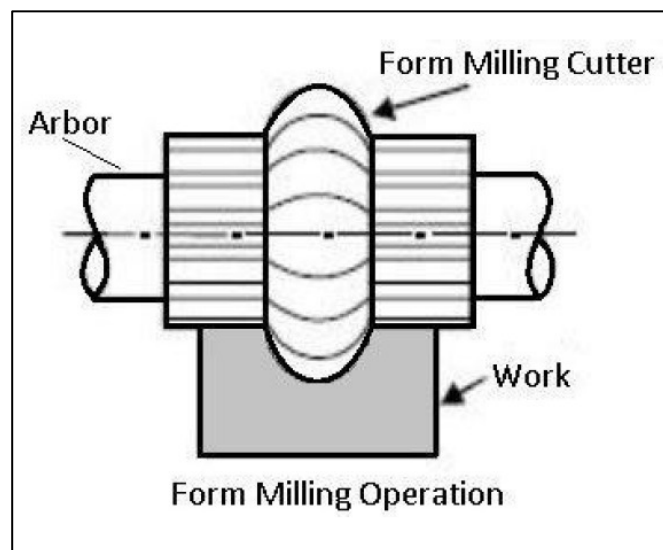


Figura 6. Operación de Fresado Frontal [11].

1.4.2.8. Fresado de perfiles

Operación de reproducción de un contorno de una plantilla o de una forma compleja de un patrón de troqueles en una pieza como se muestra en la figura 7. Esta operación es caracterizada por el uso de distintas fresas, entre las más utilizadas se encuentran la fresa de mango [11].

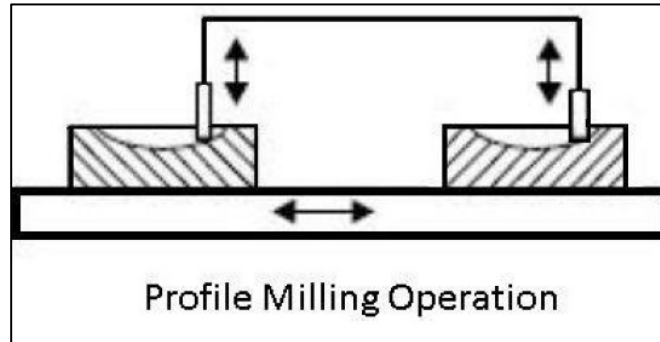


Figura 7. Operación de Fresado Frontal [11].

1.4.2.9. Fresado de extremos

Operación de producir una superficie plana que pueda ser vertical horizontal o de ángulo definido con respecto a la superficie de la mesa de trabajo como se indica en la figura 8. En esta operación las fresas frecuentemente utilizadas es la de mango, utilizada también para realizar ranuras, acanaladuras o chaveteros. En el Fresado de extremos una fresadora vertical es la más recomendada [11].

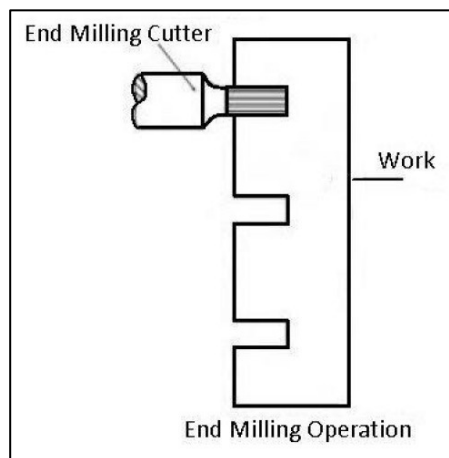


Figura 8. Operación de Fresado Frontal [11].

1.4.2.10. Fresado con sierra

Operación utilizada para mecanizar ranuras o surcos estrechos en una pieza utilizando una fresa de sierra, esta operación es utilizada también para completar una separación como se muestra en la figura 9. La fresa y la pieza de trabajo se ajustan de forma que la fresa se sitúe directamente sobre las ranuras guía o T de la mesa de trabajo [11].

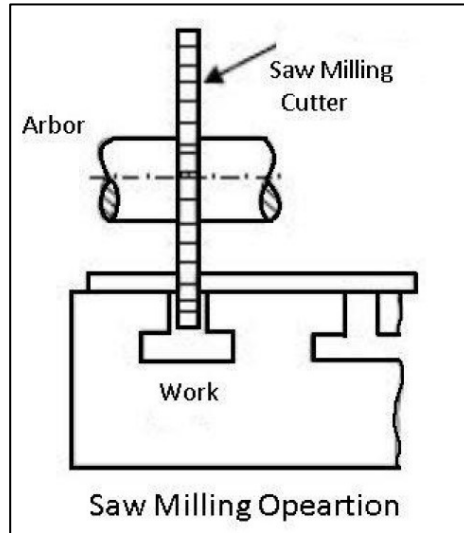


Figura 9. Operación de Fresado Frontal [11].

1.4.2.11. Fresado de ranuras y chaveteros

Operación para mecanizar chaveteros, ranuras y hendiduras de distintos tamaños y formas, se realiza utilizando una fresa plana, sierra corte de metal una fresa de punta o mediante fresa lateral como se muestra en la figura 10. Para las ranuras abiertas se utilizan fresas planas, corte longitudinal o fresa lateral, por el contrario, para ranuras cerradas es necesario utilizar fresas de puntas [11].

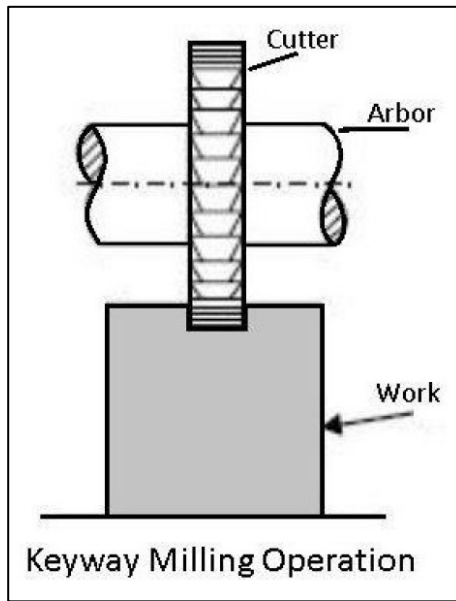


Figura 10. Operación de Fresado Frontal [11].

1.4.2.12. Fresado de engranajes

Operación de tallado de engranajes se realiza en una fresadora mediante el uso de una fresa con una descarga de forma de tipo cilíndrica o cónica como se observa en la figura 11. El perfil se ajusta exactamente al espacio entre dientes del engranaje o al paso entre cada diente. Para los ejes de engranaje equidistantes se tallan en una pieza bruta de engranaje sujetando a la mesa de trabajo en un cabezal de inmersión universal e indexándolo [11].

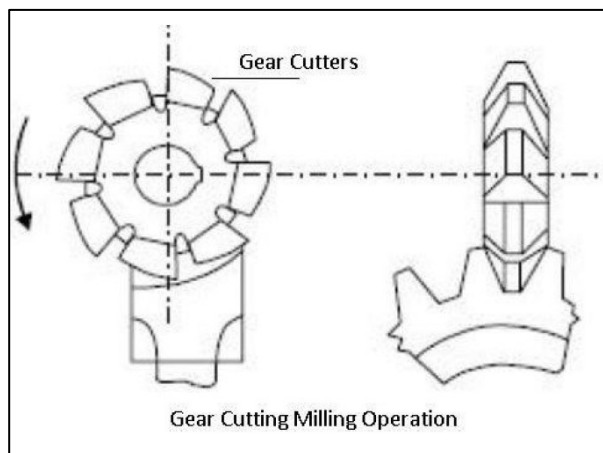


Figura 11. Operación de Fresado Frontal [11].

1.4.2.13. Fresado helicoidal

Operación para producir estrías o ranuras helicoidales alrededor de la periferia de una pieza cilíndrica o cónica. Esta operación se realiza rotando la mesa de trabajo hasta el ángulo de hélice, girando y alimentando la pieza contra los filos de corte girándolos en una fresa como se lo puede observar en la figura 12. Se utiliza principalmente para la fabricación de fresas helicoidales, engranajes helicoidales, corte de ranuras o canaladuras[11].

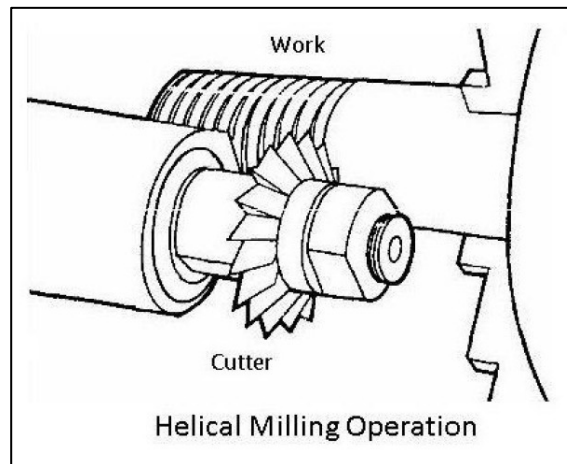


Figura 12. Operación de Fresado Frontal [11].

1.4.2.14. Fresado de levas

Operación para producir levas en una fresadora mediante el uso de un cabezal divisor universal y un accesorio de fresado vertical. La pieza o material en bruto se monta en el extremo del husillo del cabezal divisor y se sujeta una fresa en el accesorio de fresado vertical; estos deben permanecer paralelos entre si durante el mecanizado [11].

1.4.2.15. Fresado de rosca

Operación utilizada para producir roscas o fresas de roscar que requieren tres movimientos de accionamiento en la máquina fresadora; fresa trabajo y movimiento longitudinal de la fresa. Con una fresa de un solo filo se necesita un ángulo de giro exacto girando la fresa sobre el husillo y este sobre el material de trabajo. En caso contrario, con una rosca múltiple el eje de la fresa y el husillo de trabajo se colocan paralelos entre si después de ajustar la profundidad igual a la de la rosca [11].

1.4.2.16. *Procesos del trabajo del fresado.*

El material residual es removido por medio de la rotación de la fresa cuyos filos están dispuestos y ajustados con un ángulo de incidencia dentro de un husillo de forma circunferencial. Cada uno de estos insertos forman parte del proceso durante la rotación del husillo. Estos están dedicados al arranque de viruta como se lo muestra en la figura 13, el resto del tiempo el inserto gira en vacío, donde pueda lubricarse y refrigerarse [12].

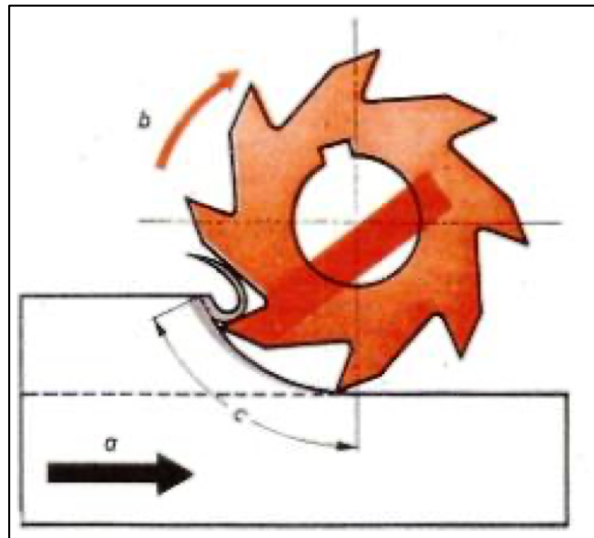


Figura 13. Proceso de fresado por arranque de viruta [12].

1.4.3. *Disposición del husillo*

1.4.3.1. *Fresado cilíndrico*

La fresa se encuentra en disposición horizontal o paralelamente a la mesa de trabajo como se lo muestra en la figura 14. En virtud de la forma de la viruta, la máquina experimenta una carga irregular, por consecuencia existe un golpeteo ligero en la periferia de la herramienta a cada revolución de esta [12].

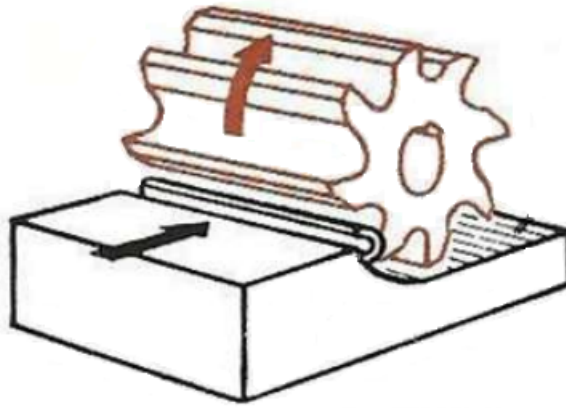


Figura 14. Fresado Cilíndrico [12].

1.4.3.2. Fresado frontal

La fresa se encuentra en disposición perpendicular a la mesa de trabajo, existe un corte con los dientes frontales y los de la periferia como se indica en la figura 15. En esta disposición de fresado cada diente o inserto arranca la viruta de manera uniforme, por consecuente la carga a cada uno de los dientes es uniforme obteniendo una superficie más lisa [12].

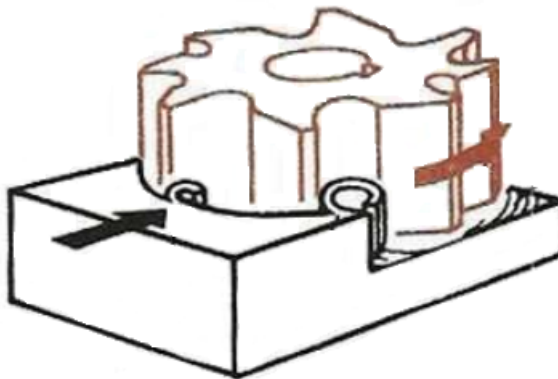


Figura 15. Operación de Fresado Frontal [12].

1.4.3.3. Fresado en concordancia

El avance de la herramienta gira en el mismo sentido con el avance de la pieza como se lo muestra en la figura 16. Este proceso también es conocido como fresado *hacia abajo* debido a que la componente vertical de la fuerza vertical de corte está dirigida hacia abajo cuando el eje de la fresa está en sentido horizontal [12].

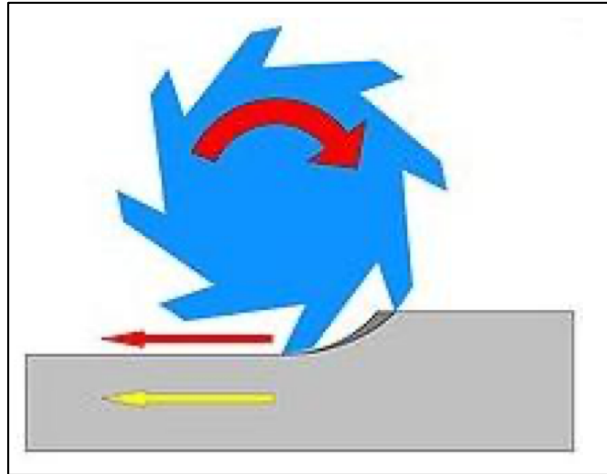


Figura 16. Fresado en Concordancia [12].

1.4.3.4. Fresado en oposición

El avance de la herramienta de corte gira en sentido contrario al avance de la pieza como se indica en la figura 17. Este proceso también es conocido como fresado *hacia arriba* debido a que la componente vertical de la fuerza de corte está dirigida hacia arriba [12].

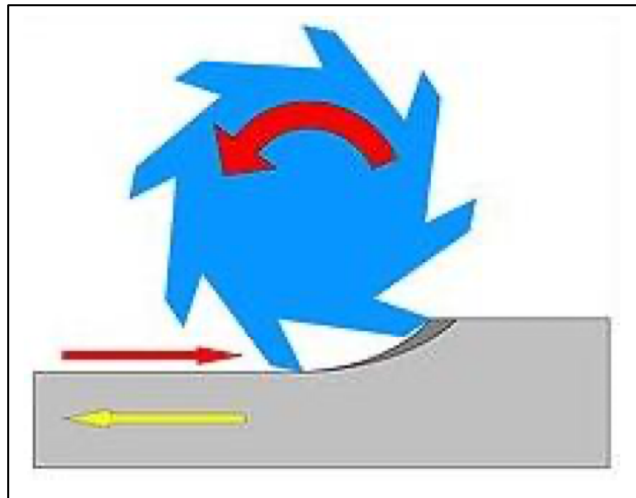


Figura 17. Fresado en Oposición [12].

El fresado en concordancia es el más recomendado siempre que la máquina, herramienta y los utillajes lo permitan con la finalidad de obtener una buena calidad superficial.

Ventajas y desventajas del fresado en oposición.

La ventaja principal del fresado en oposición es que necesita de menor potencia debido a que el espesor de la viruta y presión de corte aumentan. Por el contrario, existe vibraciones en la máquina y tiene menor calidad superficial en el mecanizado.

Ventajas y desventajas del fresado en concordancia.

La principal desventaja del fresado en concordancia es que inicia con el mayor espesor de viruta, por ende, es necesario una mayor potencia y rigidez de la máquina. Como principal ventaja cuando la fresa se retira de la pieza el espesor de la viruta se reduce significativamente disminuyendo la potencia de la máquina teniendo como resultado una buena calidad superficial tras del mecanizado [12].

1.4.4. Movimientos del fresado.

El movimiento de corte es generado por el giro de la herramienta, este puede ser perpendicular y transversal, el movimiento de avance de la pieza de trabajo es de manera transversal y lo realiza el carro y la profundidad lo realiza la consola de la máquina fresadora como se muestra en la figura 18 [12].

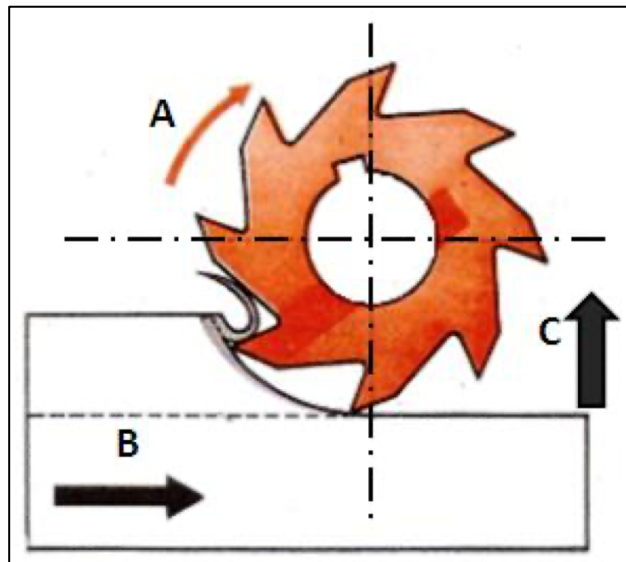


Figura 18. Posibles movimientos del Fresado [12].

1.4.5. Parámetros de trabajo del proceso de fresado

Todas las operaciones del fresado tienen parámetros tecnológicos que permiten el giro de la herramienta, avance de la herramienta de corte y profundidad de corte los cuales son los siguientes:

- Elección del tipo de máquina, accesorios y sistemas de fijación de la pieza y el uso de herramientas adecuados.
- Elección del tipo de fresado: frontal, tangencial en concordancia o tangencial en oposición.
- Elección de los parámetros de corte: velocidad de corte (V_c), velocidad de giro de la herramienta (n), velocidad de avance (V_a), profundidad de pasada (p), anchura de corte (A_c), etc [12].

1.4.5.1. Velocidad de corte

Se define como la velocidad lineal entre dos puntos del límite de contacto de la fresa que se encuentra en contacto entre las dos superficies fresa/pieza a mecanizar. Esta es lineal y expresada en m/min; es necesario invertir a una velocidad angular de (RPM), ya que la herramienta tiene movimiento de giro.

$$V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \quad (1)$$

Donde:

V_c : velocidad de corte [m/min]

D : diámetro de la herramienta [mm]

n : número de revoluciones por minuto [RPM]

Para la selección de la velocidad optima de corte se debe tomar en cuenta parámetros como:

- Calidad de la herramienta o insertos a mecanizar.
- Calidad de la pieza de trabajo a ser mecanizado por lo general para cada material esta recomendado un tipo de material de herramienta de desbaste.

- Fijación de la pieza; es muy importante ya que puede causar vibraciones que afecten en la calidad final superficial de la pieza de trabajo.
- Fijación de la herramienta; punto muy importante al igual que la fijación de la pieza de trabajo.

Para la durabilidad de la herramienta los fabricantes recomiendan trabajos de velocidades de corte y diámetros de fresas, en la tabla 1 se obtiene una orientación para fresas de aceros rápidos: [13]

Tabla 1. Material según tipo de fresas [10].

| MATERIAL PARA TRABAJAR | FRESAS FRESADAS | DESTALONADA | SIERRA |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------|---------------|
| Acero hasta 80 kg/mm ² | 18-25 | 16-22 | 18-22 |
| Acero masa 80 kg/mm ² | 16-22 | 14-20 | 14-18 |
| Fundición 180 Br | 18-24 | 16-20 | 14-20 |
| Metales ligeros | 150-200 | 100-160 | 100-160 |
| Latón y bronce | 40-60 | 30-50 | 30-50 |

1.4.5.2. Velocidad de avance

Se define como el movimiento relativo rectilíneo entre la pieza de trabajo y la herramienta de corte o avance de la mesa de trabajo. La unidad de este desplazamiento es mm/min, en función del avance por diente y avance por minuto [13].

Velocidad de avance por diente

Es el desplazamiento lineal que tendrá la pieza de trabajo cuando un diente dentro del husillo gire 360°.

$$A_v = a_v * Z \quad (2)$$

Donde:

A_v : avance por vuelta [mm]

a_v : avance por diente [mm]

Z : número de dientes

Velocidad de avance por minuto

Es el desplazamiento rectilíneo de la pieza de trabajo en un minuto.

$$A_m = a_z * Z * n = A_v \quad (3)$$

Donde:

A_z : avance por diente [mm]

Z : número de dientes

n : número de revoluciones por minuto [RPM]

1.4.5.3. Sentido de avance

Durante la definición de los parámetros de mecanizado es necesario no solo establecer el avance ni la velocidad; sino también el sentido ya que puede desplazarse en dos sentidos:

- En paralelo
- En oposición

Ejemplo de este se puede observar en la figura 19.



Figura 19. Proceso de Fresado. a) en paralelo, b) en oposición [10].

La principal diferencia entre el sentido de avance y oposición se da en que la primera es donde la herramienta es arrastrada por el material de trabajo ocasionando golpeteo y por ende desgaste de la herramienta de corte [13].

1.4.5.4. Sujeción de la pieza

La sujeción de la pieza de trabajo en la fresadora se efectúa sobre la mesa de trabajo, en la porta mesa donde se lo puede sujetar a través de: [13]

Se muestra las sujeciones que pueden ser aplicadas en la figura 20.

- Mordazas
- Con bridas sobre las mesas de trabajo
- Con bridas y escuadras
- Con dispositivos especiales
- Entre puntas

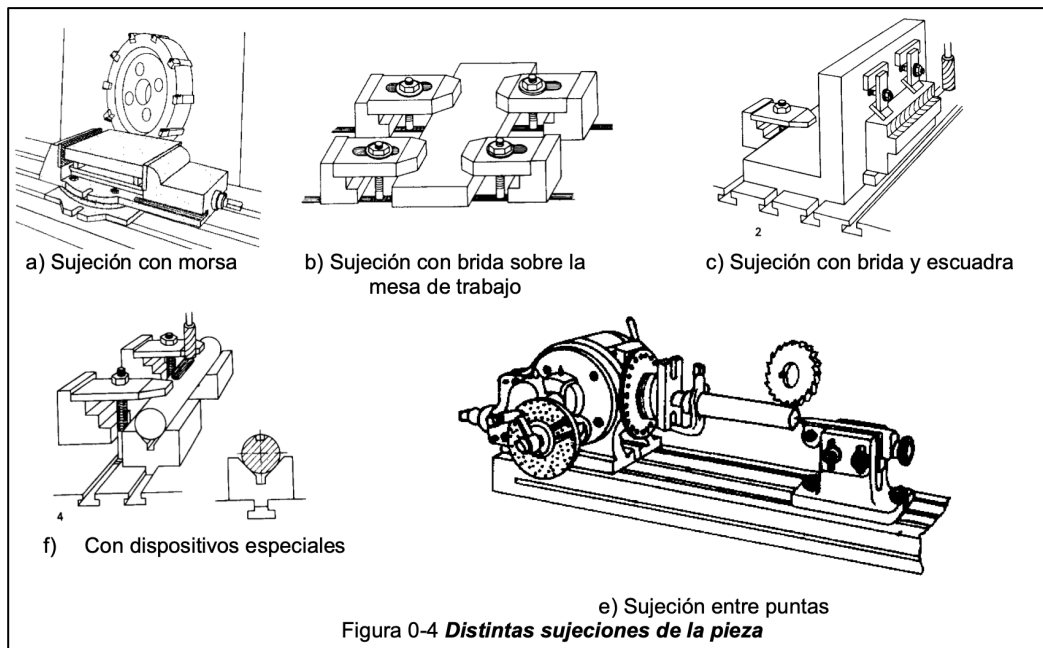


Figura 20. Posibles sujeciones de pieza [10].

1.4.6. Rugosidad superficial

El rugosímetro es el instrumento que permite medir la rugosidad superficial que explora dicha superficie y obtiene un perfil de la superficie en el eje z siendo x la longitud de la superficie analizada. Esta no solo afecta a la superficie del objeto, sino también que produce textura o diferencia táctiles. A partir de este del perfil analizado se definen varios parámetros que caracterizan dicha superficie:

- *Longitud de exploración:* Es la longitud del perfil geométrico explorado por el instrumento de medición.

- *Longitud básica, l*: Es la sección del perfil geométrico seleccionada para realizar el análisis mediante el rugosímetro. Suele coincidir con la longitud de exploración o análisis.
- *Línea media de perfil*: Esta línea está ubicada a una cota Z_0 es el valor promedio de la función z a lo largo de una longitud de exploración l . Es la línea que divide el perfil efectivo, de manera que, entre los límites de la longitud de exploración, la sumatoria de las áreas superior de esta línea es igual a la sumatoria del área inferior de la línea media del perfil.
- *Rugosidad media*: Es la desviación media del perfil respecto a la línea media; se puede calcular mediante.
- *Rugosidad total o máxima*: Es la desviación máxima entre el valle y el pico máximo.
- *Desviación típica*: Es la radical de la media de los cuadrados de la desviación del perfil respecto de su media [14].

El valor de la rugosidad superficial se determina mediante la ecuación

$$R_a = \frac{f^2}{32r} \quad (4)$$

Donde:

R_a : Valor promedio de la rugosidad superficial ideal.

f : avance [mm/rev]

r : es el radio de la herramienta [mm]

En la tabla 2 se indican los procesos de trabajo según el tipo de acabado.

Tabla 2. Procesos de trabajo según acabado [11].

| Clase de trabajo | Poco Esmerado | | | Esmerado | | | Fino | | | Refinado | | | |
|-----------------------------------|----------------------|------|------|-----------------|-----|-----|-------------|------|------|-----------------|------|-------|-------|
| Clase de rugosidad | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0,5 |
| Símbolo | | | | | | | | | | | | | |
| Rugosidad en micrones | 50 | 25 | 12,5 | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 0,80 | 0,40 | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,025 | 0,012 |
| Rugosidad en micropulgadas | 2000 | 1000 | 500 | 250 | 125 | 63 | 32 | 16 | 8 | 4 | 2 | 1 | 0,5 |
| Oxicorte | █ | | | | | | | | | | | | |
| Aserrado | █ | | | | | | | | | | | | |
| Cepillado, limado | | █ | | | | | | | | | | | |
| Taladrado | | | █ | | | | | | | | | | |
| Fresado | | █ | | | | | | | | | | | |
| Brochado | | | | █ | | | | | | | | | |
| Escareado | | | | █ | | | | | | | | | |
| Mandrinado, torneado | | █ | | | | | | | | | | | |
| Rectificado cilíndrico | | | | | █ | | | | | | | | |
| Pulido cilíndrico | | | | | | | █ | | | | | | |
| Rectificado | | | | █ | | | | | | | | | |
| Alisado | | | | | █ | | | | | | | | |
| Bruñido | | | | | | | █ | | | | | | |
| Lapeado | | | | | | | █ | | | | | | |
| Superacabado | | | | | | | █ | | | | | | |
| Fundición en arena | █ | | | | | | | | | | | | |
| Fundición en coquilla | | | | █ | | | | | | | | | |
| Fundición a presión | | | | | █ | | | | | | | | |
| Forjado | | █ | | | | | | | | | | | |
| Extruido | | | █ | | | | | | | | | | |
| Trefilado en frío | | | | █ | | | | | | | | | |

Las rugosidades normales expuestas, son obtenidas por procesos normales de fabricación

La norma internacional ISO 25178 es una colección de normas internacionales relativas al análisis superficial. Las normas JIS B 0671 e ISO 13564-1 evalúan la textura superficial: método del perfil; basado en el análisis del método del palpador; la ISO 25178 evalúa la textura mediante dos métodos: con contacto (mediante palpador) y sin contacto (sonda óptica), se puede observar ejemplos de este en la figura 21 [15].

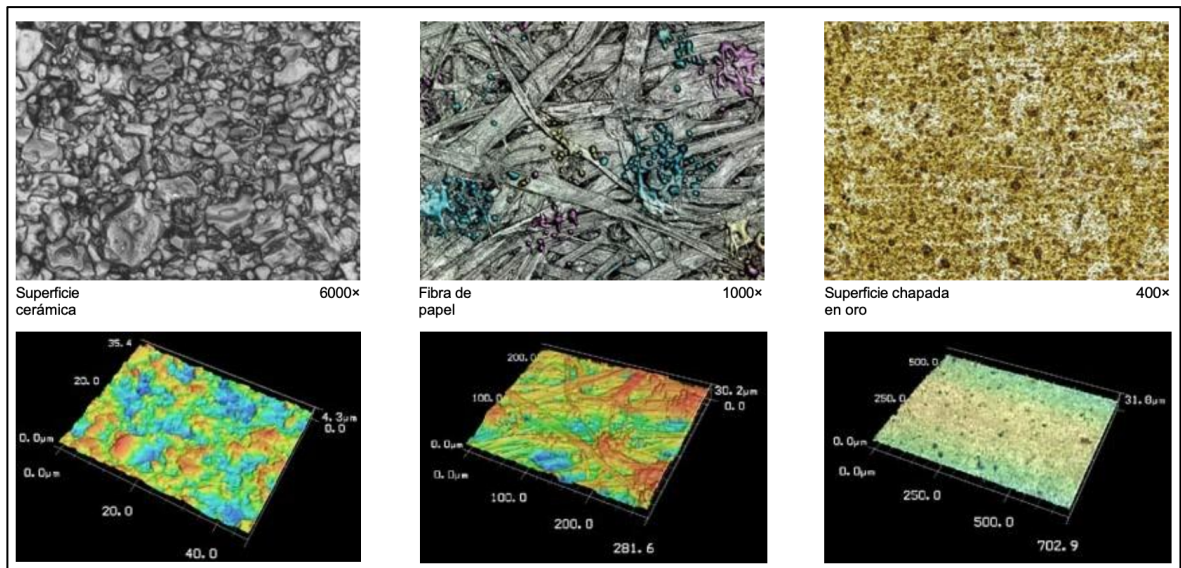


Figura 21. Ejemplos de Análisis de textura de superficies [15].

1.4.6.1. Rugosidad superficial real

La rugosidad superficial es como la frecuencia más corta de las superficiales reales en relación con las depresiones. La rugosidad superficial real varía en base a varios factores como son la geometría de la herramienta, patrón del movimiento; los factores microestructurales, recrecimiento del filo. La rugosidad natural puede tener desviación por diversas irregularidades del corte esto según sea la huella del tipo angular o circular [15].

1.4.6.2. Superficie primaria

Es la superficie que se obtiene tras el filtrado S de la superficie real.

1.4.6.3. Filtro de superficie

Llamado como el operador de filtración aplicado a una superficie.

1.4.6.4. Filtro S

Filtro que elimina de la superficie a los elementos más pequeños de la superficie; permite igual el valor de lambda de la norma JIS B 0601-2001. En el caso de medición por contacto, se elimina el ruido debido a los bordes [15].

1.4.6.5. Filtro en L

Elimina de la superficie los elementos de mayor escala, también llamado como filtro de paso alto. Utilizado para eliminar ondulaciones y componentes laterales de la superficie extrayendo únicamente los componentes de los filtros de rugosidad. El valor equivale al valor de corte de la norma JS B 0633-2001 [15].

1.4.6.6. Operador F

Elimina la forma de la superficie primaria. Equivale a la corrección de la inclinación, suprimiendo la caracterización nominal de la textura de la superficie [15].

1.4.6.7. Superficie S-F

Esta superficie es obtenida tras aplicar un operador F a la superficie primaria [15].

1.4.6.8. Superficie S-L

Esta superficie es obtenida tras aplicar un operador L a la superficie S-F [15].

1.4.7. Parámetros de textura superficial ISO 25178

Los parámetros textuales se agrupan en seis categorías en la norma ISO 25178

- Parámetros de altura.
- Parámetros espaciales
- Parámetros híbridos
- Parámetros funcionales
- Parámetros de volumen funcional [15].

1.4.8. Herramientas de corte

Es la herramienta que permite remover cantidad de material de la pieza de trabajo, por medio de la deformación cortante. Estas deben ser de material más duro que el material

que se va a cortar, capaz de soportar el calor generado en el proceso de corte del metal [16].

Estas se pueden programar para moverse contra una pieza de trabajo en cualquier dirección. Las herramientas de fresado pueden eliminar el material por su movimiento en la maquina y por su forma [17].

La gran variedad de herramientas de corte existentes en el mercado se puede clasificar en función del material que se puede remover, así también en la calidad final del fresado.

- Plaquetas de fresado de acero
- Plaquetas de fresado de acero inoxidable
- Plaquetas de fresado de fundición
- Plaquetas de fresado de materiales no ferrosos
- Plaquetas de fresado de titanio y aleaciones termorresistentes
- Plaquetas de fresado de acero templado [18].

La selección del inserto correcto para la operación de fresado sigue los parámetros presentes en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de Fresado para la Selección del Inserto.

| Parámetros | Definición |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Material | Acero inoxidable AISI 304 & AISI 1018 |
| Operación | Fresado frontal |
| Dimensiones de la barra (mm) | 300 x 37.8 x 70 |
| Condición superficial para alcanzar | Medio & Desbaste |
| Porta insertos disponible | Rómbico |

1.4.9. Vida útil de la herramienta de corte

En los procesos de mecanizados y procesos por arranque de viruta la herramienta se somete a varios factores para su desgaste. Estos dependen de diversas condiciones y circunstancias tales como: material de corte, geometría de corte, parámetros y condiciones

de reacondicionamiento, calidad de superficie, material de trabajo y condiciones de trabajo de la herramienta [19].

Por tanto, el desgaste de la herramienta de corte y la vida útil varían constantemente, especialmente en los sistemas de fabricación múltiple [19]. Con base en estos parámetros que influyen en las herramientas de corte pueden presentarse diferentes tipos de fallos:

- **Desgaste por abrasión.** Este tipo de desgaste donde las partículas más duras se encuentran en la parte inferior de la viruta deslizante por lo que son más duras que el material de la herramienta penetra la cara más blanda de la cara de la herramienta y elimina las partículas del metal por acción del metal [18].

Las partículas más duras del metal presentes del chip pueden ser:

- a) Fragmentos del material duro para herramientas.
 - b) Piezas rotas del borde reforzado que se endurecen por deformación.
 - c) Constituyentes extremadamente duros; carburos, óxidos y escamas.
- **Desgaste por adherencia** Este fenómeno ocurre debido a la presión excesiva entre la superficie deslizante de la viruta y la cara de la herramienta; provocando alta temperatura localizada, unión metalizada entre el material y la cara de la herramienta en forma de pequeños puntos de soldadura [18].
 - **Desgaste por difusión.** Este fenómeno ocurre durante el contacto de la viruta deslizante con otro metal cuando la temperatura de interfaz es alta. Esto permite que los átomos deslizantes sean difundidos en la matriz más blanda, por tanto, la resistividad y la agresividad del material blando incrementa [18].
 - **Desgaste químico.** Ocurre cuando el fluido de corte es químicamente activo para el material de la herramienta, ocurriendo un cambio en la composición química del material de la superficie de la herramienta [16].
 - **Astillamiento.** Este fenómeno se desarrolló debido a que forma un filo de aportación; el material es frágil y no soporta cargas excesivas provocando pobre textura superficial y excesivo desgaste en incidencia.
 - **Causas:** Arista de corte frágil o demasiado débil. Formado filo de aportación.

- **Soluciones:** Seleccionar una calidad más tenaz, mayor dureza de la herramienta de corte, aumentar la velocidad, seleccionar una geometría positiva y reducir el avance antes de mecanizar [20].
- **Fractura de filo.** Este fenómeno es una consecuencia directa por el filo de aportación o incluso por una palanca de sujeción en mal estado.
 - **Causas:** Excesivo desgaste del filo de aportación, calidad y geometría inadecuada o débiles, carga excesiva sobre el inserto y formación del filo de aportación
 - **Soluciones:** Reducir el avance o profundidad de corte, seleccionar una geometría más forzada, preferentemente una herramienta de una sola cara más espesor o tamaño y calidad más tenaz [20].

1.4.10. Ecuación de Taylor.

La mayor parte de las experimentaciones han sido compiladas a través del proceso de torneado, Esto se lo realiza utilizando herramientas de geometría estándar y midiendo el ancho de flanco de la herramienta a medida que se desgasta con el número de pasadas y el tiempo de operación. Se lo realiza mediante el hierro fundido el cual es de los aceros que más se utilizan en las operaciones de experimentación [20].

Los altos estándares de la ejecución en las herramientas de corte fueron realizados por Frederick W. Taylor, culminando con el desarrollo de aceros de alta velocidad. Los parámetros de mecanizado como la velocidad de corte, avance de corte, profundidad de corte, geometría de las herramientas, así como los métodos de lubricación y refrigeración son parámetros importantes para el estudio y los resultados. Estos se presentaron como relaciones matemáticas para la vida de las herramientas en función de estos parámetros. Debido a esto las condiciones de análisis fueron estandarizados utilizando únicamente la velocidad de corte y avance de corte por su tiempo empleado para su desarrollo. Por ello los resultados se ejemplificaron mediante la ecuación del Taylor: [20]

$$VT^n = C \quad (5)$$

Donde:

V : velocidad de corte [mm/min].

T : tiempo de corte para producir una cantidad de desgaste en el flanco [min].

C : Constante (m/min), igual a la intersección de la curva con la ordenada al origen. De hecho, es la velocidad de corte para una vida de herramienta de un minuto.

n : Es la pendiente de la curva en función del material de la herramienta de corte.

En la tabla 4 se puede observar valores distintos para diversos materiales usados en las herramientas de corte [20].

Tabla 4. Valores de pendiente según material [20].

| Material | Pendiente |
|--------------------------|------------------|
| Aceros de alta velocidad | $n=0.1\sim 0.15$ |
| Carburos (Cerments) | $n=0.2\sim 0.25$ |
| Cerámicas | $n=0.6\sim 1.0$ |

1.4.11. Métodos de lubricación para procesos de fresado por arranque de viruta

1.4.11.1. Mecanizado en Seco

El mecanizado en seco se basa en realizar el proceso sin ningún tipo de lubricación. El error de esta manera de mecanizar se da debido a que la falta de un lubricante generaba calor que afectaba principalmente a la herramienta de corte y el material. Esta práctica no es recomendada en todos los casos de trabajo debido a que genera una notable reducción en la vida útil de la herramienta de corte [21].

1.4.11.2. Mecanizado por inundación

En los primeros mecanizados se utilizó el método de inundación, el cual consistía en enfriar la herramienta de corte con agua lo cual generaba oxidaciones en el material y en la herramienta, razón por la cual se dejó de utilizar. Gracias a los avances de la ciencia se sustituyó al agua con diferentes fluidos que cumplen la tarea de dar lubricación en el

proceso de mecanizado. Estos fluidos tienen su ámbito de aplicación en el mecanizado [21].

1.4.12. Fluidos de corte

La importancia de los fluidos de corte (CF) aplicados a la zona de mecanizado para mejorar el rendimiento y deformación de las herramientas de corte a través de líquidos refrigerantes y/o lubricación. La norma alemana DIN51385 propone la clasificación de CF no miscibles en agua y miscibles en agua, los primeros también conocidos como fluidos a base de aceite sean puros o no [22].

Por ello existen alrededor de cuatro clasificaciones:

- ***Aceites puros.*** De uso sin necesidad de diluir o a base de aceite minerales, suelen incluir aceites como grasas, aceites vegetales y esterres; brindan excelente lubricidad con un baja propiedades de lubricación.
- Este tipo de fluido es de los mejores en el aspecto de lubricación por lo que es utilizado principalmente bajas velocidades, en operaciones pesadas y en máquinas antiguas que fueron diseñadas para uso exclusivo de aceites puros. El aspecto negativo de estos aceites es su baja aplicación en áreas de enfriamiento [22].
- ***Aceites minerales solubles (emulsiones).*** Son aceites con emulsionantes que permite la disolución en el agua; con un rango de consideración de 3~15%, altamente utilizados en la industria [22].
- Estos fluidos son emulsionables con agua para mejorar su capacidad de lubricación debido a que el agua es conocido como el mejor refrigerante. Al combinar el aceite y el agua se obtiene protección contra la corrosión y enfriamiento. Este tipo de fluido se utilizan mayormente en trabajos livianos y moderados [22].

- ***Fluidos semisintéticos.*** Es la combinación de aceites sintéticos y solubles; con una composición de emulsionantes sintéticos y solubles, gotas de agua y emulsiones claras, ofreciendo buena resistencia a la corrosión, lubricación y tolerancia a la contaminación [23].
- ***Fluidos sintéticos.*** Formulación de compuestos orgánicos e inorgánicos sin adición de agua minerales con adición de inhibidores de corrosión. Estos fluidos no contienen aceite mineral, estos son recomendados para situaciones de cortes de trabajo pesado y para metales que sean difíciles de maquinarse [23].

1.4.13. Fluidos criogénicos

Se define como un fluido criogénico a un fluido en estado líquido cuyo punto de ebullición está por debajo de -90°C y tiene una presión absoluta de 101.325 kPa [23].

Debido a la naturaleza y comportamiento de estos productos se debe tomar ciertas precauciones que son necesarias en su etapa de almacenamiento y en la de su uso. Las temperaturas que son demasiado bajas y que se manejan en estos fluidos causan que la mayoría de los sólidos se tornen quebradizos, materiales como el acero al carbón, plásticos y el caucho tienden a ser fracturados y a la postre rotos si entran en contacto con líquidos criogénicos [23].

Los líquidos criogénicos que se manejan actualmente son los gases llamados comprimidos y son mantenidos a temperaturas extremadamente bajas, debido a esto presenta peligro durante la manipulación y almacenamiento de estos ya que una descompresión del gas haría que la expansión fuera demasiado rápida que causaría la ruptura o posible explosión de los objetos que lo contengan. Por la razón anterior estos contenedores para fluidos criogénicos deben ser fabricados específicamente para este fin. La rápida expansión de un gas comprimido también puede desplazar el oxígeno disponible en un recinto cerrado, por tal razón siempre deben almacenarse los recipientes en lugares abiertos. Los sistemas de

aislamiento están orientados a reducir las pérdidas de fluido criogénico y a que no varíen las velocidades de transferencia dentro de unos parámetros de seguridad, fiabilidad y costos [24].

Los fluidos criogénicos que normalmente se utilizan para inyectar en la zona de corte son el denominado nitrógeno líquido (LN₂) o el denominado dióxido de carbono líquido (CO₂) [24].

1.4.13.1. Nitrógeno líquido

Por otra parte, un aspecto a considerar es que el LN₂ es de almacenamiento complicado debido a que está continuamente en ebullición, debido a esto en los recipientes y tanques se produce una sobrepresión que al alcanzar un determinado valor acciona una válvula denominada de seguridad que evacúa nitrógeno en forma de escape para evitar cualquier riesgo por sobrepresión [24]. El nitrógeno líquido absorbe el calor que fue disipado en los procesos de corte con el fin de que se evaporen en gas nitrógeno y al final volverse en parte del aire en el ambiente [25].

Existen casos en el que el nitrógeno líquido puede comenzar a hervir y a evaporarse cuando entra en contacto con superficies calientes. Esto hace que se forme una película aislante gaseosa alrededor de la pieza. El estado líquido del nitrógeno puro se encuentra a una temperatura igual o menor a su punto de ebullición, el cual es de -195,8 °C a una atmósfera de presión. Tanto el color como el olor están ausentes en el nitrógeno líquido. Tiene una densidad de 0,807 g/ml en el punto triple [25].

1.4.13.2. Dióxido de Carbono

En cambio, el CO₂, aunque tiene una capacidad de refrigeración menor (-78 °C en estado líquido), puede ser almacenado a temperatura ambiente en recipientes presurizados a 55-60 bares y tiene la capacidad de disolverse en aceites cuando está en un estado denominado supercrítico.[21] El CO₂ en el proceso de corte se distribuye a través de

tuberías, las cuales deben ser resistentes a la presión para garantizar que el fluido permanezca en el mismo estado durante todo el proceso tanto al principio como al final en la zona de corte. Cuando el CO₂ entra en contacto con el ambiente y se somete a la presión atmosférica sufre una caída de presión, esta caída causa que se expanda y al final se enfríe, lo que se denomina proceso de sublimación. Gracias a que el CO₂ es seco, este químico actúa aderezándose al aire y no bota residuos a su alrededor, gracias a esto lo hace adecuado para ser utilizado para algunos procesos de mecanizado [25].

1.4.14. Nanopartículas

El término "nanopartículas" se refiere a cualquier partícula con un tamaño que oscila entre 1 y 100 nanómetros (nm). Estas partículas pueden ser de origen natural, como virus, bacterias, polvo y partículas generadas por las emisiones volcánicas. Por otro lado, las nanopartículas artificiales son partículas sintetizadas con un propósito específico y se dividen en varias categorías, como carbono, que incluye nanotubos, nanohilos y nanofibras de carbono; metales, como los puntos cuánticos o transistores de un solo electrón; y nanopartículas de metales nobles como oro y plata, así como metales reactivos como el dióxido de titanio, cerámicas y polímeros [26].

1.4.14.1. Clasificación de Nanopartículas

1.4.14.1.1. Nanopartículas Semiconductoras

Semiconductoras: Estas nanopartículas se crean al combinar un precursor metálico con elementos pertenecientes a la familia del oxígeno. Poseen propiedades notables, como la fotoluminiscencia, que les permite absorber la luz (fotones) y luego emitirla en una longitud de onda diferente [27].

1.4.14.1.2. Nanopartículas Metálicas

Estas partículas exhiben propiedades ópticas y eléctricas excepcionales, y la forma y el tamaño desempeñan un papel crucial según el uso final. Las nanopartículas metálicas, como el oro (Au), la plata (Ag), el cobre (Cu) y el platino (Pt), ofrecen aplicaciones diversas. En particular, las nanopartículas de oro (Au) se emplean en óptica, aplicaciones biológicas, catálisis y en la industria alimentaria, mientras que las nanopartículas de plata

(Ag) se destacan como catalizadores en reacciones químicas, biomarcadores, biosensores, materiales superconductores, productos de belleza y dispositivos electrónicos [28].

1.4.14.1.3. Nanopartículas Magnéticas

Las nanopartículas que tienen un tamaño de aproximadamente un nanómetro muestran dos características vinculadas a sus propiedades magnéticas. En primer lugar, tienen una gran cantidad de átomos en su superficie que tienen una simetría local diferente, lo que da como resultado una anisotropía magnética que difiere del valor del volumen. En segundo lugar, su espectro de energía electrónica presenta un mayor espaciado entre niveles. Estos cambios provocan variaciones en la densidad de estados a nivel de Fermi y, como resultado, afectan las propiedades magnéticas inherentes de los materiales [29].

Las nanopartículas también se pueden clasificar en base a su composición, ya sea de carbono, metales, óxidos metálicos o materia orgánica. En contraste con sus contrapartes de mayor tamaño, las nanopartículas presentan propiedades físicas, químicas y biológicas singulares a nivel nanométrico. Esta singularidad se debe a la mayor área superficial, mayor reactividad, mayor estabilidad en reacciones químicas y una resistencia mecánica mejorada que exhiben a esta escala [27].

1.4.14.1.4. Nanopartículas Orgánicas

Gran cantidad de compuestos orgánicos activos y materiales con efectos orgánicos tienen una baja solubilidad en agua, llegando incluso a ser insolubles. Para aplicar estos compuestos en entornos acuosos, es necesario emplear técnicas de formulación especiales con el fin de mejorar o adaptar su acción en aplicaciones fisiológicas (como productos farmacéuticos, cosméticos, fitosanitarios y nutrición) o técnicas (como barnices, tintas de impresión y tóner) [27].

Las nanodispersiones de compuestos orgánicos activos ofrecen propiedades atractivas que incluyen un notable incremento en la solubilidad, una mejora en la absorción biológica y la alteración de propiedades ópticas, electroópticas y otras propiedades físicas que solo son alcanzables mediante partículas de tamaño nano, es decir, en el rango nanométrico medio o bajo. Estas nanopartículas, como dendrímeros, micelas, liposomas y ferritina, suelen recibir la denominación de nanopartículas o polímeros orgánicos. Son

biodegradables, no tóxicas y algunas de ellas, como las micelas y los liposomas, poseen núcleos huecos, también conocidos como nanocápsulas, y muestran sensibilidad a la radiación térmica y electromagnética, como el calor y la luz [27].

1.4.14.1.5. Nanopartículas Inorgánicas

Se ha investigado una variedad de materiales inorgánicos, como fosfato de calcio, oro, óxido de silicio, óxido de hierro y los hidróxidos dobles laminares (LDH). Las nanopartículas inorgánicas se caracterizan por su baja toxicidad y ofrecen la promesa de un suministro controlado, lo que las convierte en una alternativa innovadora a los vectores virales. Estas nanopartículas inorgánicas suelen presentar propiedades versátiles que son adecuadas para la entrega de sustancias a nivel celular, incluyendo una amplia disponibilidad, funcionalidad, buena biocompatibilidad y un gran potencial para la entrega dirigida, como la destrucción selectiva de células cancerosas mientras se preservan los tejidos normales, además de una liberación controlada de medicamentos [27].

1.4.14.1.6. Nanopartículas Metálicas

En la actualidad, se ha incrementado notablemente el interés en las nanopartículas metálicas debido a la amplia gama de aplicaciones que ofrecen tanto en el ámbito médico como en la industria. Los metales más comúnmente empleados en la síntesis de estas nanopartículas incluyen el oro (Au), la plata (Ag), el cobre (Cu), el cobalto (Co), el hierro (Fe), el zinc (Zn), el aluminio (Al), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb), como se menciona en un estudio realizado por Schrand y colaboradores en 2010. Estas nanopartículas presentan características distintivas, como tamaños que oscilan entre 10 y 100 nanómetros, una mayor área superficial y propiedades relacionadas con la superficie, como una mayor carga superficial y densidad de carga superficial [27].

1.4.14.1.7. Nanopartículas a base de Óxidos Metálicos

La rápida evolución de la nanotecnología ha dado lugar a una variedad de nanopartículas, específicamente óxidos metálicos, que tienen aplicaciones versátiles en múltiples sectores. En la actualidad, los óxidos metálicos desempeñan un papel fundamental en diversas disciplinas, como la química, la física y la ciencia de materiales. Los nanofluidos

que contienen óxidos metálicos se utilizan con frecuencia para mejorar la conductividad térmica y facilitar la transferencia de calor [27].

Entre los óxidos metálicos más comúnmente empleados se encuentran el óxido de aluminio (Al_2O_3), el óxido de magnesio (MgO), el óxido de cerio (CeO_2), el dióxido de titanio (TiO_2), el óxido de zinc (ZnO) y el óxido de hierro (Fe_2O_3). Estas nanopartículas de óxidos metálicos presentan propiedades físicas y químicas singulares [27].

1.4.14.1.8. Nanopartículas a base de Carbono

Las nanopartículas compuestas principalmente de carbono pueden dividirse en diversas categorías que incluyen fullerenos, grafeno, nanotubos de carbono (CNT), nanofibras de carbono y partículas de negro de humo o carbón activado en dimensiones nanométricas [27].

1.4.15. Surfactante

Los dispersantes o surfactantes constan de dos componentes: una porción hidrofóbica, generalmente una cadena de hidrocarburos larga, y una porción polar hidrofílica que se disuelve en agua. Se han empleado una variedad de surfactantes, conocidos también como dispersantes, para dispersar nanopartículas de diferentes composiciones en agua [30].

La incorporación de surfactantes o agentes dispersantes en las suspensiones de nanopartículas contribuye a mejorar tanto la estabilidad de los nanofluidos como la dispersión de las nanopartículas suspendidas. No obstante, estos compuestos modifican las características de transporte de los nanofluidos, como la viscosidad y la conductividad térmica [31].

1.4.15.1. Clasificación de los surfactantes

Los surfactantes se pueden categorizar en cuatro clases según su configuración molecular:

1.4.15.1.1. Surfactantes Aniónicos

Al igual que cualquier agente surfactante, los surfactantes aniónicos se componen de dos segmentos: uno con afinidad por el agua y otro que repela el agua. La porción hidrofílica, que tiene afinidad por el agua, porta una carga negativa, generalmente en la forma de un

grupo carboxilato (-COO-), sulfato (SO₄²⁻), sulfonato (SO₃⁻), o fosfato (PO₄³⁻). El segmento no polar está formado por diversos grupos alquilo [30].

1.4.15.1.2. Surfactantes Catiónicos

La porción hidrofílica de estos surfactantes presenta una carga positiva. Estos agentes surfactantes a menudo tienen una fuerte afinidad por diversos sustratos y muestran un alta "persistencia" en esta afinidad. Un rasgo experimental distintivo de estos compuestos es su capacidad para modificar las propiedades superficiales, transformando una superficie hidrofílica en una hidrofóbica y viceversa [30].

1.4.15.1.3. Surfactantes No-iónicos

Los surfactantes no iónicos son compuestos surfactantes que carecen de grupos funcionales que puedan disociarse o ionizarse, lo que significa que no se separan en iones cuando se encuentran en agua. Al igual que cualquier otro surfactante, están compuestos por una porción polar y una porción no polar. La porción no polar suele consistir principalmente en una cadena alifática que varía típicamente entre C12 y C18, aunque también existen surfactantes no iónicos con estructuras no alifáticas. Los grupos polares suelen estar compuestos por grupos como alcoholes o éteres, como el óxido de polietileno. La característica distintiva de estos surfactantes es su número HLB, por sus siglas Hydrophilic-Lipophilic Balance en el idioma inglés, que indica su solubilidad en agua, siendo mayor el valor de HLB cuando el surfactante es más soluble en agua [30].

1.4.15.1.4. Surfactantes Anfóteros

Se trata de surfactantes que tienen una parte con carga positiva (catiónica) y una parte con carga negativa (aniónica). La designación "anfótero" impone limitaciones adicionales, ya que la carga de la molécula varía en función del pH [30].

1.4.16. Criterios de Maquinabilidad

Trent insiste que la evaluación de la maquinabilidad se basa en criterios como la vida útil de la herramienta, la tasa de eliminación de metal, las fuerzas de corte, el acabado superficial y la forma de la viruta. También menciona la buena maquinabilidad en general de metales como el aluminio, el magnesio, el cobre, el acero y el hierro. Se pueden especificar algunas pruebas ad hoc útiles para predecir la vida útil de la herramienta; para

tasas de remoción de metal; o para el consumo de energía bajo conjuntos particulares de condiciones de operación [32].

1.4.16.1. *Vida útil de la herramienta*

Es la cantidad de tiempo que una herramienta permanece operativa hasta que ocurre una falla en el estado actual del perfil de operación, o la vida que le queda desde el momento actual hasta la falla [33].

1.4.16.2. *Tasa de eliminación de metal*

Es una medida del volumen de material extraído de un componente en un período de tiempo específico. Está determinado por el volumen eliminado durante el proceso de mecanizado [34].

1.4.16.3. *Fuerzas de corte*

Dado que proporciona la fuerza necesaria para cortar secciones transversales de virutas y la energía necesaria para el proceso, es una de las variables más cruciales que deben gestionarse durante los procesos de corte [35].

1.4.16.4. *Acabado superficial*

Es crucial determinar el acabado superficial o la rugosidad, ya que estas características tienen un impacto significativo en la capacidad de desgaste, la lubricación, la resistencia a la fatiga y la apariencia externa de una pieza o material. El grado de rugosidad es crucial tanto en la vida cotidiana como en aplicaciones industriales [36].

1.4.17. *Modelos de Desgaste para Mecanizado*

1.4.17.1. *Modelo de Archard*

Formulado en 1953, el modelo Archard para el desgaste por superficie no sellada propone una variación del desgaste que es inversamente proporcional a la durabilidad del material y directamente proporcional a la carga aplicada [37].

El modelo propuesto se basa en la interacción mecánica de asperezas en la interfaz de contacto. La hipótesis fundamental establece que la cantidad de material perdido debido al desgaste es proporcional a la carga normal aplicada y a la distancia relativa de deslizamiento entre superficies [38].

1.4.17.2. *Modelo de Takeyama y Murata*

Takeyama y Murata plantearon la hipótesis en 1962 de que la adición típica del proceso de desgaste por difusión al desgaste mecánico explica el desgaste de las herramientas de corte. Por el contrario, el desgaste por difusión depende del tiempo y la temperatura en el contacto, mientras que el desgaste mecánico y abrasivo está determinado por la cantidad de material eliminado y la resistencia a la abrasión del material de la herramienta [38].

1.4.17.3. *Modelo de Kitagawa - Kubo – Maekawa*

Estos investigadores propusieron en 1997 la hipótesis de que el fallo o de mejor manera dicha el desgaste de la herramienta se debe a una combinación de abrasión dependiente de la temperatura y adhesión termoactivada [38].

1.4.17.4. *Modelo de Molinari y Nouari*

Basados en los principios de Fick, Molinari y Nouari introdujeron dos modelos de difusión intrigantes en 2002. El primero analiza cómo la profundidad del cráter cambia con el tiempo teniendo en cuenta la temperatura constante de la interfaz de contacto. En el segundo, se tiene en cuenta la distribución de temperatura a lo largo de la longitud de contacto al calcular la profundidad del cráter [38].

1.4.18. *Homogenización*

Un tratamiento complementario es aquello que estandariza la estructura o contenido de un fármaco o mezcla de sustancias por medios químicos o físicos. El fluido debe agitarse en todas las secciones del recipiente para que el proceso de homogeneización sea efectivo. Esto está determinado por la velocidad angular del eje de trabajo, lo que garantiza que las corrientes creadas se dirijan eficazmente teniendo en cuenta la turbulencia del fluido e induce un gradiente de velocidad del fluido [39].

En este estudio, la homogeneización para la formación de nanofluidos se facilita mediante un homogeneizador el cual es un equipo que facilita la mezcla, emulsificación y homogeneización de sustancias [39].

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Métodos

2.1.1. Nivel o tipo de investigación

Exploratorio

Con el presente método exploratorio se pretende llevar a cabo una investigación de los parámetros inmiscuidos en el presente proyecto, establecer criterios de lubricación para el mecanizado de los aceros AISI 304 y AISI 1018, tras indagar los resultados obtenidos donde compartirán relación y serán de gran ayuda identificar las propiedades para establecer las diferencias e influencias de temperatura en la remoción del material

Descriptivo

En el presente proyecto se desarrollará el método descriptivo por tratarse de un trabajo netamente experimental tiene una gran importancia el registro con gran detalle para no omitir ningún dato relevante para la determinación de los resultados.

Bibliográfico

El presente proyecto tiene como característica fundamental el desarrollo y uso del método bibliográfico para la obtención de fundamentación teórica de estudios previos realizados relacionados a tema propuesto en artículos científicos, bases de datos, revistas, tesis, entre otros, en un carácter internacional, debido a que es novedoso en el medio.

Experimental

El presente proyecto se trabajará con variables de estudios las cuales estarán en constante cambio, por lo que se controlará la influencia de estos cambios en las conductas que se observan. Debido a esto este proyecto es de tipo experimental ya que consiste en alterar el valor de una variable independiente y observar el impacto resultante en una variable dependiente.

2.2. Materiales

Son los elementos físicos que se utilizarán para el desarrollo del análisis y estudio experimental propuesto con la finalidad de cumplir los objetivos propuestos en el presente documento.

2.2.1. Probetas AISI 1018

Este acero posee propiedades aptas para los procesos de maquinabilidad propiedades como las mecánicas lo colocan entre los aceros más utilizados en el sector industrial. Se lo encuentra estirado en caliente o frío; aunque se obtiene un resultado más favorable en los laminados en frío por sus terminados, ya que sus propiedades variarán dependiendo del tipo de laminado que se obtenga. Las propiedades del AISI 1018 se muestran en la tabla 5. [40] La ficha técnica del acero utilizado se encuentra en el Anexo F del presente documento.

Tabla 5. Propiedades AISI 1018 [41].

| Propiedades físicas y mecánicas | | |
|--|-------------------|-------------------|
| Composición química | | |
| Magnesio (Mn) % | 0.6-0.9 | |
| Carbono (C _{máx}) % | 0.17-0.2 | |
| Hierro (Fe) % | 98.81-99.26 | |
| Fosforo (P) % | 0.04 | |
| Azufre (S) % | 0.05 | |
| Propiedades mecánicas | | |
| Dureza Brinell | 126 | HB |
| Límite de Fluencia | 3.7×10^8 | N/m ² |
| Resistencia a la tracción | 4.4×10^8 | N/m ² |
| Alargamiento (rotura) | 15 | % |
| Coefficiente de Poisson | 0.29 | |
| Propiedades físicas | | |
| Peso específico | 7870 | kg/m ³ |
| Módulo de elasticidad | 2×10^8 | kN/m ² |
| Conductividad térmica | 51.9 | W/m – K |
| Calor específico | 486 | J/kg K |

2.2.2. Probetas AISI 304

Este acero inoxidable es austenítico, su composición consta de una aleación de cromo-níquel (CR-Ni) que posee resistencia a los agentes corrosivos del agua, soluciones alcalinas, ácidos y ataque químicos expuestos en el medio ambiente, este material es adecuado para procesos de mecanizado por arranque de viruta, suele ser muy utilizado en la industria ya que tiene excelentes propiedades mecánicas. Las propiedades del AISI 304 se observan en la tabla 6[42]. La ficha técnica del acero utilizado se encuentra en el Anexo F del presente documento.

Tabla 6. Propiedades AISI 304 [41].

| Propiedades físicas y mecánicas | | |
|--|--------------------------|-------------------|
| Composición química | | |
| Magnesio (Mn) % | 2 | |
| Carbono (Cmax) % | 0.07 | |
| Silicio (Si) % | 1 | |
| Cromo (Cr) % | 17.5-19.5 | |
| Níquel (Ni) % | 8-10.5 | |
| Fosforo (P) % | 0.05 | |
| Azufre (S) % | 0.03 | |
| Nitrógeno (N) % | 0.11 | |
| Propiedades mecánicas | | |
| Dureza Brinell | 123 | HB |
| Límite de Fluencia | 2.15×10^8 | N/m ² |
| Resistencia a la tracción | $4.9 - 6.86 \times 10^8$ | N/m ² |
| Alargamiento (rotura) | 70 | % |
| Contracción mínima | 50 | % |
| Propiedades físicas | | |
| Peso específico | 8000 | kg/m ³ |
| Módulo de elasticidad | 1.93×10^8 | kN/m ² |
| Conductividad térmica | 16.2 | W/m – K |
| calor específico | 500 | J/kg K |

Dimensionamiento de probetas.

La norma ISO 8688-1 1989 establece el dimensionamiento de las probetas para los aceros a mecanizar en este caso tanto el acero AISI 1018 y AISI 304 establece 0.6 veces del diámetro del empuñe de la fresa (37.8 mm para D = 63 mm) y una longitud de mecanizado

de 3 veces mínimo el diámetro para realizar con los tiempos determinados la evaluación del desgaste del flanco sea inaceptable.

Plaquitas de carburos sinterizadas para el proceso de fresado.

El presente trabajo tiene propósito la continuación de las investigaciones previas, para aquello se consideró la selección de plaquitas de carburo, para el proceso de fresado, se consideró uno de los proveedores más importantes y comerciales en el sector.

Selección de geometría e inserto.

La fresa para el proceso de fresado se seleccionó de acuerdo con el catálogo del fabricante y el número de serie apto para el trabajo en materiales P y M, como se muestra en la figura 22. Por ello se dispone de una fresa con las siguientes características. El extracto del catálogo mencionado se encuentra en el Anexo E del presente documento.

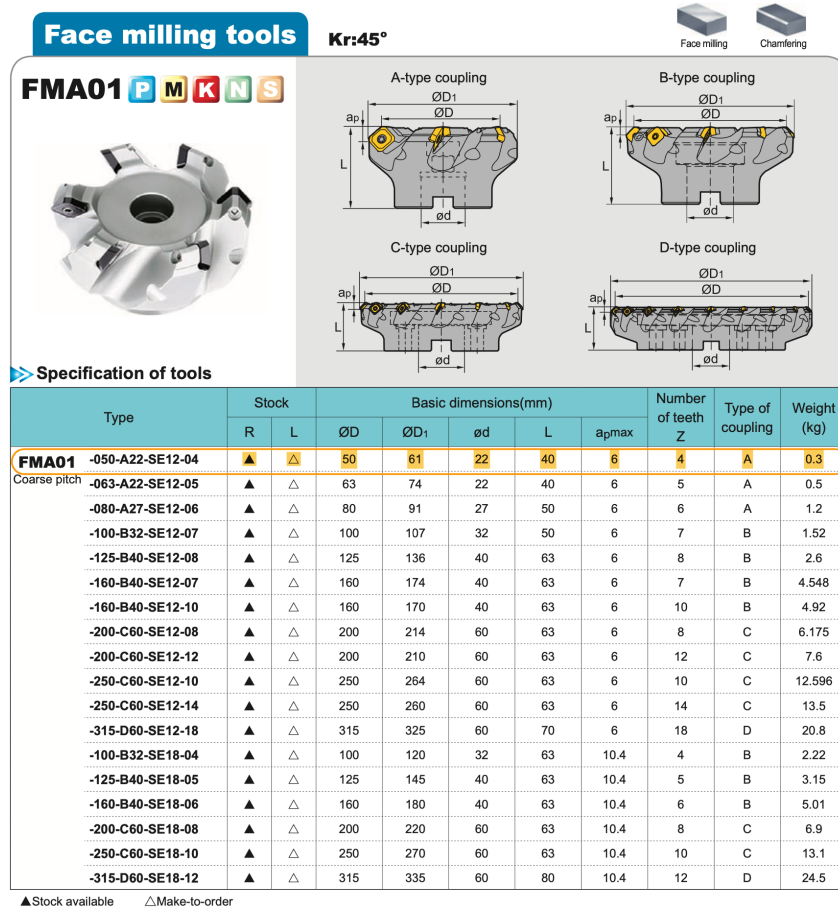


Figura 22. Selección de Fresa [43].

Los parámetros de selección de la calidad de la fresa se presentan en la figura 22 según dimensiones proporcionadas por la fresa disponible, con ayuda de la norma ISO 13399 en el sistema métrico, además se enlistan todas las características de la fresa su respectiva selección y clave de códigos.



Figura 23. Codificación de la fresa para su selección.

Codificación para la selección de la fresa según la norma ISO 13399

En la figura 23 se representa la codificación de la fresa seleccionada según la norma ISO 13399 y en la tabla 7 se exponen las características de la fresa.









1. Tipo de corte
2. Ángulo de aproximación
3. Código de serie
4. Diámetro de corte
5. Tipo de acoplamiento
6. Tamaño de acoplamiento

Tabla 7. Características de la fresa.

| Código: FMA01-050-A22-SE12-05 | | |
|--------------------------------------|-------------------|---------|
| Clave de códigos de la fresa | | |
| Tipo de fresa | Fresado a derecha | |
| Código principal | FMA01 | |
| Diámetro de corte | 63 | mm |
| Tipo de acoplamiento | Montaje en eje mm | Mm |
| Tamaño de acoplamiento | 22 | Mm |
| Numero de dientes | 5 | dientes |








- a) Forma del inserto: se seleccionó la letra “S” como la designación de las plaquitas o insertos tipo cuadrado. En la tabla 8 se indican los tipos de geometría del inserto y la geometría seleccionada.

Tabla 8. Tipos de Geometrías para el inserto [44].

| Símbolo | Geometría del inserto | |
|-------------------------|-----------------------|--|
| N | Heptagonal |  |
| O | Octagonal |  |
| S | Cuadrado |  |
| T | Triangular |  |
| C | Rómbico 80° |  |
| M | Rómbico 86° |  |
| A | Paralelogramo 85° |  |
| R | Redondo |  |
| X | Especial | — |
| W | Wiper | — |
| ① Geometría del inserto | | |

- a) Angulo de incidencia: Debido a la geometría de la fresa se escogió la letra “C”, la cual representa un ángulo de incidencia de 7° como lo indica la tabla 9.

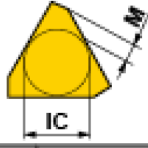

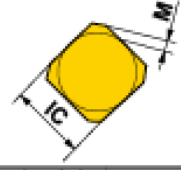
Tabla 9. Ángulos posibles del inserto [44].

| Símbolo | Angulo de incidencia | AN |
|------------------------|---------------------------|---|
| C | 7° |  |
| D | 15° |  |
| E | 20° |  |
| F | 25° |  |
| G | 30° |  |
| N | 0° |  |
| P | 11° |  |
| O | Otro ángulo de Incidencia | |
| X | Otro ángulo de Incidencia | |
| ② Ángulo de Incidencia | | |

- b) Tolerancia

Se selecciona la tolerancia de los insertos como lo indica la tabla 10.

Tabla 10. Tolerancia de insertos [44].

| ③ Clase de Tolerancia | | | |
|-----------------------|---|---|--|
| |  |  |  |
| Símbolo | Tolerancia M (mm) | Tolerancia del círculo inscrito IC (mm) | Tolerancia del espesor S (mm) |
| A | ± 0.005 | ± 0.025 | ± 0.025 |
| C | ± 0.013 | ± 0.025 | ± 0.025 |
| E | ± 0.025 | ± 0.025 | ± 0.025 |
| G | ± 0.025 | ± 0.025 | ± 0.13 |
| K* | ± 0.013 | $\pm 0.05 - \pm 0.15$ | ± 0.025 |
| M* | $\pm 0.08 - \pm 0.18$ | $\pm 0.05 - \pm 0.15$ | ± 0.13 |
| N* | $\pm 0.08 - \pm 0.18$ | $\pm 0.05 - \pm 0.15$ | ± 0.025 |

La superficie del inserto con la marca * es sinterizada

c) Forma – rompe viruta

En la tabla 11 se selecciona los parámetros de Forma y Rompevirutas.





Tabla 11. Forma - Rompe viruta [44].

| ④ Sujeción y/o rompevirutas | | | | |
|-----------------------------|-------------|---|--------------|--|
| Símbolo | Agujero | Configuración de agujero | Rompe Viruta | Figura |
| W | Con agujero | Agujero cilíndrico + | No |  |
| T | Con agujero | Avellanado (40°–60°) | Una Cara |  |
| B | Con agujero | Agujero cilíndrico + Avellanado (70°–90°) | No |  |
| N | Sin Agujero | – | No |  |
| R | Sin Agujero | – | Una Cara |  |
| X | – | – | – | Especial |

d) Tamaño del inserto

En la tabla 12 se selecciona los datos para el tamaño del inserto.


Tabla 12. Medidas de los insertos [44].

| Símbolo | | | | Diámetro del Círculo Inscrito |
|---|---|---|---|-------------------------------------|
|  |  |  |  | |
| | 06 | 06 | 11 | 6.35 |
| | 08 | 07 | 13 | 7.94 |
| | 09 | 09 | 16 | 9.525 |
| 10 | | | | 10.00 |
| 12 | | | | 12.00 |
| | 12 | 12 | 22 | 12.70 |
| | 16 | 15 | 27 | 15.875 |
| 20 | | | | 20.00 |
| ⑤ Tamaño del Inserto | | | | |

e) Espesor el inserto:

En la tabla 13 se selecciona el espesor del inserto.

Tabla 13. Espesor de los insertos [44].

|  | |
|---|--------------------------------|
| Símbolo | Espesor del Inserto (mm) |
| 03 | 3.18 |
| T3 | 3.97 |
| 04 | 4.76 |
| ⑥ Espesor del Inserto | |

Forma de la plaquita.

- S P 12 - 06 L C

Figura 24. Codificación del inserto para su selección [46].

1. Tipo de geometría
2. Angulo de incidencia
3. Longitud de filo de corte
4. Numero de dientes
5. Dirección de corte

Codificación del inserto

Operación mediante la consideración de parámetros en el catálogo del proveedor y bajo la nomenclatura expuesta en la figura 24 la codificación de la nomenclatura del inserto es “SEET12T3-DM” como se indica en la figura 25.

Selection of inserts

| Insert shape | Type | Basic dimensions (mm) | | | | | | CVD Coating | | | | | | | | | | PVD Coating | | | | Cermel | | Cemented carbide | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------|-----------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-----|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--|--|--|
| | | L | ØL.C | S | ød | bs | R | YBC301 | YBC302 | YBM201 | YBM203 | YBM301 | YBD102 | YBD202 | YBS102 | YBS202 | YBS302 | YBS502 | YBS602 | YBS802 | YBS902 | YBS102 | YBS202 | YBS302 | YBS402 | YBS502 | YBS602 | YBS702 | YBS802 | YBS902 | YBS102 | YBS1102 | YBS1202 | | | |
| | SEET12T3-DF | 13.4 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 2.55 | -- | ★ | ★ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET12T3-CF | 13.4 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 2.55 | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET12T3-EF | 13.4 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 2.55 | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET12T3-DM | 13.4 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 2.55 | -- | ★ | ★ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET12T3-CM | 13.4 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 2.55 | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET12T3-EM | 13.4 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 2.55 | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET18T6-DM | 18.0 | 18.0 | 6.1 | 5.5 | 1.5 | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET18T6-EM | 18.0 | 18.0 | 6.1 | 5.5 | 1.5 | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET12T3-DR | 13.4 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 2.55 | -- | ★ | ★ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET12T3-CR | 13.4 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 2.55 | -- | ★ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET12T3-LH | 13.4 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 2.55 | -- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET12T3-W | 17.82 | 13.4 | 3.97 | 4.1 | 9.46 | 500 | ★ | ★ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SEET18T6-W | 24.78 | 18.0 | 6.1 | 5.5 | 11.0 | 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

★Recommended grade (always stock available) ●Available grade (always stock available) ○Make-to-order

Figura 25. Selección del inserto [43].

Selección de la calidad de la plaquita para el proceso de fresado del acero AISI 304 y AISI 1018.

Tabla 14. Características de la plaquita seleccionada.

| Clave de códigos de la plaquita | | |
|--|-----------------|--------------------------|
| Sentido de la plaquita | A derecha | |
| Código principal | YBG202 | |
| Anchura de la plaquita | 13.4 | mm |
| Operación | T3 s=3.97 | S=3.97 mm |
| Numero de filos | 4 | |
| Radio de punta | 2.55 | mm |
| Rendimiento del filo | k | Agudeza de corte elevada |
| Área de aplicación | P,M | |
| Operación | Desbaste, Medio | |

Las características del inserto o plaquita seleccionada se indican en la tabla 14.

Se establece la calidad GC1040 (HC) de metal duro de una calidad tenaz con recubrimiento fino de PVD para procesos de acabado y desbaste en condiciones favorables y desfavorables; inestables e inestables para recorridos complejos y materiales pastosos. El tipo de plaquita para la operación de planeado y acabado tiene la designación SEET 12T3-DM YBG202

Datos de la herramienta de corte seleccionada

En la figura 26 se puede observar los distintos parámetros de cotas correspondientes al tipo de plaquita previamente seleccionada, así también, en la tabla 18 se describe los valores correspondientes a las cotas señaladas.

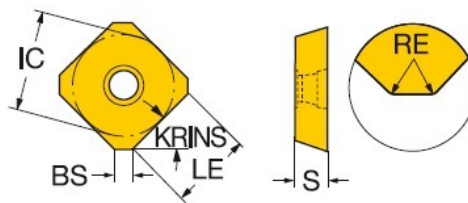


Figura 26. Codificación de cotas del inserto [46].

Datos de corte especificado por el fabricante

En la tabla 15 se indican las medidas del inserto seleccionado.

Tabla 15. Medidas del inserto.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|------------------------------------|-------|-----------|
| Diámetro del círculo inscrito (IC) | 13.4 | mm |
| Longitud efectiva (LE) | 10 | mm |
| Radio de punta (RE) | 2.54 | mm |
| Espesor(S) | 3.97 | mm |
| Recubrimiento | N/A | PVD TiAlN |

En la tabla 16 se muestran los datos de corte que da el fabricante.

Tabla 16. Datos de corte recomendado [46].

| 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 | ≤180 | 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 | 180-280 | 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 | 280-350 | | | 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 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) | | |
| | | | -EF | -EM | | | | | |
| M | | | Stainless steel Rostfreier Stahl | ≤270 | YBM251 | 150 (120-240) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | |
| | YBG202 YBG205 | 190 (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 | 180-250 | YBG102 | 210 (120-300) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | | | |
| | | | YBD152 | 240 (180-300) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | | | |
| | | | | | | -CF | -CM | -CR | |
| N | Al alloy NE-Metalle | - | YD101 | 300- | 0.25 (0.1-0.4) | | | | |
| | | | YD201 | 300- | | | | | |
| S | High temperature alloy Hoch wärmfeste Leg. | ≤400 | YBG202 | 40(20-50) | 0.1 (0.1-0.2) | 0.15 (0.1-0.3) | | | |
| | | | | | | -EF | -EM | | |

Datos de corte del fabricante

Acero AISI 1018

Tabla 17. Datos de corte recomendados por el fabricante para AISI 1018.

| Parámetro | Unidad | AISI 1018 | | |
|------------------------------------|-----------|-----------|--------|-------------|
| | | Mínimo | Máximo | Recomendado |
| Velocidad de corte V_c | m/min | 270 | 360 | 270 |
| Avance por diente f_z | mm/diente | 0.1 | 0.2 | 0.15 |
| Espesor de la viruta máximo hex | mm | 0.07 | 0.2 | - |

En la tabla 17 y 18 se indican los parámetros de corte que recomienda el fabricante para los aceros AISI 1018 y 304 respectivamente.

Acero AISI 304

Tabla 18. Datos de corte recomendados por el fabricante para AISI 304.

| Parámetro | Unidad | AISI 304 | | |
|------------------------------------|-----------|----------|--------|-------------|
| | | Mínimo | Máximo | Recomendado |
| Velocidad de corte V_c | m/min | 110 | 270 | 190 |
| Avance por diente f_z | mm/diente | 0.1 | 0.2 | 0.15 |
| Espesor de la viruta máximo hex | mm | 0.07 | 0.2 | |

2.2.3. Nanofluidos TiO_2

Las partículas denominadas de dióxido de titanio son obtenidas de varios tipos de minerales como la atanasa, el rutilo y la bakelita, este es un mineral blanco no soluble, para que se pueda considerar como nanopartícula el gránulo debe tener de medida menos de 100 nm como se detalla en la tabla 19, es de color blanco debido a que suele utilizarse

como pigmento inorgánico y sus propiedades más importantes son de absorción, reflejo de calor y radiación.

Los nano fluidos TiO_2 tienen su presentación comercial como se muestra en la Figura 27. La ficha técnica de este producto se encuentra en el Anexo D del presente documento.



Figura 27. Nanofluidos TiO_2 .

Tabla 19. Propiedades de las nanopartículas de óxido de Titanio.

| Propiedad | Magnitud |
|-------------------------------|----------|
| Diámetro (nm) | 100 |
| Pureza (%) | 99.9 |
| Área superficial (m^2/kg) | 85000 |
| Densidad real (kg/m^3) | 3900 |
| PH | 6-6.5 |

2.2.4. Nanofluidos Al_2O_3

Las nanopartículas de óxido de alúmina (con un grado de pureza 99+%) se adquieren a la empresa US Reserch Nanomaterials Inc. Estas partículas presentan un tamaño de grano de 80 nm y las propiedades según el fabricante se muestran en la tabla 20. El aceite tiene su presentación comercial como se muestra en la figura 28. La ficha técnica de este producto se encuentra en el Anexo D del presente documento.



Figura 28. Nanofluidos Al₂O₃.

Tabla 20. Propiedades de las nanopartículas de Alúmina.

| Propiedad | Magnitud |
|---------------------------------------|----------|
| Diámetro (nm) | 80 nm |
| Pureza (%) | 99+% |
| Área superficial (m ² /kg) | 15000 |
| Densidad real (g/cm ³) | 3970 |

2.2.5. Aceite Lubricante

Es un lubricante natural especialmente diseñado para materiales de origen ferroso, no tiene olor a azufre, es una combinación distintiva de varios aditivos de presión extremadamente alta que reducen las manchas en el material[45]. El aceite tiene su presentación comercial como se muestra en la figura 29 y sus propiedades son las detalladas en la tabla 21. La ficha técnica de este producto se encuentra en el Anexo C del presente documento.



Figura 29. Aceite Coolube 2210XP [40]

Tabla 21. Propiedades del Aceite Coolube 2210XP.

| Propiedad | Magnitud |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Viscosidad (40 °C) | 10 mm ² /s |
| Capacidad de vertido | -12 a -20 °C |
| Área superficial (m ² /kg) | 15000 |
| Densidad real (kg/m ³) | 890 |

2.2.6. CO₂

El sistema de refrigeración criogénica se suministra a la zona de corte a través de diversas tuberías y equipos o aparatos. El líquido criogénico se almacena en recipientes cilíndricos donde se encuentra a 60 bares almacenado y se controla la presión a través de los manómetros el cual indica la presión de salida en boquilla del tanque y la vaporización a través de las válvulas. El proceso de aplicación se lo realiza de manera interna a través de la herramienta y de manera externa donde ingresa en la proximidad más cercana a la interfaz de la herramienta/viruta/pieza; este se lo puede suministrar a través de una boquilla, para tener un mejor rendimiento de la temperatura pieza-herramienta es necesario tener la boquilla de pulverización. Es necesario evitar las obstrucciones por aglomeración de hielo seco y garantizar la mezcla del fluido criogénico con el aceite lubricante cuando llegue a la zona de corte sin ayuda de ningún tipo. En la figura 30 se muestra el cilindro con el fluido criogénico.



Figura 30. Tanques de Dióxido de Carbono.

2.2.7. Fresadora

En la fresadora CNC Travis modelo M-1000 ubicada en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se adaptó un sistema de lubricación y refrigeración este es un centro de mecanizado CNC el cual posee un rango de velocidades del husillo de 0-6000 rpm donde se configuro los parámetros de corte para efectuar el proceso de mecanizado de desbaste hasta obtener los resultados planteados. En la figura 31 se observa la fresadora utilizada.



Figura 31. Fresadora Travis del Laboratorio de Ingeniería Mecánica.

2.2.8. Rugosímetro SJ-210

Para la medición de la rugosidad superficial en el presente trabajo experimental propuesto, en las probetas seleccionadas una vez aplicado el mecanizado fresado, se utilizó el “Rugosímetro Mitutoyo SJ-210”. Este instrumento nos permite la medición portátil mediante el diseño ergonómico, batería portátil y 0.5 kg un peso neto, permitiendo el manejo del instrumento de manera cómoda y sencilla y siendo ideal para aplicaciones de campo. El rugosímetro SJ-210 consta de dos partes principales, la “Unidad de Drive”, donde se encuentra los parámetros generales de medición, normas, velocidades de medición, control del detector, un palpador de punta de diamante con una presión de 0.75 mN, ángulo de 60° y un radio de 2 μm . En la figura 32 se muestra el Rugosímetro utilizado.



Figura 32. Rugosímetro SJ-210.

2.2.9. Microscopio electrónico de barrido

Para la medición del desgaste de los insertos en el presente trabajo experimental se utilizó el equipo Microscopio Electrónico de Barrido mostrado en la figura 33. Este equipo puede crear imágenes de alta resolución de la superficie de una pantalla mediante el uso de interacciones electrón y materia.

Como resultado, se emiten diferentes clases de electrones y un detector cuenta el número de electrones secundarios de baja energía emitidos por cada punto de la superficie. Dado que se utilizan haces de electrones en lugar de haces de luz, se tratan mediante un condensador y lentes llamados objetivo (todas las lentes son lentes magnéticas) y luego se usan para realizar un barrido a lo largo de toda la pieza con ayuda de las bobinas de escaneo [46].



Figura 33. Microscopio Electrónico de Barrido.

2.2.10. MQL

El sistema de cantidad mínima de lubricante, también conocido como MQL se puede observar en la figura 34, este tiene como objetivo principal reducir drásticamente el uso de lubricante durante el proceso de mecanizado. Esto le permite utilizar niveles

aproximadamente 10.000 veces inferiores a los utilizados en el proceso de lubricación convencional [47]. La ficha técnica de este sistema se encuentra en el Anexo B del presente documento.



Figura 34. Sistema de cantidad mínima de lubricante.

2.2.11. Suministro de aire comprimido

El suministro de aire proviene de la instalación de aire generado por un compresor de 5 hp la cual distribuye el aire a presión al sistema de MQL a través de la manguera que es controlada de forma manual y válvulas.

2.3. Metodología

2.3.1. Diseño de experimentos

Para el estudio propuesto se emplea un diseño ortogonal de Taguchi

Para analizar de una manera más centrada los efectos de los parámetros de corte y el fluido de trabajo propuesto en la rugosidad superficial de los aceros AISI 1018 y acero inoxidable AISI 304 y el desgaste de las herramientas de corte carburadas, se propone un experimento diseñado por Taguchi el cual permite elegir parámetros más enfocados al resultado efectivo. En la tabla 22 se indican los parámetros de control para el diseño de experimentos.

Tabla 22. Parámetros de control del Diseño de Experimentos.

| Parámetros de Control | | | | | |
|-----------------------|--------|----------|--|-----------|--|
| Nombre | Unidad | Niveles | | | |
| Acero | N/A | AISI 304 | | AISI 1018 | |
| Velocidad de Corte | m/min | 190 | 270 | 270 | 360 |
| Fluido de trabajo | M/A | MQL | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico | MQL | MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico |

2.3.2. Diseño Factorial

Para el diseño factorial involucra parámetros de dependientes y el número de variables independientes para estimar todas las combinaciones posibles. El número de combinaciones o estimaciones se estima mediante la formula.

$$A = F^n \quad (6)$$

Donde:

A: Combinaciones o arreglos (números de corridas)

F: Factores independientes

n: Factores dependientes (número de niveles)

Datos:

Factores independientes (*F*): 3

Número de niveles (*n*): 2

$$L = n^F$$

$$L = 2^3$$

$$L = 8$$

Resultado: Diseño factorial L8

Se obtiene un diseño por Taguchi de 8 despreciando factores externos que inmiscuyan dentro del proceso, ya que el principal objetivo del presente trabajo es analizar únicamente el efecto de MQL (Mínima cantidad de lubricante) combinando con Np (Nanopartículas) Dióxido de Titanio TiO_2 y el sistema de refrigeración criogénica CO_2 , estas se describen en la tabla 23.

Tabla 23. Factores de Control para la experimentación.

| Factores de control | | | |
|----------------------------|------------------------------------|--|-----------------|
| <i>Experimentos</i> | Velocidad de corte (mm/min) | Fluido de trabajo | <i>Material</i> |
| 1 | 270 | MQL | Acero AISI 1018 |
| 2 | 360 | | |
| 3 | 270 | MQL + 0.5%Nano TiO_2+CO_2 criogénico | |
| 4 | 360 | | |
| 5 | 190 | MQL | Acero AISI 304 |
| 6 | 270 | | |
| 7 | 190 | MQL + 0.5%Nano $Al_2O_3+CO_2$ criogénico | |
| 8 | 270 | | |

Con la finalidad de obtener buena confiabilidad se realizarán tres repeticiones para analizar el desgaste de la herramienta de corte y evaluar la rugosidad superficial.

Determinación de parámetros de corte

Para la determinación de las velocidades de corte y profundidades de corte se tomaron en cuenta las velocidades recomendadas por el fabricante para los insertos seleccionados; las velocidades del husillo y avance se calcula mediante las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. A continuación, se describe los resultados obtenidos.

Acero AISI 1018

Velocidad del husillo promedio

$$n = \frac{1000 * V_C}{\pi * D}$$
$$n = \frac{1000 * 270 \frac{mm}{min}}{\pi * 63 mm}$$
$$n = 1360 rpm$$

Para este caso, se utiliza una velocidad $V_C = 270$ m/min

Velocidad del husillo máximo

$$n = \frac{1000 * V_C}{\pi * D}$$
$$n = \frac{1000 * 360 \frac{mm}{min}}{\pi * 63 mm}$$
$$n = 1810 rpm$$

Para el segundo caso, se utiliza una velocidad $V_C = 360$ m/min

Velocidad de corte promedio

$$Vf = f_z * n * Z_C$$
$$Vf_1 = 0.1 * (1360 rpm) * 5$$
$$Vf_1 = 680 mm/min$$

Velocidad de corte máximo

$$Vf = f_z * n * Z_C$$
$$Vf_1 = 0.1 * (1810 rpm) * 5$$
$$Vf_1 = 920 mm/min$$

Profundidad de corte

La profundidad de corte para el proceso se encuentra en el rango recomendado por el fabricante para el proceso de desbaste $ap = 1.5 \text{ mm}$

Acero AISI 304

Velocidad del husillo promedio

$$n_1 = \frac{1000 * V_C}{\pi * D}$$
$$n_1 = \frac{1000 * 190 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}{\pi * 63 \text{ mm}}$$
$$n_1 = 960 \text{ rpm}$$

Para el este caso, se utiliza una velocidad $V_C = 190 \text{ m/min}$

Velocidad del husillo máximo

$$n_2 = \frac{1000 * V_C}{\pi * D}$$
$$n_2 = \frac{1000 * 270 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}{\pi * 63 \text{ mm}}$$
$$n_2 = 1360 \text{ rpm}$$

Para el segundo caso, se utiliza una velocidad $V_C = 270 \text{ m/min}$

Velocidad de avance promedio

$$Vf = f_z * n * Z_C$$
$$Vf_1 = 0.1 * (960 \text{ rpm}) * 5$$
$$Vf_1 = 480 \text{ mm/min}$$

Velocidad de avance máximo

$$Vf = f_z * n * Z_C$$
$$Vf_1 = 0.1 * (1360 \text{ rpm}) * 5$$

$$Vf_1 = 680 \text{ mm/min}$$

Profundidad de corte

La profundidad de corte para el proceso se encuentra en el rango recomendado por el fabricante para el proceso de desbaste

$$ap = 0.5 \text{ mm}$$

Fluido de corte

Al evaluar como un trabajo experimental se determinaron dos condiciones de corte, Mecanizado con un sistema MQL (Mínima cantidad de lubricante) y utilizando un sistema de lubricación híbrida donde se involucra el uso del dióxido de carbono y el sistema MQL (Mínima cantidad de lubricante) homogenizado con nanopartículas tanto de Dióxido de carbono (TiO_2) y Oxido de alúmina (Al_2O_3) seleccionados en las secciones previas.

Homogenización de Nanopartículas

Para homogenizar las nanopartículas se debe utilizar al homogenizador del laboratorio de metalografía de la carrera de Mecánica, el cual se lo debe preparar con las condiciones necesarias para que el proceso sea ejecutado correctamente. Se debe regular la velocidad del homogenizador a 3500 RPM, lo que representa aproximadamente el 45% de la velocidad total del homogenizador y se lo deja por una hora y treinta minutos.

Para el proceso de homogenización del aceite junto con las nanopartículas se utilizó la balanza electrónica, con ayuda de esta se puede conocer exactamente la cantidad necesaria de nanofluido que se debe ponderar. Se pondera para el nanofluido el 0.5% del peso de aceite requerido, por lo que se debería colocar 1.2 gramos del nanofluido respectivo para una cantidad de 238.97 gramos o 250 mililitros en volumen de aceite como se muestra en la figura 35.



Figura 35. Ponderación del Aceite para Lubricación.

2.3.3. Funcionamiento del Sistema MQL e Híbrido.

Para poner en ejecución al sistema MQL, se debe verificar que la salida del fluido se encuentre en dirección hacia la zona de corte. Luego se da apertura al depósito de aire comprimido y posteriormente al tanque de MQL para iniciar el proceso de mecanizado.

Para poner en ejecución al sistema híbrido se debe verificar que las válvulas del CO₂ líquido y del gaseoso estén cerradas y que la salida de este se encuentre colocado en dirección a la zona de corte. Dar primero apertura a la válvula de CO₂ gaseoso y después a la válvula de CO₂ líquido, en este punto se debe verificar que no haya taponamientos en el ducto del sistema. Posteriormente se debe ejecutar el proceso para el sistema MQL descrito anteriormente; el esquema de estos sistemas se muestra en la figura 36.

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE REFRIGERACIÓN CRIOGÉNICO (CO) Y LUBRICACIÓN MQL (Mínima Cantidad de lubricante)

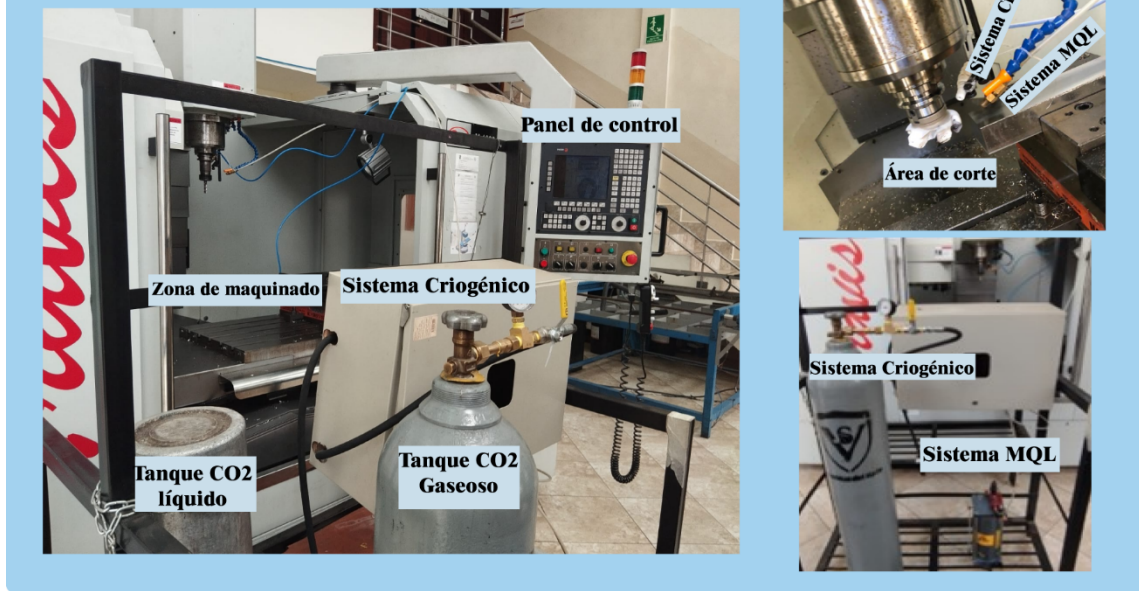


Figura 36. Esquema Funcionamiento de Sistema MQL e Híbrido.

2.3.4. Disposición y dirección de la Lubricación

La disposición de la lubricación se estructuró de tal manera que la dirección de ataque siempre sea en sentido de avance de la mesa y en dirección a la zona de contacto de la herramienta y la pieza de trabajo con un ángulo de ataque de 45° para las dos salidas de los fluidos utilizados para los métodos de lubricación y refrigeración utilizados como se muestra en la figura 37.

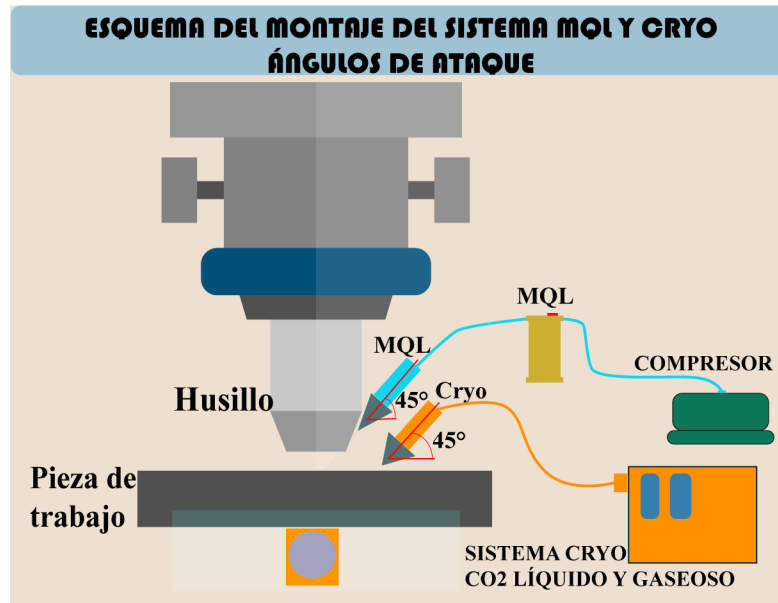


Figura 37. Disposición y dirección del sistema de Lubricación.

2.3.5. Norma ISO 4287

Cálculo de la rugosidad teórica

$$Ra = \frac{f^2}{32r}$$

$$Ra = \frac{0.15^2}{32(0.8)}$$

$$Ra = 1,2255 \times 10^{-4} mm$$

$$Ra = 0,878 \mu m$$

El resultado de la rugosidad teórica de $0,878 \mu m$ nos sirve para seleccionar la longitud de muestreo inicial, la cual nos ayudará a comparar con los resultados obtenidos con el rugosímetro.

Longitud de muestreo

En la tabla 24 se muestran las longitudes normalizadas de muestreo de la rugosidad.

Tabla 24. Longitudes normalizadas del muestreo de Rugosidad [48].

| Milímetros | Pulgadas | Milímetros | Pulgadas |
|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| 0,08 | 0,003 | 2,5 | 0,1 |
| 0,25 | 0,01 | 8,0 | 0,3 |
| 0,8 | 0,03 | 25,0 | 1,0 |

En la tabla 25 se muestran valores estimados para la longitud de muestreo.

Tabla 25. Valores estimados para la longitud de muestreo Ra [49].

| Ra (μm) | Longitud de muestreo de rugosidad (mm) |
|--------------------------------------|---|
| $(0,006) < \text{Ra} \leq 0,02$ | 0,08 |
| $0,02 < \text{Ra} \leq 0,1$ | 0,25 |
| $0,1 < \text{Ra} \leq 2$ | 0,8 |
| $2 < \text{Ra} \leq 10$ | 2,5 |
| $10 < \text{Ra} \leq 80$ | 8 |

De la tabla 25 se selecciona una longitud de muestreo de 0,8 mm

En la tabla 26 se muestran valores estimados para la longitud de muestreo Rz

Tabla 26. Valores estimados para la longitud de muestreo Rz [49].

| Rz (μm) | Longitud de muestreo de rugosidad (mm) |
|--------------------------------------|---|
| $(0,025) < \text{Rz} \leq 0,1$ | 0,08 |
| $0,1 < \text{Rz} \leq 0,5$ | 0,25 |
| $0,5 < \text{Rz} \leq 10$ | 0,8 |
| $10 < \text{Rz} \leq 50$ | 2,5 |
| $50 < \text{Rz} \leq 200$ | 8 |

De la tabla 26 se selecciona una longitud de muestreo de 0,8 mm que se encuentra dentro del rango de 0,5 a 10 μm .

Condiciones de operación

El uso de equipo debe llevarse a cabo en un entorno libre de polvo, vibraciones externas y luz directa.

La temperatura del entorno se debe mantener en un rango de 30 °C +- 10°C con humedad relativa inferior al 85% sin condensación. El equipo se debe almacenar en un lugar donde la temperatura oscile entre 10 y 60 °C.

Previo a la medición con el equipo la superficie debe estar libre de niebla o polvo, utilizar un paño libre de liberación de pelusa.

Evitar la contaminación de la superficie a través del aire forzado sobre la misma.

En el posible caso de que exista aceite o grasa sobre la superficie, utilizar un disolvente para su remoción.

El equipo de medición de rugosidad debe ser calibrado previamente bajo los parámetros establecidos [25].

Procedimiento

Para la medición de la rugosidad se debe estimar un rango de medición de la tabla 25 para el caso el rugosímetro SJ-210 se puede seleccionar en un rango de 0,08 - 0,25 - 0,8 - 2,5mm.

Obtener una medición representativa de los parámetros seleccionados en las longitudes de muestreo seleccionadas.

Luego de obtener las mediciones representativas se procede a comparar dentro de la tabla 26; en el caso de no corresponder en el rango seleccionado, se debe reajustar las mediciones para un nuevo rango de la longitud de muestreo seleccionado [25].

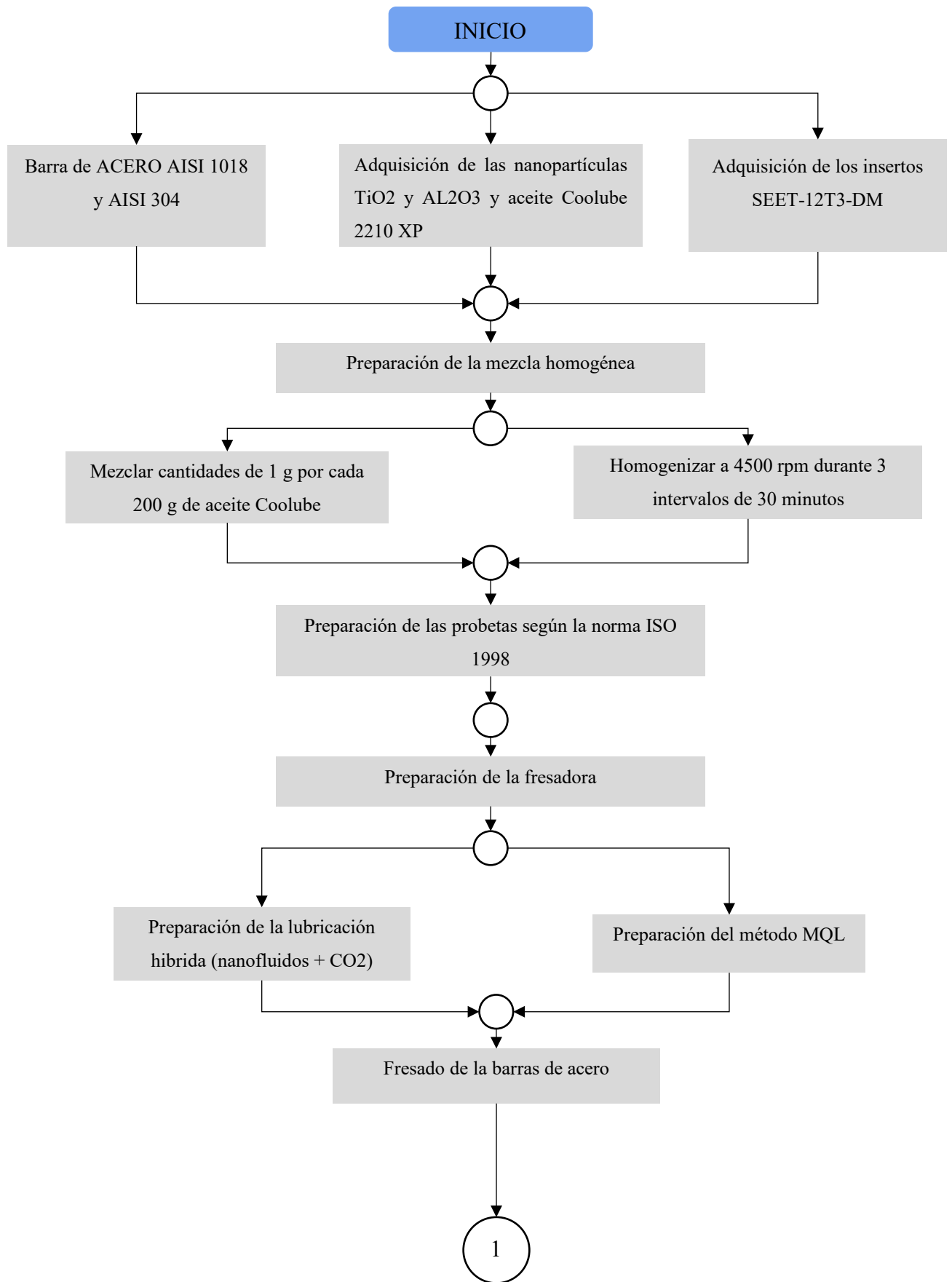
2.3.2.1. Operación de variables

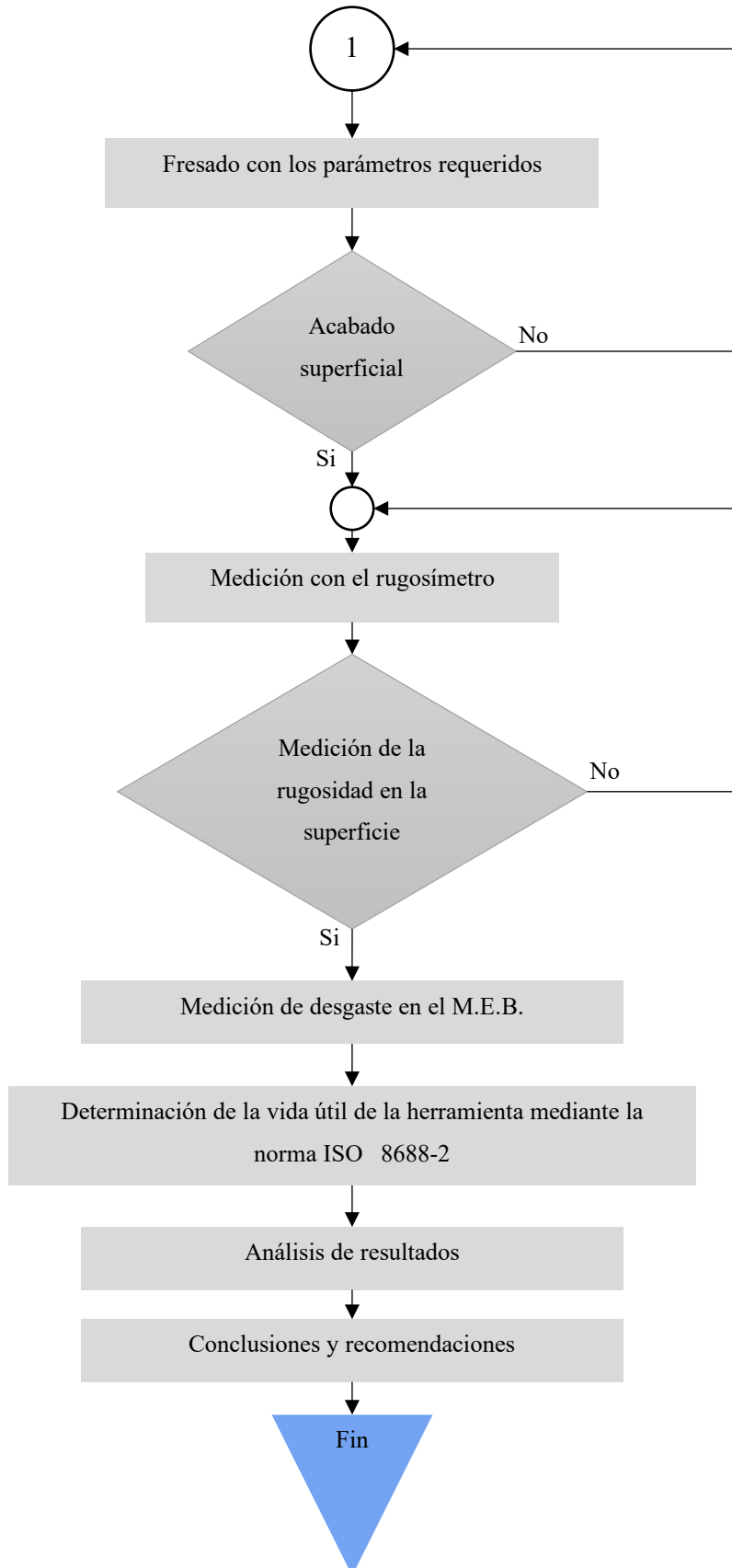
2.3.2.1.1. Variable independiente: Método de lubricación híbrida $CO_2 + TiO_2$ & Al_2O_3 en el proceso de fresado

| Definición de variable | Categoría | Indicador | Ítems | Técnica e instrumentos | |
|--|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---|--|
| <p>El método propuesto de lubricación y refrigeración híbrida, utilizando una combinación de CO_2, Nano TiO_2 y Al_2O_3, representa una innovadora técnica para mejorar el proceso de mecanizado de diversos materiales.</p> <p>Al unir las propiedades refrigerantes del CO_2, se logra reducir la temperatura del proceso de corte y minimizar los esfuerzos térmicos generados durante el proceso. Además, al combinarlo con el uso de Nano TiO_2 y Al_2O_3, el cual consiste en una mezcla de nano partículas suspendidas en un aceite biodegradable, el mismo que se aplica mediante un sistema MQL que dispersa esta combinación en forma de aerosol, se obtienen mejoras significativas en el proceso de fresado.</p> | Aceite lubricante | Caudal en el sistema | (220ml/h) | <ul style="list-style-type: none"> • Hojas de calculo • Ensayos de laboratorio • Toma de Datos | |
| | | Presión en el sistema | 2 Bar. | | |
| | Surfactante | Concentración | 0.5 % del peso de la solución | | |
| | Nanopartículas de TiO_2 y Al_2O_3 | Concentración | 0.5 % del peso de la solución | | |
| | CO_2 | Estado | Gaseoso | | |
| | | | Líquido | | |
| | Máquina herramienta | Velocidad de corte | 190 m/min | | |
| | | | 270 m/min | | |
| | | | 360 m/min | | |
| | Herramienta de corte | Velocidad de avance | 0.1 mm/rev | | |
| Radio de punta | | 2,55 mm | | | |
| | Recubrimiento | TiAlN | | | |

2.3.2.1.2. Variable dependiente: Método de lubricación híbrida $CO_2 + TiO_2$ & Al_2O_3 en el proceso de fresado.

| Definición de variable | Categoría | Indicador | | Ítems | Técnica e instrumentos |
|--|--------------------|-----------|-------|----------------------|---|
| Al acabado superficial se lo conoce como un tipo de calidad superficial, se lo suele relacionar con la rugosidad que puede tener un material, también es resultado de un proceso de mecanizado en el cual intervienen la geometría de la herramienta y la velocidad de avance. | Rugosidad | Ra | | Longitud de muestreo | Hojas de calculo de Ensayo de laboratorio |
| | | Rz | | lr= 0.8 mm | |
| Para la determinación de la vida útil de la herramienta de corte con material de carburo sintetizado se utiliza la norma ISO 8688-1, con la cual se analiza el desgaste del flanco que sufre la herramienta. | Desgaste de flanco | AISI 1018 | Vb | 350 | Toma de datos |
| | | | Vbmax | 500 | |
| | | AISI 304 | Vb | 400 | |
| | | | Vbmax | 500 | |





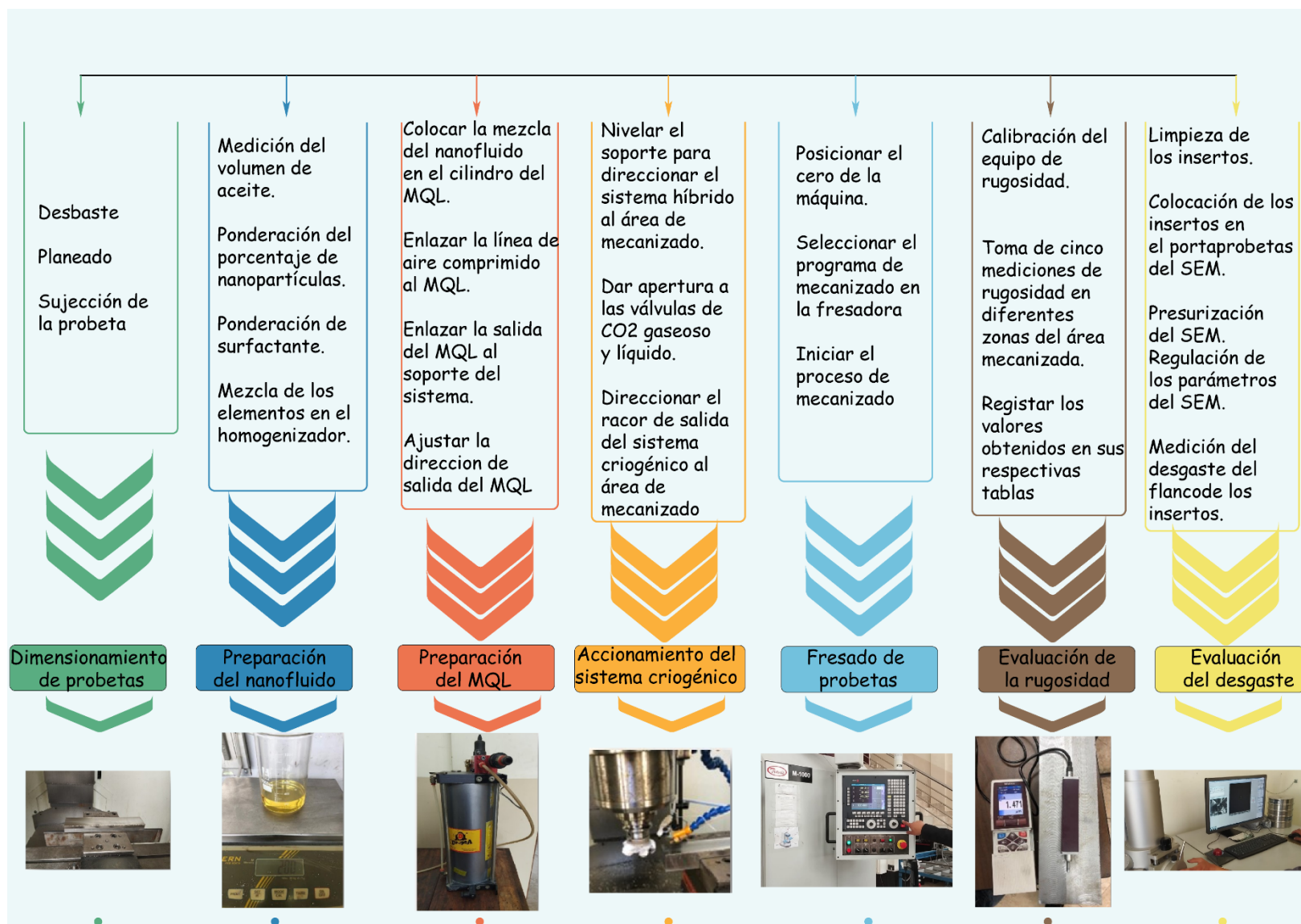


Figura 38. Procedimiento para la ejecución de ensayos para la evaluación del Desgaste de flanco y el Acabado Superficial en el proceso de Fresado con lubricación MQL e Híbrida.

2.4. Plan de recolección de información

En este estudio se utiliza la investigación bibliográfica para el paso de recolección de información, debido a que, se recolecto información una variedad de fuentes bibliográficas como libros, artículos de revistas científicas, normas y catálogos que tienen relación con el tema central del presente proyecto, tales como los materiales e instrumentos a utilizar.

Se utilizarán hojas de registro o control específicamente diseñadas para este estudio, así como hojas de cálculo, con el fin de recopilar y controlar los datos generados en los ensayos realizados en el mecanizado de los aceros AISI 1018 y AISI 304. Este método nos permite mantener una organización adecuada y facilitar su posterior uso en la creación de diagramas y gráficas ilustrativas. Sumado a eso, para medición de la rugosidad, se empleará el Rugosímetro Mitutoyo ubicado en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

2.5. Plan de procesamiento y análisis

Una vez realizado las mediciones de rugosidad, se registran los datos respectivos en las fichas para la revisión, análisis que ningún dato se encuentre por fuera del rango seleccionado, así facilitando su interpretación; para ello se tomara 5 mediciones tras el mecanizado, entre los factores principales se encuentran la velocidad de corte que se encuentra entre el valor promedio y máximo. En el caso del desgaste del herramental se medirá tras 5 minutos de mecanizado comprobando el desgaste de acuerdo con la norma ISO 8688-1 1989, la misma que se adjunta en el Anexo A del presente documento; además del registro de fotografías realizadas en el microscopio electrónico de barrido SEM se registrarán en las fichas respectivas para realizar un correcto análisis de los resultados obtenidos.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Adquisición de datos




La toma de datos de las probetas ensayadas de la rugosidad superficial y desgaste del flanco fueron registrados en las fichas preestablecidas en la cuales se menciona los parámetros correspondientes, procesos, sistema y adicionales con la finalidad de evitar confusiones al momento de interpretar los resultados obtenidos.

Las fichas correspondientes de 3.1.1.1. a la 3.1.1.8. se presentan los resultados de la rugosidad superficial obtenida mediante el rugosímetro MITUTOYO SJ-210 que se muestra en la figura 39 y calibrado con un patrón de rugosidad N° 370161606 correspondiente a $2.94 \mu\text{m}$ Ra para las 8 combinaciones determinadas en la tabla 23 a los primeros 10 para el acero AISI 1018 y 8 minutos AISI 304, para un mayor criterio de análisis se estableció 3 repeticiones por combinación y X5 mediciones de rugosidad Ra y Rz, en los proceso de fresado frontal, MQL, MQL + 0.5%Nano $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CO}_2$ criogenico y MQL + 0.5%Nano TiO_2+CO_2 criogenico respectivamente. La calibración del Rugosímetro se muestra en la figura 39.



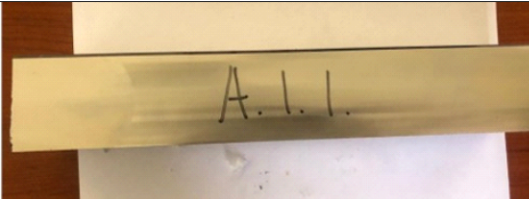


Figura 39. Calibración del rugosímetro sj-210.



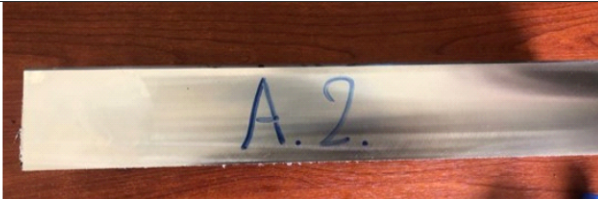
3.1.1.1. Ficha de registros de acabados superficial experimento 1 (Mecanizado con sistema MQL) del AISI 1018

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL | | |  | |
|---|-------------------------------|---|--|--------------------------------------|---|------------------|
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución | 10/10/2023 | | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | | |
| Realizado por: | Wilner Llimitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | | |
| | Adriel Ocaña | | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | | |
| Material: | | | Acero AISI 1018 | | | |
| Sistema de lubricación: | | | MQL | | | |
| Fluido lubricante: | | | Coolube 2010 XP | | | |
| Herramienta de corte: | | | SEET 12T3-DM YBG202 | | | |
| Parámetros de calibración del rugosímetro M ITUTOYO sj-210 | | | | | | |
| Norma | Ac | lambda s | | MEDICIONES | | |
| ISO 1997 | 0.8 mm | 2.5 | | X5 | | |
| Presión de aire comprimido | Presión CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | | Díametro de salida CO2 (mm) | | |
| 2 | 60 | 45° | | 1.5 | | |
| r (rpm)/Vc(m/min) | vf(mm/min)/fu(mm/rev) | Avance de profundidad (ap)(mm) | | Radio de punta r(inserto)(mm) | | |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | | 0.8 | | |
| REGISTRO DE MEDICIONES Ra | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 0.583 | 0.69 | 0.61 | 0.753 | 0.661 | 0.659 |
| 4B | 0.668 | 0.725 | 0.708 | 0.645 | 0.724 | 0.694 |
| 4C | 0.928 | 0.804 | 0.904 | 0.679 | 0.786 | 0.820 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 0.725 |
| REGISTRO DE MEDICIONES Rz | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 3.547 | 4.578 | 3.879 | 4.777 | 3.875 | 4.131 |
| 4B | 3.478 | 4.567 | 4.567 | 3.985 | 4.578 | 4.235 |
| 4C | 5.476 | 4.987 | 5.645 | 4.654 | 4.645 | 5.081 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 4.483 |
| RESULTADOS | | | | | | |
|  | | | Estado Superficial Superficie plana lisa con marcas generalmente perceptibles al tacto y vista Clase de rugosidad N6 Proceso Fresado frontal | | | |



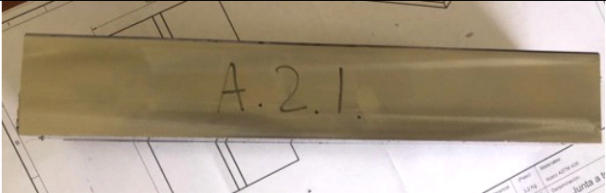
3.1.1.2. Ficha de registros de acabados superficial experimento 2 (Mecanizado con sistema MQL) del AISI 1018

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL | | |  | |
|---|-------------------------------|---|--|--------------------------------------|---|------------------|
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución | 10/10/2023 | | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | | |
| Realizado por: | Wimer Lumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | | |
| | Adriel Ocaña | | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | | |
| Material: | | | Acero AISI 1018 | | | |
| Sistema de lubricación: | | | MQL | | | |
| Fluido lubricante: | | | Coolube 2010 XP | | | |
| Herramienta de corte: | | | SEET 1ZT3-DM YBG202 | | | |
| Parámetros de calibración del rugosímetro M ITUTOYO sj-210 | | | | | | |
| Norma | Ac | lambda s | | MEDICIONES | | |
| ISO 1997 | 0.8 mm | 2.5 | | X5 | | |
| Presión de aire comprimido | Presión CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | | Díametro de salida CO2 (mm) | | |
| 2 | 60 | 45° | | 1.5 | | |
| r (rpm)/Vc(m/min) | vf(mm/min)/fn(mm/rev) | Avance de profundidad (ap)(mm) | | Radio de punta r(inserto)(mm) | | |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.5 | | 0.8 | | |
| REGISTRO DE MEDICIONES Ra | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 1.054 | 0.847 | 1.024 | 0.714 | 1.254 | 0.979 |
| 4B | 1.169 | 1.001 | 0.949 | 0.916 | 0.949 | 0.997 |
| 4C | 0.541 | 1.125 | 1.145 | 0.954 | 1.14 | 0.981 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 0.985 |
| REGISTRO DE MEDICIONES Rz | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 6.345 | 5.246 | 6.489 | 4.543 | 6.987 | 5.922 |
| 4B | 7.345 | 6.244 | 5.648 | 4.254 | 6.984 | 6.095 |
| 4C | 4.564 | 6.542 | 6.988 | 4.365 | 5.245 | 5.541 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 5.853 |
| RESULTADOS | | | | | | |
|  | | | Estado Superficial Superficie plana lisa con marcas generalmente perceptibles al tacto y vista Clase de rugosidad N6 Proceso Fresado frontal | | | |

3.1.1.3. Ficha de registros de acabados superficial experimento 3 (Mecanizado con sistema MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) del AISI 1018

| | | | | | | |
|---|--|---------------------------------------|--|---|---------------|-----------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  | | |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | | | |
| | CARRERA DE MECÁNICA | | | | | |
| | REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución | 10/10/2023 | | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | | |
| Realizado por: | Wilner Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | | |
| | Adriel Ocaña | | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | | |
| Material: | Acero AISI 1018 | | | | | |
| Sistema de lubricación: | Híbrido | | | | | |
| Fluido lubricante: | MQL+0,5%Nano TiO ₂ +CO ₂ Criogénico | | | | | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | | | | |
| Parámetros de calibración del rugosímetro MITUTOYO sj-210 | | | | | | |
| Norma | Ac | lambda s | MEDICIONES | | | |
| ISO 1997 | 0.8 mm | 2.5 | X5 | | | |
| Presión de aire comprimido | Presión CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Díametro de salida CO2 (mm) | | | |
| 2 | 60 | 45° | 1.5 | | | |
| r (rpm)/Vc(m/min) | vf(mm/min)/fn(mm/rev) | Avance de profundidad (ap)(mm) | Radio de punta rf(inserto)(mm) | | | |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | | | |
| REGISTRO DE MEDICIONES Ra | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | promedio |
| 4A | 0.386 | 0.454 | 0.498 | 0.387 | 0.646 | 0.474 |
| 4B | 0.465 | 0.386 | 0.435 | 0.478 | 0.546 | 0.462 |
| 4C | 0.445 | 0.586 | 0.425 | 0.554 | 0.576 | 0.517 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 0.484 |
| REGISTRO DE MEDICIONES Rz | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | promedio |
| 4A | 3.925 | 3.547 | 4.001 | 4.224 | 3.24 | 3.787 |
| 4B | 3.945 | 3.623 | 4.124 | 2.854 | 3.875 | 3.684 |
| 4C | 4.125 | 3.541 | 4.589 | 4.125 | 3.312 | 3.938 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 3.803 |
| RESULTADOS | | | | | | |
|  | | | Estado Superficial Superficie plana lisa con marcas generalmente perceptibles al tacto y vista Clase de rugosidad N5 Proceso Fresado frontal | | | |

3.1.1.4. Ficha de registros de acabados superficial experimento 4 (Mecanizado con sistema MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) del AISI 1018

|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  | | |
|---|--|--------------------------------|--|---|--------|----------|
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | | | |
| | CARRERA DE MECÁNICA | | | | | |
| REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL | | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución | 10/10/2023 | | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | | |
| Realizado por: | Werner L. Luján | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | | |
| | Adriel Ocaña | | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | | |
| Material: | Acero AISI 1018 | | | | | |
| Sistema de lubricación: | Híbrido | | | | | |
| Fluido lubricante: | MQL 10,5% Nano TiO ₂ +CO ₂ Criogénico | | | | | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | | | | |
| Parámetros de calibración del rugosímetro M ITUTOYO sj-210 | | | | | | |
| Norma | Ac | lambda s | MEDICIONES | | | |
| ISO 1997 | 0.8 mm | 2.5 | X5 | | | |
| Presión de aire comprimido | Presión CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida CO ₂ (mm) | | | |
| 2 | 60 | 45° | 1.5 | | | |
| r (rpm)/Vc (m/min) | vf (mm/min)/fu (mm/rev) | Avance de profundidad (ap)(mm) | Radio de punta r(inserto)(mm) | | | |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.5 | 0.8 | | | |
| REGISTRO DE MEDICIONES Ra | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | promedio |
| 4A | 0.854 | 0.945 | 0.932 | 1.224 | 0.854 | 0.962 |
| 4B | 0.798 | 0.956 | 0.933 | 1.025 | 0.896 | 0.922 |
| 4C | 0.894 | 0.845 | 1.021 | 0.854 | 0.847 | 0.892 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 0.925 |
| REGISTRO DE MEDICIONES Rz | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | promedio |
| 4A | 5.146 | 5.765 | 5.666 | 4.52 | 4.652 | 5.150 |
| 4B | 4.766 | 5.896 | 5.574 | 5.321 | 4.214 | 5.154 |
| 4C | 5.364 | 5.014 | 6.246 | 4.35 | 4.697 | 5.134 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 5.146 |
| RESULTADOS | | | | | | |
|  | | | Estado Superficial Superficie plana lisa con marcas generalmente perceptibles al tacto y vista Clase de rugosidad N6 Proceso Fresado frontal | | | |

3.1.2. Rugosidad superficial Ra de Acero AISI 1018

En los primeros 4 experimentos que se registró varias mediciones de rugosidad Ra para el acero AISI 1018 en el proceso de fresado frontal, los resultados se indican en la tabla 27; el mejor resultado obtenido se logró corresponde con el experimento E03 con un valor de 0.484 μm y una calificación de rugosidad N5, representada por la curva de color de color verde bajo los parámetros planteados; mientras que el mayor valor de los experimentos corresponde al experimento E02 con un valor de 0.986 μm y una calificación N6 de rugosidad representada por la curva de color naranja. En la figura 40 se muestra el registro de los valores de rugosidades para cada uno de los métodos empleados.

Tabla 27. Resultados de rugosidad superficial Ra (μm) para cada método de lubricación.

| Registro de rugosidad Ra | | | | | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------|--------------|
| Acero | Sistema | Velocidad del husillo | Velocidad de avance | Profundidad de corte | Rugosidad superficial | Promedio | Calificación |
| ACERO AISI 1018 | MQL | 1360 | 680 | 1.5 | 0.659 | 0.724 | N6 |
| | | | | | 0.694 | | |
| | | | | | 0.82 | | |
| | MQL | 1820 | 910 | 1.5 | 0.979 | 0.986 | N6 |
| | | | | | 0.997 | | |
| | | | | | 0.981 | | |
| | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ Criogénico | 1360 | 680 | 1.5 | 0.474 | 0.484 | N5 |
| | | | | | 0.462 | | |
| | | | | | 0.517 | | |
| | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico | 1820 | 910 | 1.5 | 0.962 | 0.925 | N6 |
| | | | | | 0.922 | | |
| | | | | | 0.892 | | |

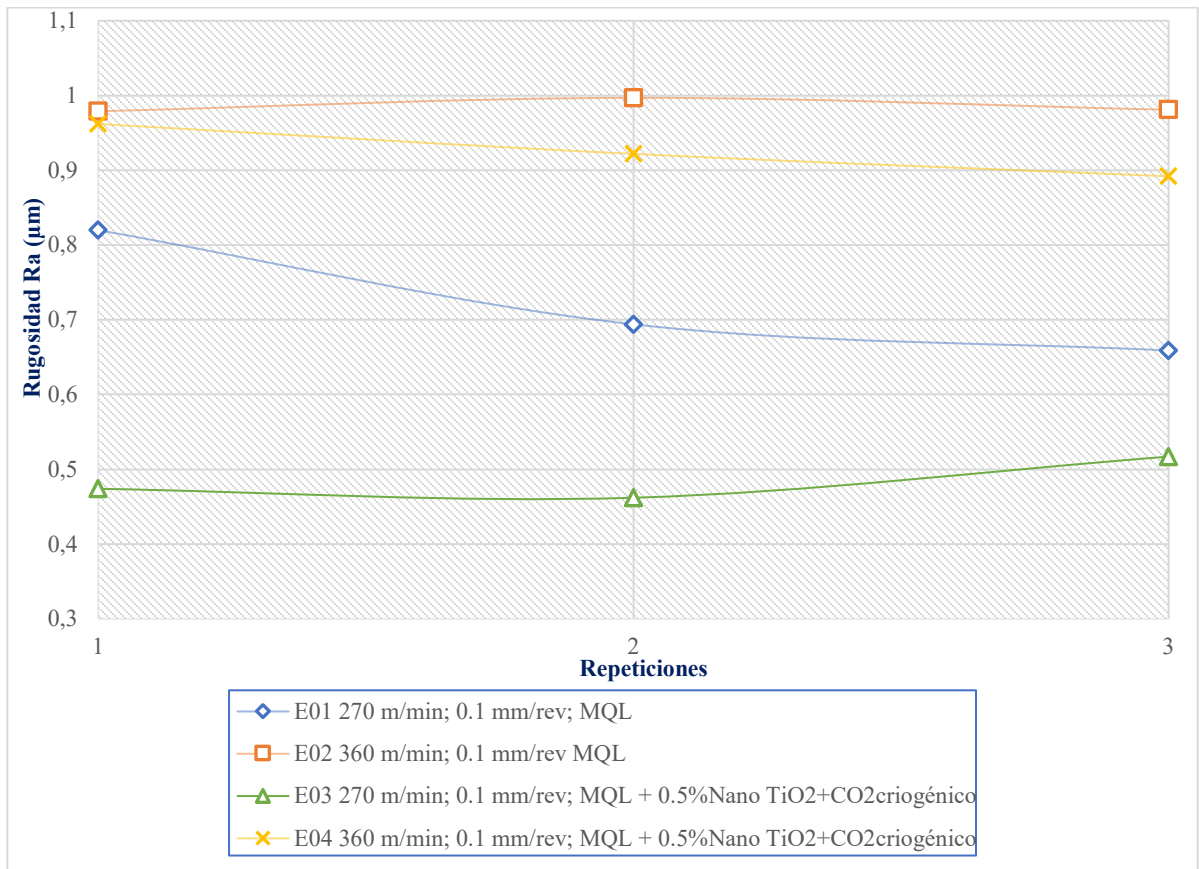


Figura 40 Rugosidad superficial Ra de cada método analizado para el AISI 1018.

3.1.3. Rugosidad superficial Rz

La medición de la rugosidad del parámetro Rz representada la diferencia entre el pico más alto y el valle registrado con el rugosímetro en la tabla 28. Al igual que en los experimentos de la rugosidad Ra, el valor más bajo este dado por el experimento E03 con un valor promedio de 3.803 µm; mientras que el valor más alto corresponde al experimento E02 con un valor de 5.583 µm. En la figura 41 se representa el registro de los valores de rugosidades Rz de los métodos empleados y parámetros determinados.

Tabla 28. Resultados de rugosidad superficial Rz (μm) para cada método de lubricación.

| Registro de rugosidad Rz | | | | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------|
| Acero | Sistema | Velocidad del husillo | Velocidad de avance | Profundidad de corte | Rugosidad superficial | Promedio |
| ACERO AISI 1018 | MQL | 1360 | 680 | 1.5 | 4.131 | 4.482 |
| | | | | | 4.235 | |
| | | | | | 5.081 | |
| | MQL | 1820 | 910 | 1.5 | 5.922 | 5.853 |
| | | | | | 6.095 | |
| | | | | | 5.541 | |
| | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ Criogénico | 1360 | 680 | 1.5 | 3.787 | 3.803 |
| | | | | | 3.684 | |
| | | | | | 3.938 | |
| | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico | 1820 | 910 | 1.5 | 5.15 | 5.146 |
| | | | | | 5.154 | |
| | | | | | 5.134 | |

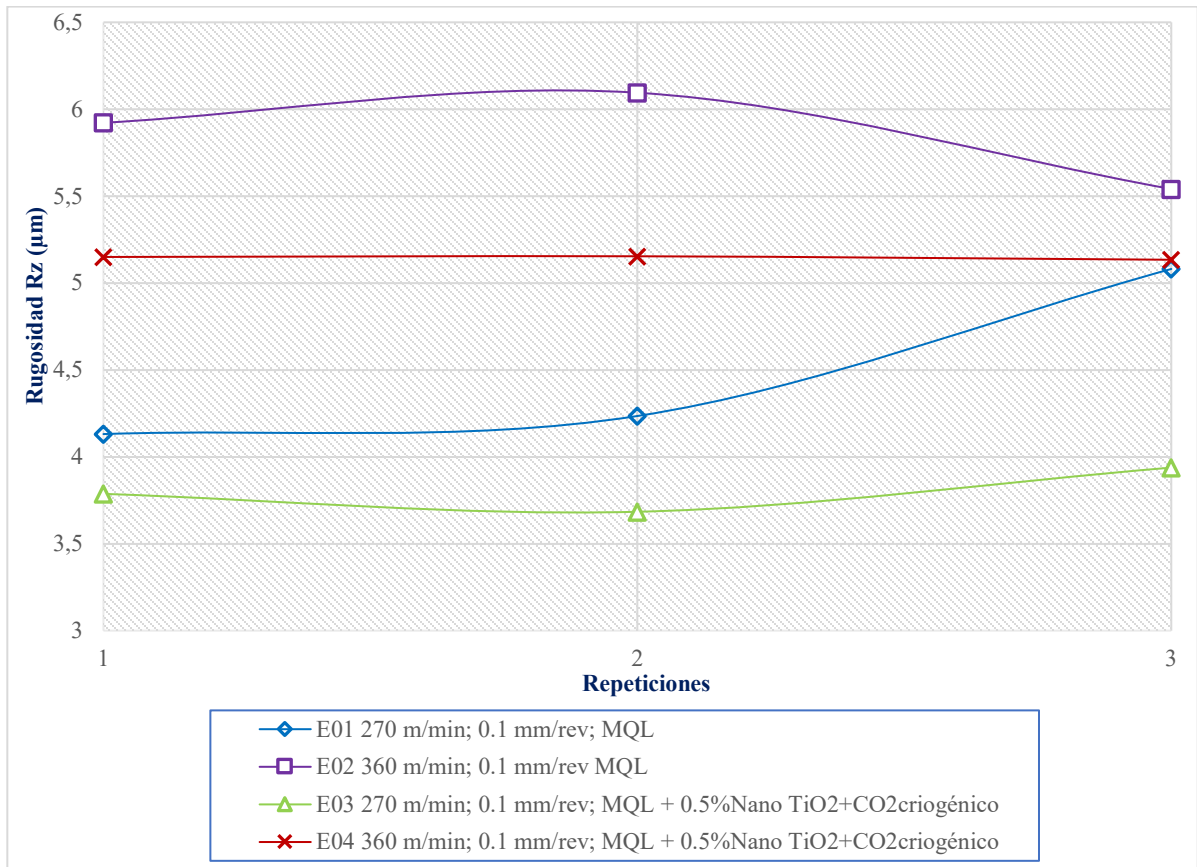


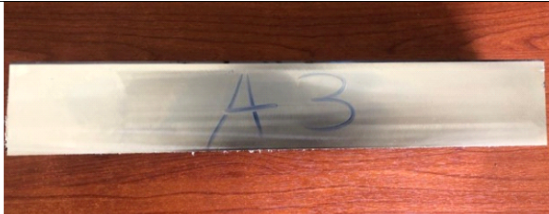


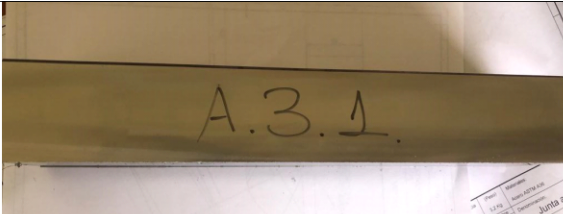


Figura 41 Rugosidad superficial Rz de cada método analizado para el AISI 1018.



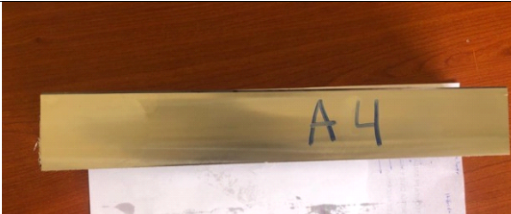
3.1.4.1. Ficha de registros de acabados superficial experimento 5 (Mecanizado con sistema MQL) del AISI 304.

|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  | | |
|---|---|--------------------------------|---|---|--------|-----------|
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | | | |
| | CARRERA DE MECÁNICA | | | | | |
| REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL | | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución | 15/10/2023 | | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llanitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | | |
| | Adriel Ocaña | | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | | |
| Material: | Acero AISI 304 | | | | | |
| Sistema de lubricación: | MQL | | | | | |
| Fluido lubricante: | Coolube 2010 XP | | | | | |
| Herramienta de corte: | SBET 12T3-DM YBG202 | | | | | |
| Parámetros de calibración del rugosímetro M ITUTOYO sj-210 | | | | | | |
| Norma | Ac | lambda s | MEDICIONES | | | |
| ISO 1997 | 0.8 mm | 2.5 | X5 | | | |
| Presión de aire comprimido | Presión CO2 (bar) | Angulo de incidencia | Diámetro de salida CO2 (mm) | | | |
| 2 | 60 | 45 | 1.5 | | | |
| r (rpm)/Vc(m/min) | vf(mm/min)/fn(mm/rev) | Avance de profundidad (ap)(mm) | Radio de punta r(inserto)(mm) | | | |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | | | |
| REGISTRO DE MEDICIONES Ra | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 0.41 | 0.424 | 0.544 | 0.504 | 0.459 | 0.468 |
| 4B | 0.532 | 0.546 | 0.489 | 0.478 | 0.506 | 0.510 |
| 4C | 0.596 | 0.561 | 0.573 | 0.402 | 0.486 | 0.524 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 0.501 |
| REGISTRO DE MEDICIONES Rz | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 2.612 | 3.512 | 4.587 | 3.742 | 3.214 | 3.533 |
| 4B | 4.125 | 4.125 | 3.604 | 3.625 | 3.542 | 3.804 |
| 4C | 5.127 | 3.782 | 4.223 | 3.124 | 3.980 | 4.047 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 3.795 |
| RESULTADOS | | | | | | |
|  | | | Estado Superficial Superficie lisa con marcas perceptibles al tacto a simple vista. simple vista. simple vista. Clase de rugosidad N6 Proceso Fresado frontal | | | |



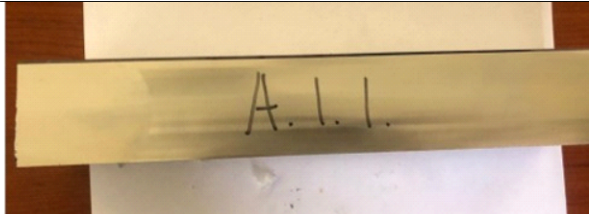
3.1.4.2. Ficha de registros de acabados superficial experimento 6 (Mecanizado con sistema MQL) del AISI 304.

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL | | |  | |
|---|-------------------------------|---|--|--------------------------------------|---|------------------|
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución | 15/10/2023 | | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llanitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | | |
| | Adriel Ocaña | | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | | |
| Material: | Acero AISI 304 | | | | | |
| Sistema de lubricación: | MQL | | | | | |
| Fluido lubricante: | Coolube 2010 XP | | | | | |
| Herramienta de corte: | SBET 12T3-DM YBG202 | | | | | |
| Parámetros de calibración del rugosímetro M ITUTOYO sj-210 | | | | | | |
| Norma | Ac | lambda s | | MEDICIONES | | |
| ISO 1997 | 0.8 mm | 2.5 | | X5 | | |
| Presión de aire comprimido | Presión CO2 (bar) | Angulo de incidencia | | Diámetro de salida CO2 (mm) | | |
| 2 | 60 | 45 | | 1.5 | | |
| r (rpm)/Vc(m/min) | vf(mm/min)/fn(mm/rev) | Avance de profundidad (ap)(mm) | | Radio de punta r(inserto)(mm) | | |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | | 0.8 | | |
| REGISTRO DE MEDICIONES Ra | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 0.853 | 0.841 | 0.941 | 0.844 | 0.828 | 0.861 |
| 4B | 0.941 | 0.757 | 0.89 | 0.724 | 0.708 | 0.804 |
| 4C | 0.727 | 0.754 | 0.72 | 0.72 | 0.514 | 0.687 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 0.784 |
| REGISTRO DE MEDICIONES Rz | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 4.785 | 4.958 | 5.001 | 3.875 | 4.454 | 4.615 |
| 4B | 5.245 | 4.458 | 3.987 | 3.547 | 3.654 | 4.178 |
| 4C | 3.985 | 4.578 | 3.857 | 5.124 | 3.984 | 4.306 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 4.366 |
| RESULTADOS | | | | | | |
|  | | | Estado Superficial Superficie lisa con marcas perceptibles al tacto a simple vista. simple vista. Clase de rugosidad N6 Proceso Fresado frontal | | | |

3.1.4.3. Ficha de registros de acabados superficial experimento 7 (Mecanizado con sistema MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico) del AISI 304.

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL | | |  | | |
|---|---|---|---|--------|---|-----------|---|
| | | DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| | | Tipo de estudio | Experimental | Ítem | | | A |
| | | Fecha de ejecución | 17/10/2023 | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | | | |
| Realizado por: | Wilmer Lhumitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | | | | |
| | Adriel Ocaña | | | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | | | |
| Material: | Acero AISI 304 | | | | | | |
| Sistema de lubricación: | Híbrido | | | | | | |
| Fluido lubricante: | MQL+0.5%NanoAl ₂ O ₃ +CO ₂ Criogénico | | | | | | |
| Herramienta de corte: | SBET 12T3-DM YBG202 | | | | | | |
| Parámetros de calibración del rugosímetro M ITUTOYO sj-210 | | | | | | | |
| Norma | Ac | lambda s | MEDICIONES | | | | |
| ISO 1997 | 0.8 mm | 2.5 | X5 | | | | |
| Presión de aire comprimido | Presión CO2 (bar) | Angulo de incidencia | Diámetro de salida CO2 (mm) | | | | |
| 2 | 60 | 45 | 1.5 | | | | |
| r (rpm)/Vc(m/min) | vf(mm/min)/fn(mm/rev) | Avance de profundidad (ap)(mm) | Radio de punta r(inserto)(mm) | | | | |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | | | | |
| REGISTRO DE MEDICIONES Ra | | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio | |
| 4A | 0.503 | 0.417 | 0.446 | 0.448 | 0.446 | 0.452 | |
| 4B | 0.486 | 0.459 | 0.442 | 0.427 | 0.455 | 0.454 | |
| 4C | 0.453 | 0.454 | 0.438 | 0.425 | 0.422 | 0.438 | |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 0.448 | |
| REGISTRO DE MEDICIONES Rz | | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio | |
| 4A | 3.001 | 3.458 | 3.124 | 3.124 | 2.451 | 3.032 | |
| 4B | 2.987 | 4.125 | 3.457 | 2.015 | 2.689 | 3.055 | |
| 4C | 2.789 | 2.887 | 4.902 | 3.524 | 2.645 | 3.349 | |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 3.145 | |
| RESULTADOS | | | | | | | |
|  | | | Estado Superficial Superficie lisa con marcas perceptibles al tacto a simple vista. simple vista. simple vista. Clase de rugosidad N5 Proceso Fresado frontal | | | | |

3.1.4.4. Ficha de registros de acabados superficial experimento 8 (Mecanizado con sistema MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico) del AISI 304.

|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL | | |  | |
|---|-------------------------------|---|--|--------------------------------------|---|------------------|
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | A | | |
| Fecha de ejecución | 17/10/2023 | | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llanitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | | |
| | Adriel Ocaña | | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | | |
| Material: | | | Acero AISI 304 | | | |
| Sistema de lubricación: | | | Híbrido | | | |
| Fluido lubricante: | | | MQL+0.5%NanoAl ₂ O ₃ +CO ₂ Criogénico | | | |
| Herramienta de corte: | | | SBET 12T3-DM YBG202 | | | |
| Parámetros de calibración del rugosímetro M ITUTOYO sj-210 | | | | | | |
| Norma | Ac | lambda s | | MEDICIONES | | |
| ISO 1997 | 0.8 mm | 2.5 | | X5 | | |
| 2 | 60 | 45 | | 1.5 | | |
| r (rpm)/Vc(m/min) | vf(mm/min)/fn(mm/rev) | Avance de profundidad (ap)(mm) | | Radio de punta r(inserto)(mm) | | |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | | 0.8 | | |
| REGISTRO DE MEDICIONES Ra | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 0.766 | 0.67 | 0.661 | 0.722 | 0.706 | 0.705 |
| 4B | 0.573 | 0.642 | 0.665 | 0.561 | 0.664 | 0.621 |
| 4C | 0.768 | 0.775 | 0.767 | 0.645 | 0.828 | 0.757 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 0.694 |
| REGISTRO DE MEDICIONES Rz | | | | | | |
| Probeta | Med.1 | Med.2 | Med.3 | Med. 4 | Med. 5 | prom edio |
| 4A | 4.856 | 4.524 | 4.687 | 3.578 | 3.015 | 4.132 |
| 4B | 3.545 | 4.354 | 4.987 | 3.456 | 3.54 | 3.976 |
| 4C | 3.687 | 5.002 | 4.678 | 3.154 | 3.981 | 4.100 |
| PROMEDIO TOTAL | | | | | | 4.070 |
| RESULTADOS | | | | | | |
|  | | | Estado Superficial Superficie lisa con marcas perceptibles al tacto a simple vista. simple vista. Clase de rugosidad N6 Proceso Fresado frontal | | | |

3.1.5. Rugosidad Superficial Ra de Acero AISI 304

En los siguientes 4 experimentos se repitió la actividad de las mediciones de la rugosidad Ra para el acero AISI 304 en el proceso de fresado frontal registrada en la tabla 29, el mejor resultado obtenido se logró con el experimento E07 con un valor de 0.448 μm y una calificación de rugosidad N5 el cual está representado por la curva de color verde bajo los parámetros planteados; mientras que el mayor valor de los experimentos corresponde a E06 con un valor de 0.784 μm y una calificación N6 de rugosidad. En la figura 42 se representa la trazada de las curvas correspondientes a los métodos empleados.

Tabla 29. Resultados de rugosidad superficial Ra (μm) para cada método de lubricación.

| Registro de rugosidad Ra | | | | | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------|--------------|
| Acero | Sistema | Velocidad del husillo | Velocidad de avance | Profundidad de corte | Rugosidad superficial | Promedio | Calificación |
| ACERO AISI 304 | MQL | 960 | 480 | 0.5 | 0.468 | 0.501 | N5 |
| | | | | | 0.51 | | |
| | | | | | 0.524 | | |
| | MQL | 1360 | 680 | 0.5 | 0.861 | 0.784 | N6 |
| | | | | | 0.804 | | |
| | | | | | 0.687 | | |
| | MQL+ 0,5%Nano Al ₂ O ₃ +CO 2 Criogénico | 960 | 480 | 0.5 | 0.452 | 0.448 | N5 |
| | | | | | 0.454 | | |
| | | | | | 0.438 | | |
| | MQL+ 0,5%Nano Al ₂ O ₃ +CO 2 Criogénico | 1360 | 680 | 0.5 | 0.705 | 0.694 | N6 |
| | | | | | 0.621 | | |
| | | | | | 0.757 | | |

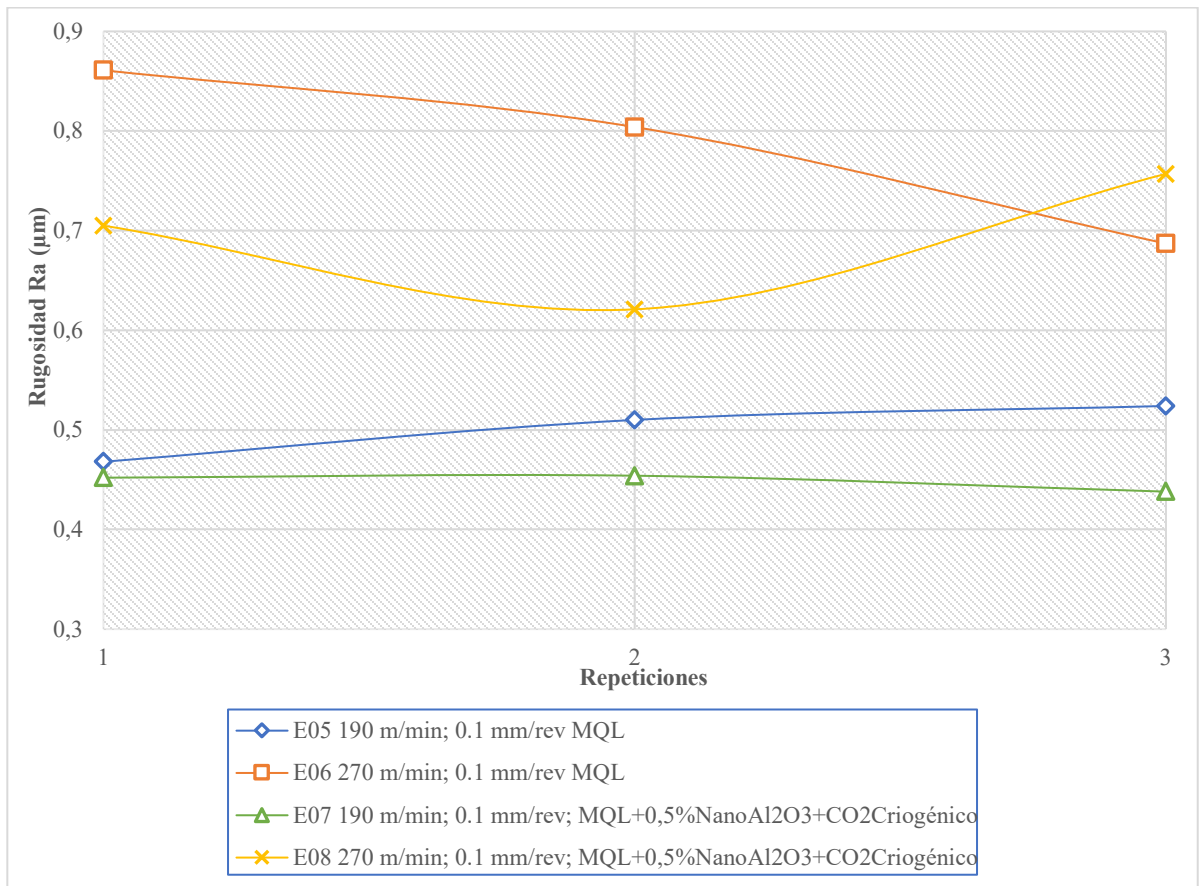


Figura 42 Rugosidad superficial Ra de cada método analizado del AISI 304.

3.1.6. Rugosidad Superficial Rz

Del mismo modo se registra los valores obtenidos en la tabla 30, resultando el valor más bajo este dado por el experimento E07 con un valor de 3.145 µm; mientras que el valor más alto corresponde al experimento E06 con un valor de 4.366 µm. En la figura 43 se muestra las trayectorias correspondientes.

Tabla 30. Resultados de rugosidad superficial Rz (μm) para cada método de lubricación.

| Registro de rugosidad Rz | | | | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------|
| Acero | Sistema | Velocidad del husillo | Velocidad de avance | Profundidad de corte | Rugosidad superficial | Promedio |
| ACERO AISI 304 | MQL | 960 | 480 | 0.5 | 3.533 | 3.828 |
| | | | | | 3.804 | |
| | | | | | 4.147 | |
| | MQL | 1360 | 680 | 0.5 | 4.306 | 4.366 |
| | | | | | 4.178 | |
| | | | | | 4.615 | |
| | MQL+ 0,5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ Criogénico | 960 | 480 | 0.5 | 3.032 | 3.145 |
| | | | | | 3.055 | |
| | | | | | 3.349 | |
| | MQL+ 0,5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ Criogénico | 1360 | 680 | 0.5 | 4.1 | 4.069 |
| | | | | | 3.976 | |
| | | | | | 4.132 | |

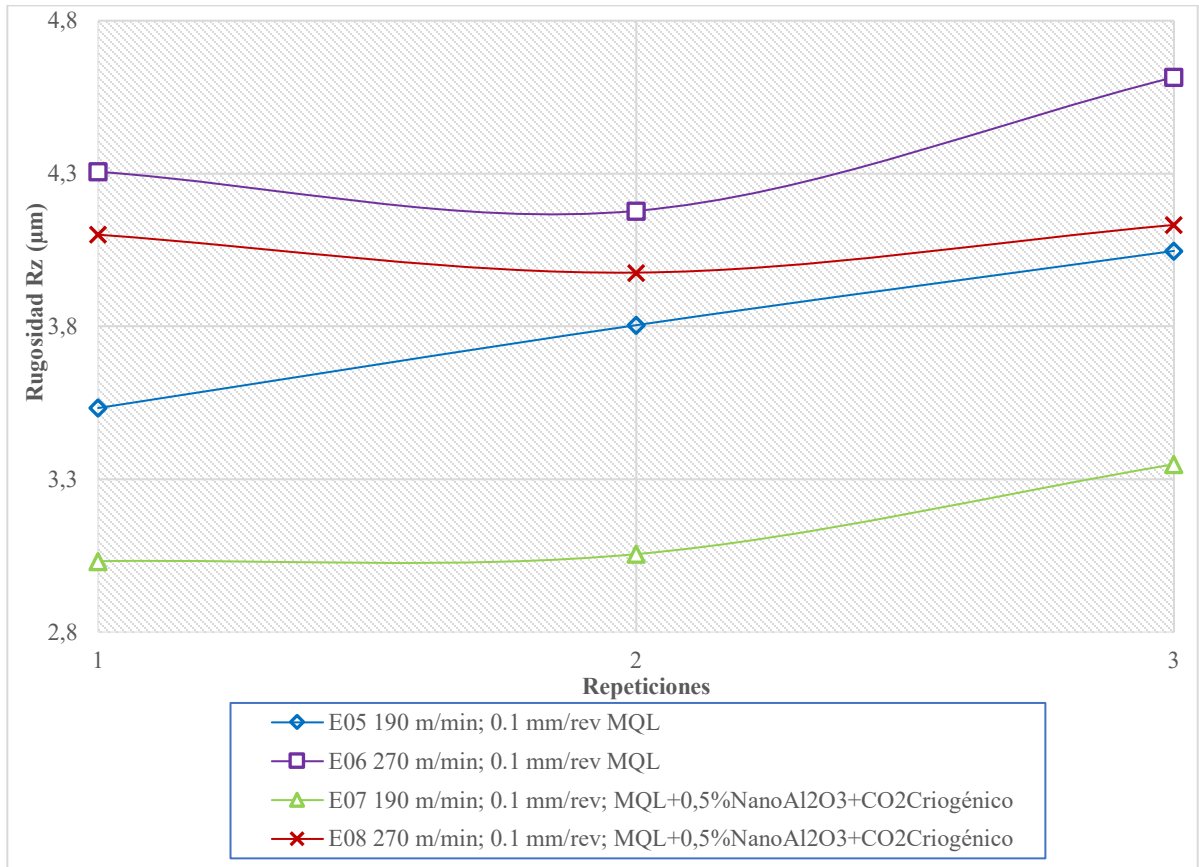


Figura 43 Rugosidad superficial Rz de cada método analizado del AISI 304.

La calidad superficial del material de trabajo depende de varios parámetros seleccionados, velocidad de corte, velocidad de avance, profundidad de corte, no solo del sistema de lubricación y refrigeración en la figuras 36, 37, 38 y 39 Las líneas superiores de la gráfica representan la calidad alcanzada con la velocidad de corte máxima y el método de lubricación MQL; mientras que las curvas inferiores de las gráficas representa la calidad superficial obtenida mediante el sistema Criogénico (MQL+0,5%NanoAl₂O₃+CO₂ Criogénico y MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂criogénico) respectivamente con la velocidad de corte promedio.

3.1.7. Toma de datos de la evolución del desgaste del flanco de la herramienta de corte

En las fichas 3.1.7.1 a la 3.1.7.36. se registran los valores obtenidos en un tiempo definido previamente para cada acero, mediante el microscopio electrónico de barrido correspondientes a las variaciones de la tabla 12 previamente definida. Utilizando los parámetros de la velocidad del husillo, velocidad de avance, profundidad de corte, caudal y presión determinados.

La evaluación del desgaste de flanco se efectúa en base a las dos velocidades planteadas con criterio de la norma ISO 8688-1 mostradas en la figura 44, la cual establece tipos de desgaste y el límite medio de desgaste de flanco de 0.35 mm y 0.5 mm en el caso máximo evaluado en el acero AISI 1018; mientras que se establece otro tipo de desgaste y el límite medio de 0.4 mm y 0.5 mm para el acero AISI 304, así posteriormente se aplica un modelo matemático para determinar la vida útil del inserto en función de las velocidades de corte. La medición del desgaste del flanco de los inserto de mecanizado se evaluó según la siguiente configuración.

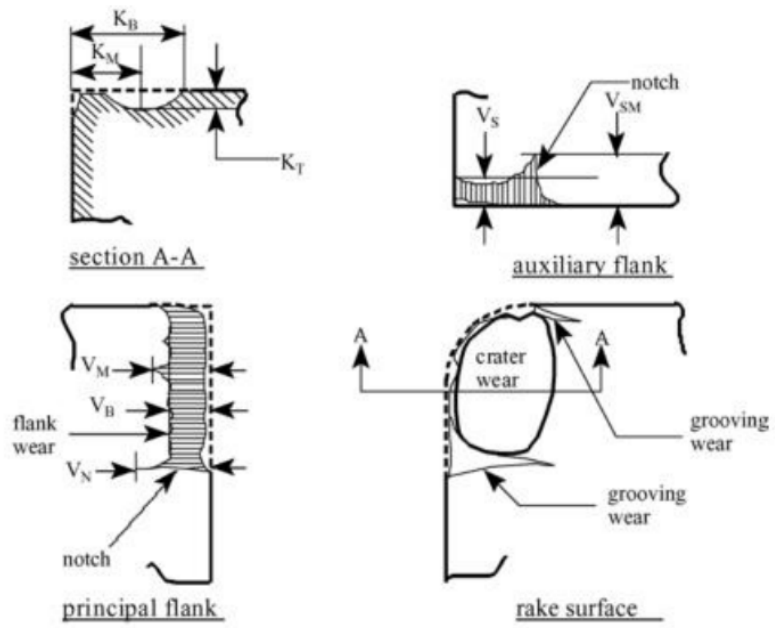


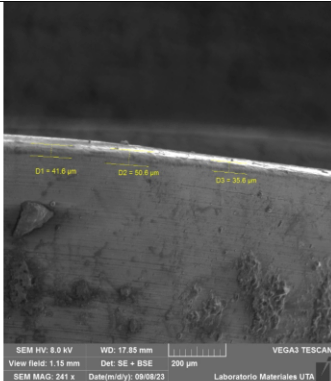
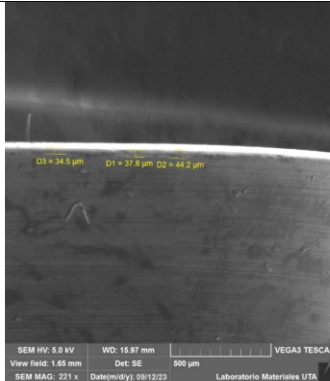


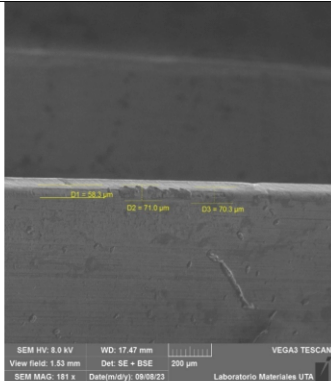
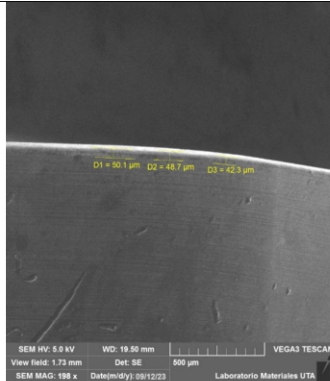


Figura 44 Geometría de desgaste del inserto [4].



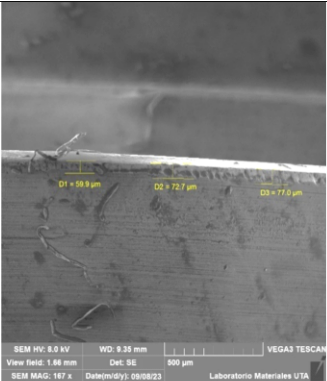
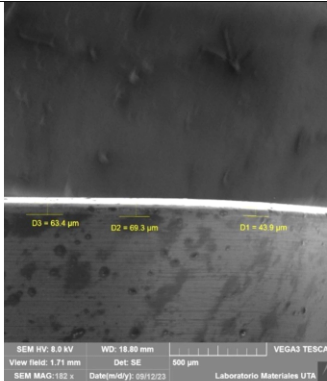
3.1.7.1. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (10 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 10 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 35.8 | | VBC | 34.5 |
| Vbmax | 50.6 | | Vbmax | 44.2 |
| VBN | 41.6 | | VBN | 37.8 |
| SUMA | 128 | | SUMA | 116.5 |
| PROMEDIO | 42.67 | | PROMEDIO | 38.83 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



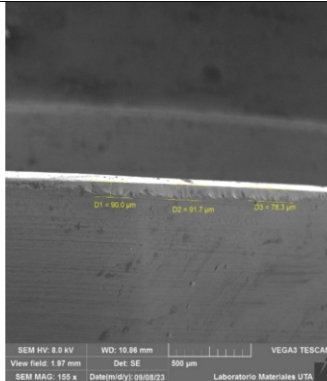
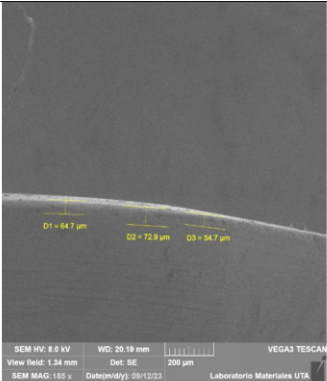
3.1.7.2. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (20 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 20 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 70.3 | VBC | 42.3 | |
| Vbmax | 71 | Vbmax | 50.1 | |
| VBN | 58.3 | VBN | 48.7 | |
| SUMA | 199.6 | SUMA | 141.1 | |
| PROMEDIO | 66.53 | PROMEDIO | 47.08 | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



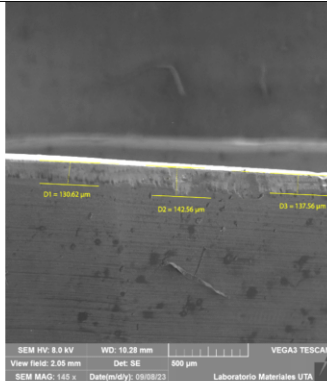
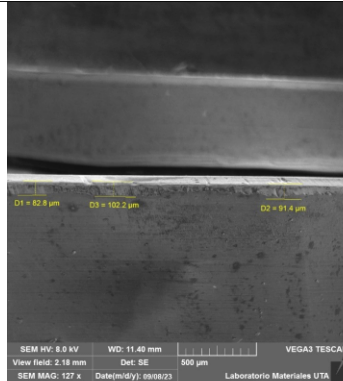
3.1.7.3. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (30 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | A |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 30 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | | | 72.7 | |
| Vbmax | | | 77 | |
| VBN | | | 58.9 | |
| SUMA | | | 208.6 | |
| PROMEDIO | | | 69.53 | |
| VBC | | | 43.9 | |
| Vbmax | | | 69.3 | |
| VBN | | | 53.4 | |
| SUMA | | | 166.6 | |
| PROMEDIO | | | 55.53 | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



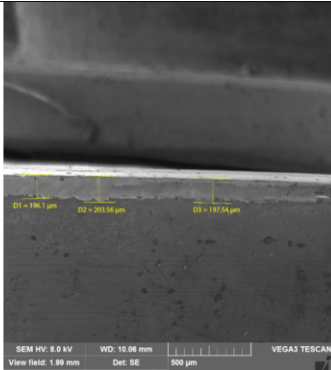
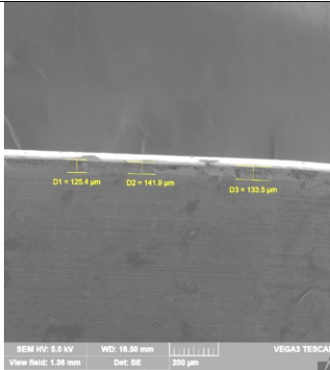
3.1.7.4. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (40 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 40 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 70 | | VBC | 54.7 |
| Vbmax | 91.7 | | Vbmax | 72.9 |
| VBN | 78.3 | | VBN | 64.7 |
| SUMA | 240 | | SUMA | 192.3 |
| PROMEDIO | 80 | | PROMEDIO | 64.1 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



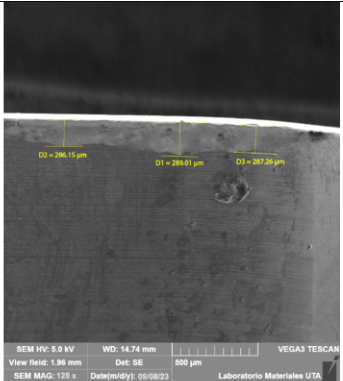
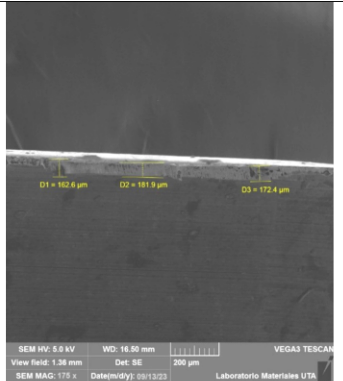
3.1.7.5. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (50 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 50 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 137.56 | | VBC | 82.8 |
| Vbmax | 142.56 | | Vbmax | 102.2 |
| VBN | 130.62 | | VBN | 91.4 |
| SUMA | 410.74 | | SUMA | 276.4 |
| PROMEDIO | 136.91 | | PROMEDIO | 92.13 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |




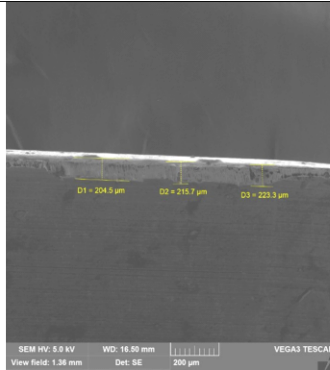
3.1.7.6. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (60 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 60 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | | | 197.54 | |
| Vbmax | | | 203.56 | |
| VBN | | | 196.1 | |
| SUMA | | | 597.2 | |
| PROMEDIO | | | 199.07 | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



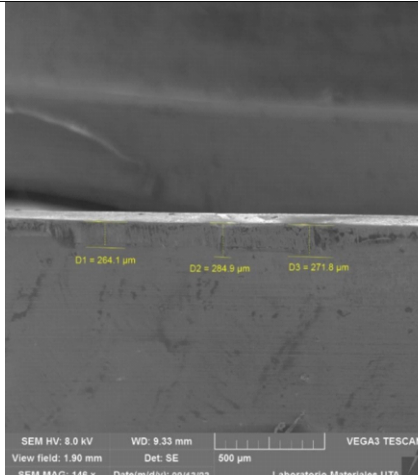
3.1.7.7. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (70 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 70 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 286.15 | | VBC | 162.6 |
| Vbmax | 289.01 | | Vbmax | 181.9 |
| VBN | 287.26 | | VBN | 172.4 |
| SUMA | 862.42 | | SUMA | 516.90 |
| PROMEDIO | 287.47 | | PROMEDIO | 172.30 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



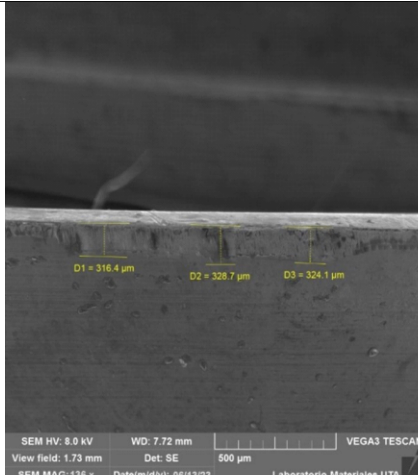
3.1.7.8. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (80 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 80 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 349.84 | | VBC | 204.5 |
| Vbmax | 353.54 | | Vbmax | 223.3 |
| VBN | 347.58 | | VBN | 215.7 |
| SUMA | 1050.96 | | SUMA | 643.50 |
| PROMEDIO | 350.32 | | PROMEDIO | 214.50 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

3.1.7.9. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (90 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 90 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | Material: | Acero AISI/SAE 1018 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5% Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Desbaste | Tipo de operación | Desbaste | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | | |
|  | | | | |
| | | VBC | 264.1 | |
| | | Vbmax | 284.9 | |
| | | VBN | 271.8 | |
| | | SUMA | 820.8 | |
| PROMEDIO | 273.60 | | | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que el desgaste del flanco del mecanizado (MQL + 0.5% Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico) no es tan drástico en comparación al desgaste del mecanizado (Minima cantidad de lubricante) | | | | |

3.1.7.10. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (100 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.

| | | | | | |
|--|--|-----------------------------------|-------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado | |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 100 | |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | | |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5% Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) | |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 | |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | | |
| LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | | | |
|  | | | | | |
| | | | VBC | 316.4 | |
| | | | Vbmax | 328.7 | |
| | | | VBN | 324.1 | |
| | | | SUMA | 969.2 | |
| | | | PROMEDIO | 323.07 | |
| CONCLUSIÓN | | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| Se puede observar que el desgaste del flanco del mecanizado (MQL + 0.5% Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico) no es tan drástico en comparación al desgaste del mecanizado (Minima cantidad de lubricante) | | | | | |

3.1.7.11. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (110 minutos de mecanizado) y $n=1360$ rpm del AISI 1018.



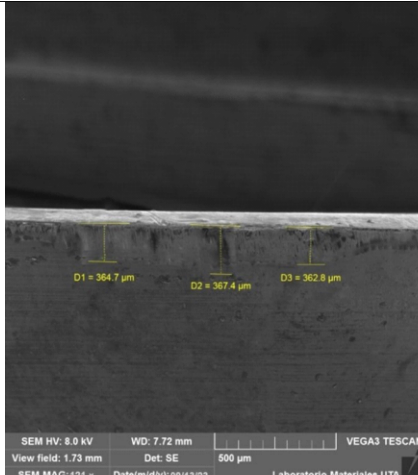
| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|-------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 5/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llunitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 1.5 | 0.8 | 110 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5% Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| RIGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | | |
|  | | | | |
| | | VBC | 362.8 | |
| | | Vbmax | 367.4 | |
| | | VBN | 364.7 | |
| | | SUMA | 1094.9 | |
| | | PROMEDIO | 364.97 | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que el desgaste del flanco del mecanizado (MQL + 0.5% Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico) no es tan drástico en comparación al desgaste del mecanizado (Mínima cantidad de lubricante) | | | | |

Tabla 31. Desgaste de flanco en función del tiempo E01 & E03 del AISI 1018.

| Tiempo de mecanizado (min) | Desgaste del flanco VB (μm) | |
|----------------------------|--|--|
| | 270 m/min; 0.1 mm/rev MQL | 270 m/min; 0.1 mm/rev; MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico |
| 10 | 42.67 | 38.83 |
| 20 | 66.53 | 47.03 |
| 30 | 69.53 | 55.53 |
| 40 | 80 | 64.1 |
| 50 | 136.91 | 92.13 |
| 60 | 199.07 | 133.6 |
| 70 | 287.47 | 172.3 |
| 80 | 350.32 | 214.5 |
| 90 | --- | 273.6 |
| 100 | --- | 323.07 |
| 110 | --- | 364.97 |

En la tabla 31 se muestran los valores obtenidos con los parámetros determinados para los experimentos E01 y E03, con una diferencia de sistema de lubricación y refrigeración en la herramienta de corte, los valores tabulados y la figura 45 representa el desgaste del flanco del inserto donde el experimento realizado con lubricación híbrida (MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂criogénico) presenta valores menores al largo del tiempo en comparación al método de MQL.

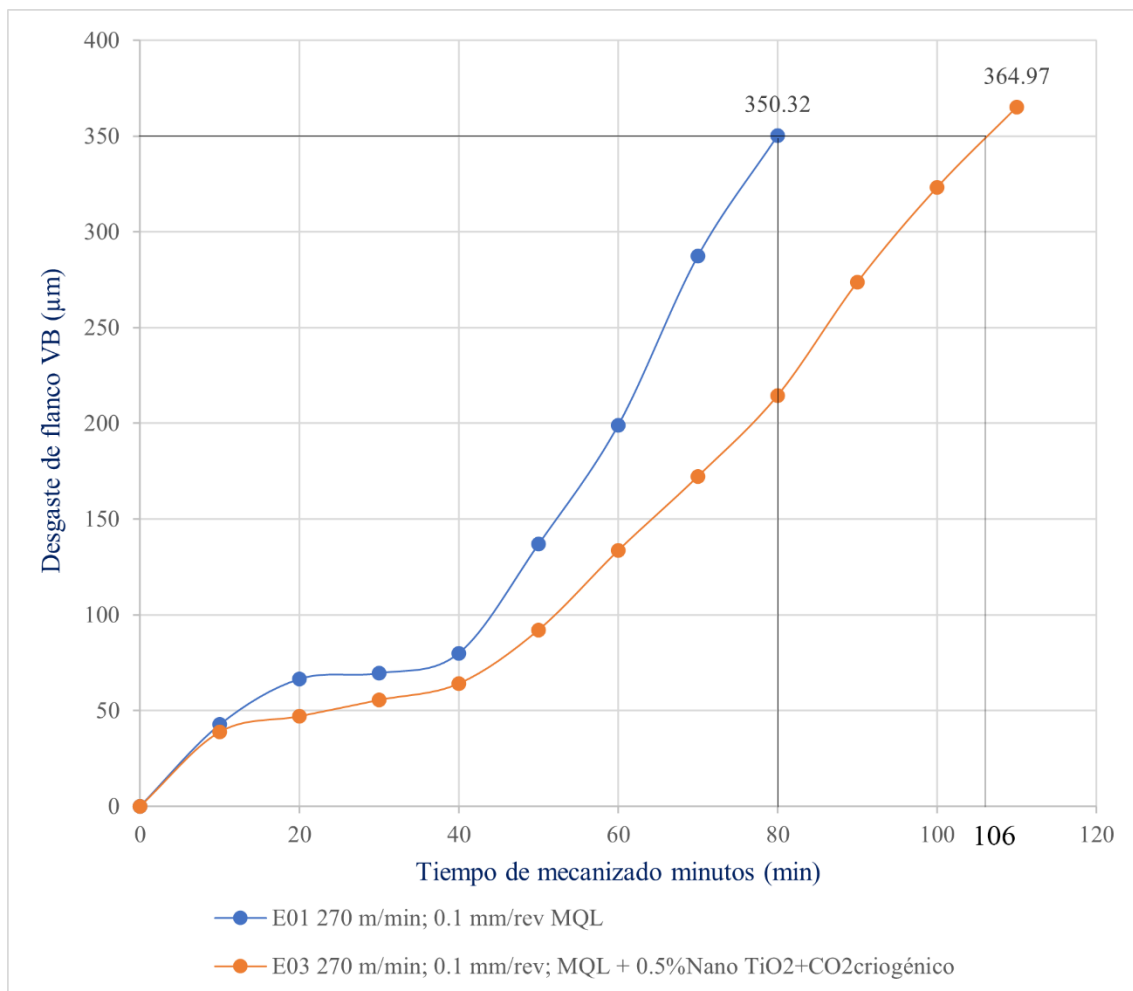


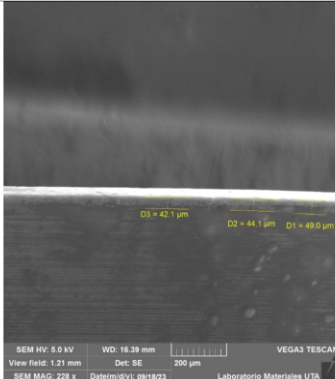
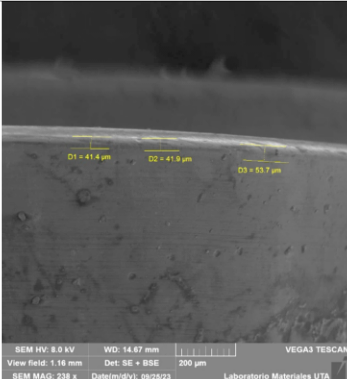




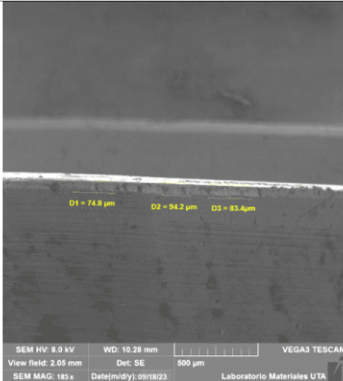
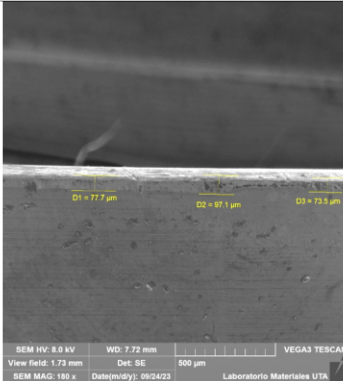
Figura 45. Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E01 & E03) del AISI 1018.

En la figura 45 se observa el trazado de los puntos donde el inserto llegó al límite de falla según la norma en el caso del experimento E01 el tiempo máximo es de 80 min; mientras que al utilizar el método de lubricación híbrida (MQL + 0.5% Nano TiO₂ + CO₂ criogénico) se prolonga el tiempo de uso hasta los 106 min.



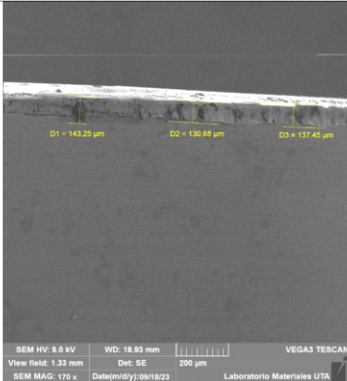
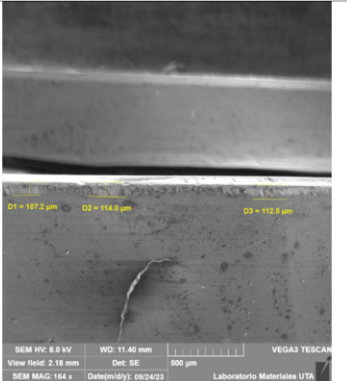
3.1.7.12 Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (10 minutos de mecanizado) y n=1860 rpm del AISI 1018

| | | | | |
|--|--|-----------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 8/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE TORNEADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.50 | 0.80 | 10 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO2+CO2criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480.00 | 2.00 | 50.00 | 45.00 | 1.50 |
| REGISTRO DE MEDICION GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HIBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 42.10 | | VBC | 41.40 |
| Vbmax | 44.10 | | Vbmax | 53.70 |
| VBN | 49.00 | | VBN | 41.90 |
| SUMA | 135.20 | | SUMA | 137.00 |
| PROMEDIO | 45.07 | | PROMEDIO | 45.67 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



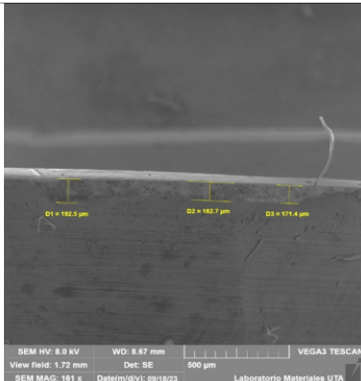
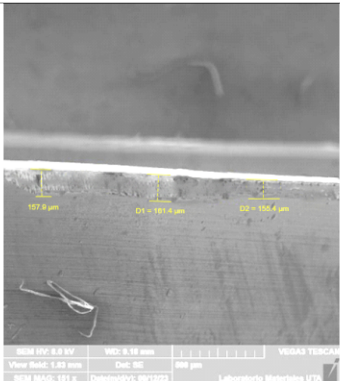
3.8.7.13. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (20 minutos de mecanizado) y $n=1860$ rpm del AISI 1018

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 8/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n (rpm) | Vf (mm/rev) | ap (mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.50 | 0.80 | 20 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5% Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Díametro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICION GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HIBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 74.8 | | VBC | 73.5 |
| Vbmax | 94.2 | | Vbmax | 97.1 |
| VBN | 83.4 | | VBN | 77.7 |
| SUMA | 252.4 | | SUMA | 248.3 |
| PROMEDIO | 84.13 | | PROMEDIO | 82.767 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



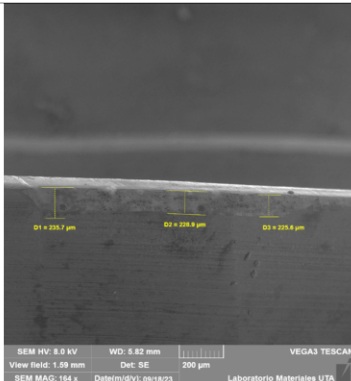
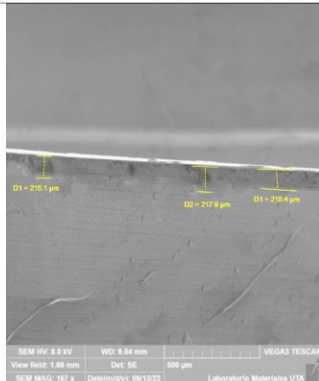
3.1.7.14. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (30 minutos de mecanizado) y $n=1860$ rpm del AISI 1018

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 8/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.50 | 0.80 | 30 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICION GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HIBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 130.68 | | VBC | 107.2 |
| Vbmax | 143.25 | | Vbmax | 114 |
| VBN | 137.45 | | VBN | 112.5 |
| SUMA | 411.38 | | SUMA | 333.7 |
| PROMEDIO | 137.13 | | PROMEDIO | 111.23 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



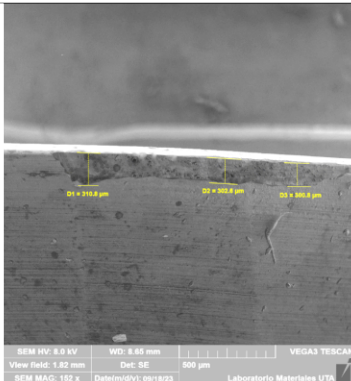
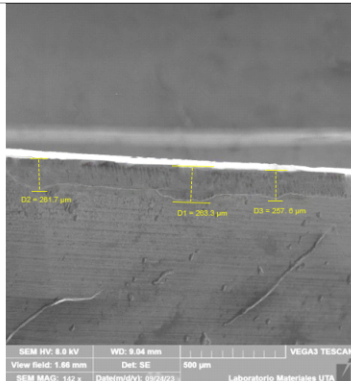
3.1.7.15. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (40 minutos de mecanizado) y $n=1860$ rpm del AISI 1018

| | | | | |
|--|--|-----------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 8/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.50 | 0.80 | 40 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO2+CO2criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Díametro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICION GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HIBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 172.45 | | VBC | 155.4 |
| Vbmax | 192.45 | | Vbmax | 161.4 |
| VBN | 181.56 | | VBN | 157.9 |
| SUMA | 546.46 | | SUMA | 474.7 |
| PROMEDIO | 182.15 | | PROMEDIO | 158.23 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



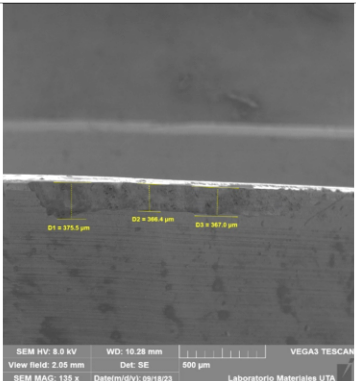
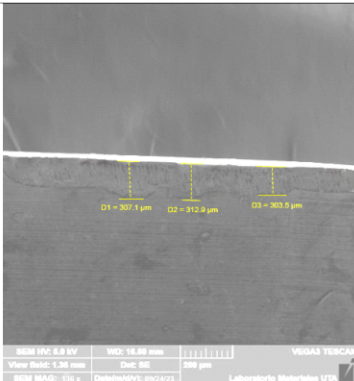
3.1.7.16. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (50 minutos de mecanizado) y $n=1860$ rpm del AISI 1018

| | | | | |
|--|--|-----------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 8/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.50 | 0.80 | 50 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO2+CO2criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICION GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HIBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 225.6 | VBC | 210.4 | |
| Vbmax | 235.7 | Vbmax | 217.9 | |
| VBN | 228.9 | VBN | 215.1 | |
| SUMA | 690.2 | SUMA | 643.4 | |
| PROMEDIO | 230.07 | PROMEDIO | 214.467 | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

3.1.7.17. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (60 minutos de mecanizado) y $n=1860$ rpm del AISI 1018

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 8/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.50 | 0.80 | 60 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICION GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HIBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 300.8 | | VBC | 257.6 |
| Vbmax | 310.8 | | Vbmax | 263.3 |
| VBN | 302.6 | | VBN | 261.7 |
| SUMA | 914.2 | | SUMA | 782.6 |
| PROMEDIO | 304.73 | | PROMEDIO | 260.87 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

3.1.7.18. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (70 minutos de mecanizado) y $n=1860$ rpm del AISI 1018

| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 8/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Lluñitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.50 | 0.80 | 70 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | | Material: | Acero AISI/SAE 1018 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Desbaste | | Tipo de operación | Desbaste |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICION GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HIBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 366.4 | | VBC | 303.5 |
| Vbmax | 375.5 | | Vbmax | 312.9 |
| VBN | 367 | | VBN | 307.1 |
| SUMA | 1108.9 | | SUMA | 923.5 |
| PROMEDIO | 369.63 | | PROMEDIO | 307.8333333 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

3.1.7.19. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (80 minutos de mecanizado) y $n=1860$ rpm del AISI 1018



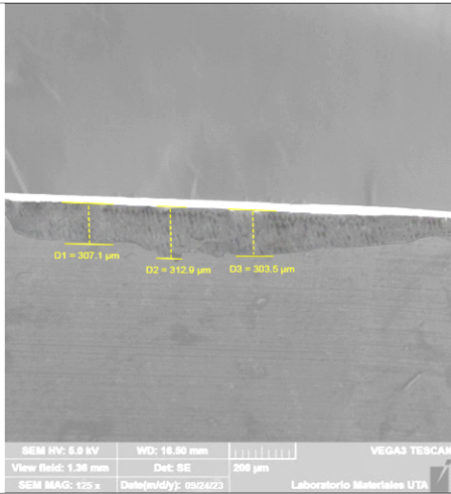
| | | | | |
|--|--|-----------------------------------|---|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 1018 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 8/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARAMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1860/360 | 910/0.1 | 1.50 | 0.80 | 80 |
| Material: | Acero AISI/SAE 1018 | Material: | Acero AISI/SAE 1018 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogenico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Desbaste | Tipo de operación | Desbaste | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Díametro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICION GENERAL | | | | |
| LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | | |
|  | | | | |
| | | VBC | 346 | |
| | | Vbmax | 353.3 | |
| | | VfN | 348.9 | |
| | | SUMA | 1048.2 | |
| PROMEDIO | 349.40 | | | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 350 µm en la zona media del flanco y 500 µm como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

Tabla 32 Desgaste de flanco en función del tiempo E02 & E04 del AISI 1018.

| Tiempo de mecanizado (min) | Desgaste del flanco VB (μm) | |
|----------------------------|--|--|
| | 360 m/min; 0.1 mm/rev MQL | 360 m/min; 0.1 mm/rev; MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico |
| 0 | 0 | 0 |
| 10 | 42.1 | 45.67 |
| 20 | 84.13 | 82.767 |
| 30 | 137.13 | 111.23 |
| 40 | 182.15 | 158.23 |
| 50 | 230.07 | 214.46 |
| 60 | 304.73 | 260.87 |
| 70 | 369.63 | 307.83 |
| 80 | --- | 349.4 |

En la tabla 32 se muestran los valores obtenidos con los parámetros determinados para los experimentos E02 y E04, con una diferencia de sistema de lubricación y refrigeración en la herramienta de corte, los valores tabulados y la figura 46 representa el desgaste del flanco del inserto donde el experimento realizado con lubricación híbrida (MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂criogénico) de la misma manera este último presenta valores bajos a lo largo del tiempo.

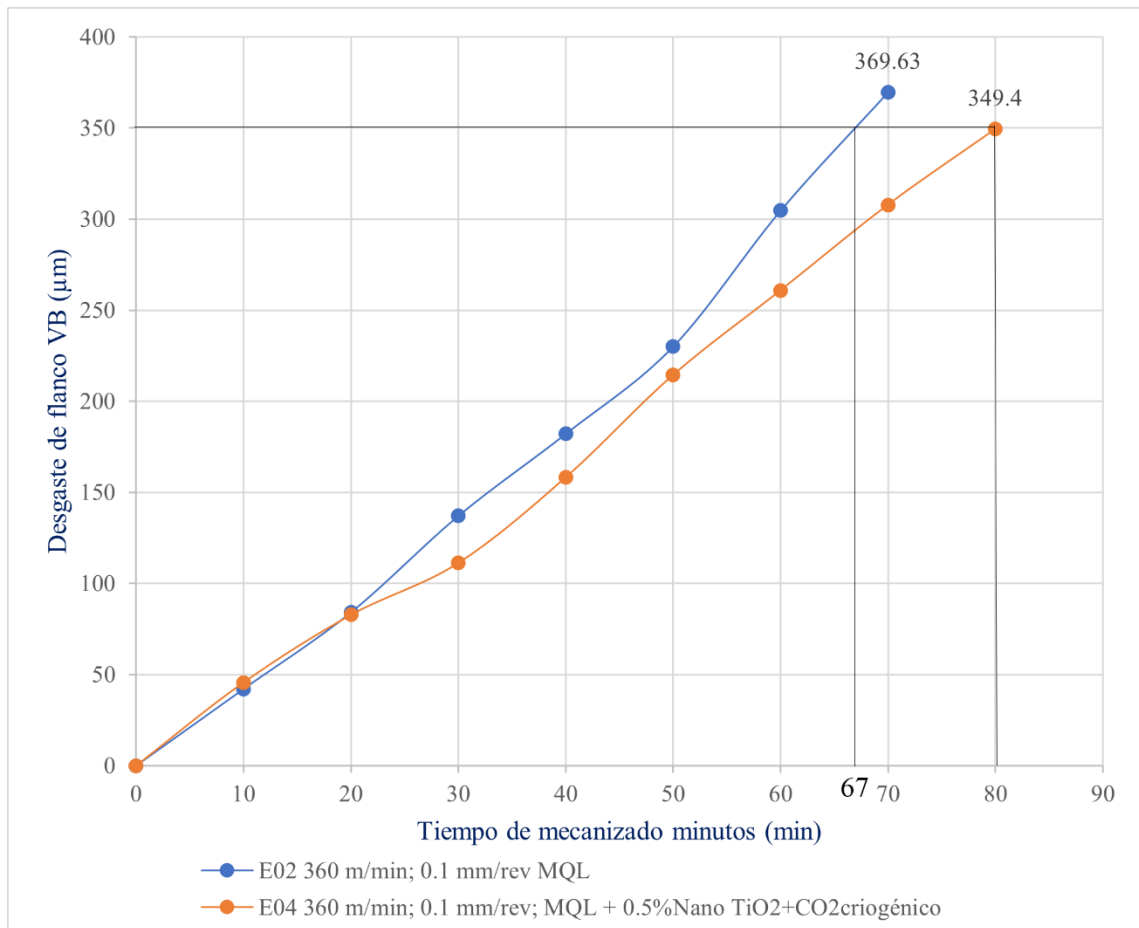


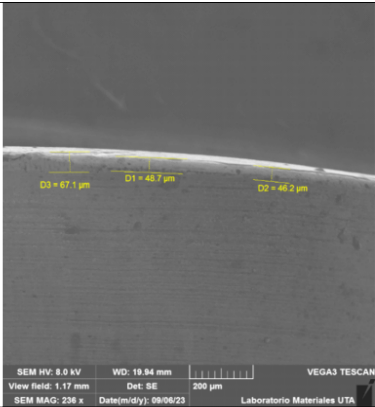
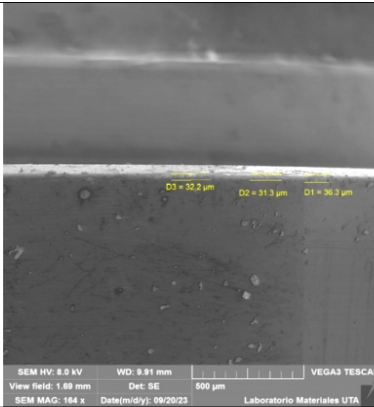




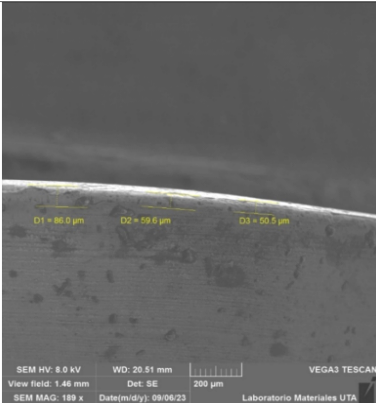
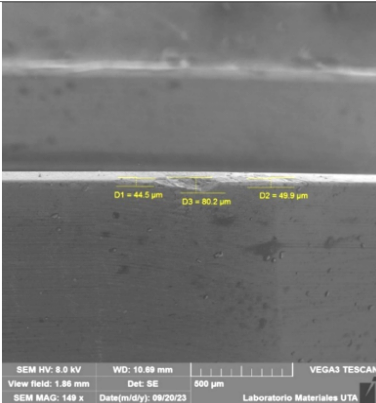
Figura 46. Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E02 & E04) del AISI 1018.

Como se puede observar en la figura 46 el desgaste del flanco del inserto del sistema híbrido (MQL + 0.5% Nano TiO₂ + CO₂ criogénico) se prolonga por más tiempo hasta llegar al criterio límite recomendado por norma a los 80 minutos de ser expuesto al trabajo, al contrario que el sistema MQL donde tiene menor tiempo de uso aproximadamente 67 minutos al trabajo de mecanizado.



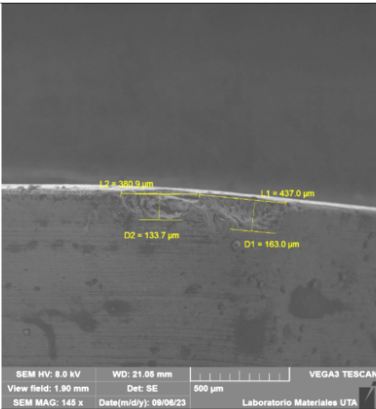
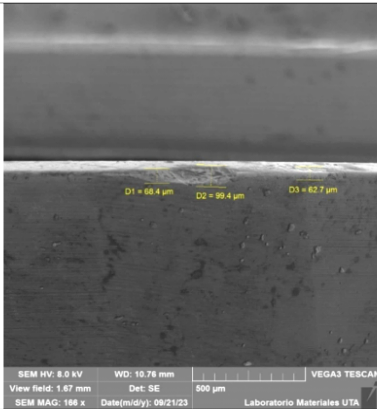
3.1.7.20. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (8 minutos de mecanizado) y $n = 960 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|--|---|-----------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 12/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado (min) |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | 8 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogénico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 48.7 | VBC | 32.2 | |
| Vbm _{ax} | 67.1 | Vbm _{ax} | 36.3 | |
| VBN | 46.2 | VBN | 31.3 | |
| SUMA | 162.0 | SUMA | 99.8 | |
| PROMEDIO | 54.0 | PROMEDIO | 33.27 | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 µm en la zona media del flanco y 500 µm como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



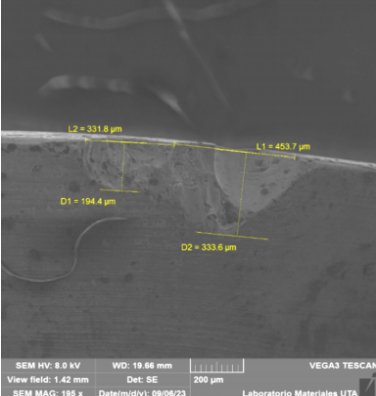
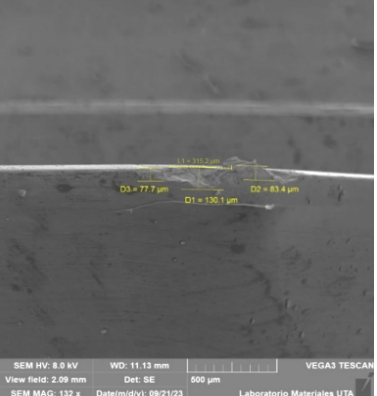
3.1.7.21. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (16 minutos de mecanizado) y $n = 960 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|--|---|-----------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 12/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | 16 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+ CO2criogénico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio |
| Caudal del lubricante (m ³ /h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| VBC | 59.6 | VBC | 49.9 | |
| Vbmax | 86 | Vbmax | 80.2 | |
| VBN | 50.5 | VBN | 44.5 | |
| SUMA | 196.1 | SUMA | 174.6 | |
| PROMEDIO | 65.37 | PROMEDIO | 58.20 | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



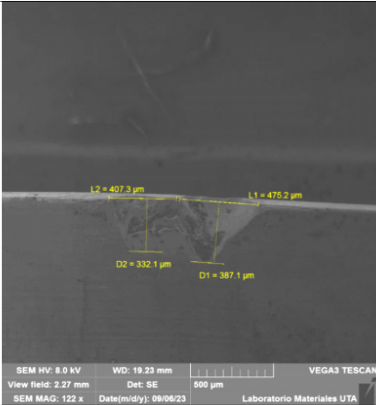
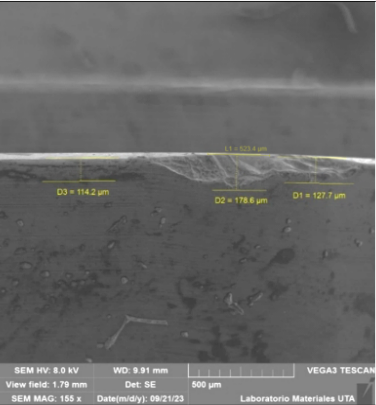
3.1.7.22. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (24 minutos de mecanizado) y $n = 960 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|--|---|-------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 12/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wihner Lluunitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | 24 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogénico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud 437.0 µm | | | VBC | |
| Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z) 163.0 µm | | | Vbmax | |
| | | | VBN | |
| | | | SUMA | |
| | | | PROMEDIO | |
| | | | 62.7 | |
| | | | 99.4 | |
| | | | 68.4 | |
| | | | 230.5 | |
| | | | 76.83 | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



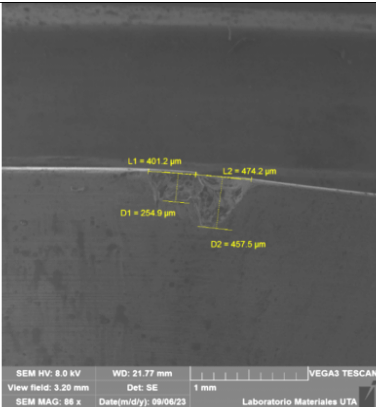
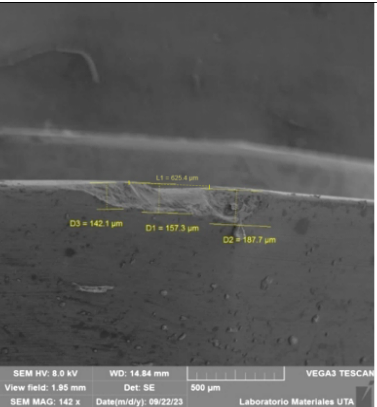
3.1.7.23. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (32 minutos de mecanizado) y $n = 960$ rpm del AISI 304

| | | | | |
|--|---|---|------------------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 12/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | 32 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogénico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | Tipo de operación | Medio | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | |
|  | |  | | |
| Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud 453.7 μm Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z) 333.6 μm | | Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud 315.2 μm Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z) 130.1 μm | | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



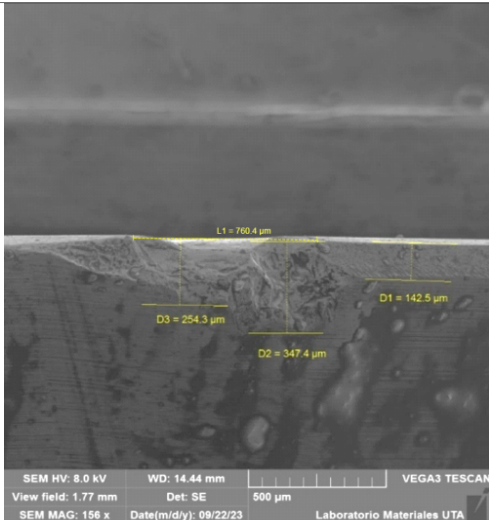
3.1.7.24. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (40 minutos de mecanizado) y $n = 960 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|--|---|-----------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 12/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Lhumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | 40 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogénico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| <p><i>Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud</i> 475.2 μm</p> <p><i>Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z)</i> 387.1 μm</p> | | | <p><i>Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud</i> 523.4 μm</p> <p><i>Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z)</i> 178.6 μm</p> | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 μm en la zona media del flanco y 500 μm como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



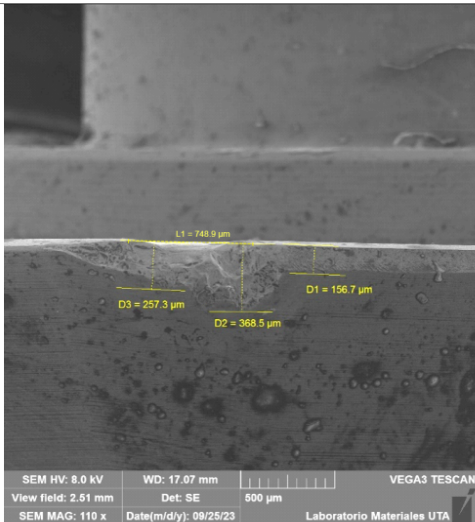
3.1.7.25. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (48 minutos de mecanizado) y $n = 960 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|---|---|-----------------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 12/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | 48 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| <p><i>Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud</i> 474.2 μm</p> <p><i>Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z)</i> 457.5 μm</p> | | | <p><i>Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud</i> 625.4 μm</p> <p><i>Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z)</i> 187.7 μm</p> | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| <p>El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo</p> | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| <p>Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo</p> | | | | |

3.1.7.26. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (56 minutos de mecanizado) y $n = 960 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|--|---|-----------------------|---|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 12/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Lhumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | 56 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+ CO2criogénico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | | |
|  | | | | |
| | | | <p><i>Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud</i> 760.4 µm</p> <p><i>Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad (z)</i> 347.4 µm</p> | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 µm en la zona media del flanco y 500 µm como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

3.1.7.27. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (64 minutos de mecanizado) y $n = 960 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|--|---|-----------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 12/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | 64 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+ CO2criogénico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | | |
|  | | | <p><i>Desgaste máximo a lo largo del flanco longitudinal</i> 748.2 µm</p> <p><i>Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z)</i> 368.5 µm</p> | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

3.1.7.28. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (72 minutos de mecanizado) y $n = 960 \text{ rpm}$ del AISI 304



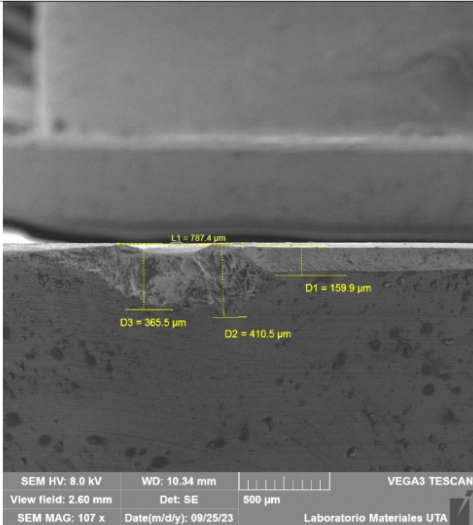
| | | | | |
|--|---|--|------------------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 12/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | VI(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 960/190 | 480/0.1 | 0.5 | 0.8 | 72 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogénico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | | |
|  | | <p><i>Desgaste máximo a lo largo del flanco longitudinal</i> 787.9 μm</p> <p><i>Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z)</i> 410.5 μm</p> | | |
| | | <p>SEM HV: 8.0 kV WD: 10.34 mm VEGA3 TESCAN View field: 2.60 mm Det: SE 500 μm SEM MAG: 107 x Date(m/d/y): 09/25/23 Laboratorio Materiales UTA</p> | | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

Tabla 33. Desgaste de flanco en función del tiempo E05 & E07 del AISI 304.

| Tiempo de mecanizado (min) | Desgaste del flanco VB (μm) | |
|----------------------------|--|---|
| | E05 190 m/min; 0.1 mm/rev MQL | E07 190 m/min; 0.1 mm/rev; MQL+0,5%NanoAl ₂ O ₃ +CO ₂ Criogénico |
| 0 | 0 | 0 |
| 8 | 54 | 33.27 |
| 16 | 65.37 | 58.2 |
| 24 | 163 | 76.83 |
| 32 | 333.6 | 130.1 |
| 40 | 387.1 | 178.6 |
| 48 | 457.5 | 187.7 |
| 56 | --- | 347.4 |
| 64 | --- | 368.5 |
| 72 | --- | 410.5 |

En la tabla 33 se presentan valores de los experimentos realizados bajo los parámetros planteados para los experimentos E05 y E07, con una diferencia de sistema de lubricación y refrigeración en la herramienta de corte, los valores tabulados y la figura 47 representa el desgaste del flanco del inserto donde el experimento realizado con lubricación híbrida (MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂criogénico) representando un valor

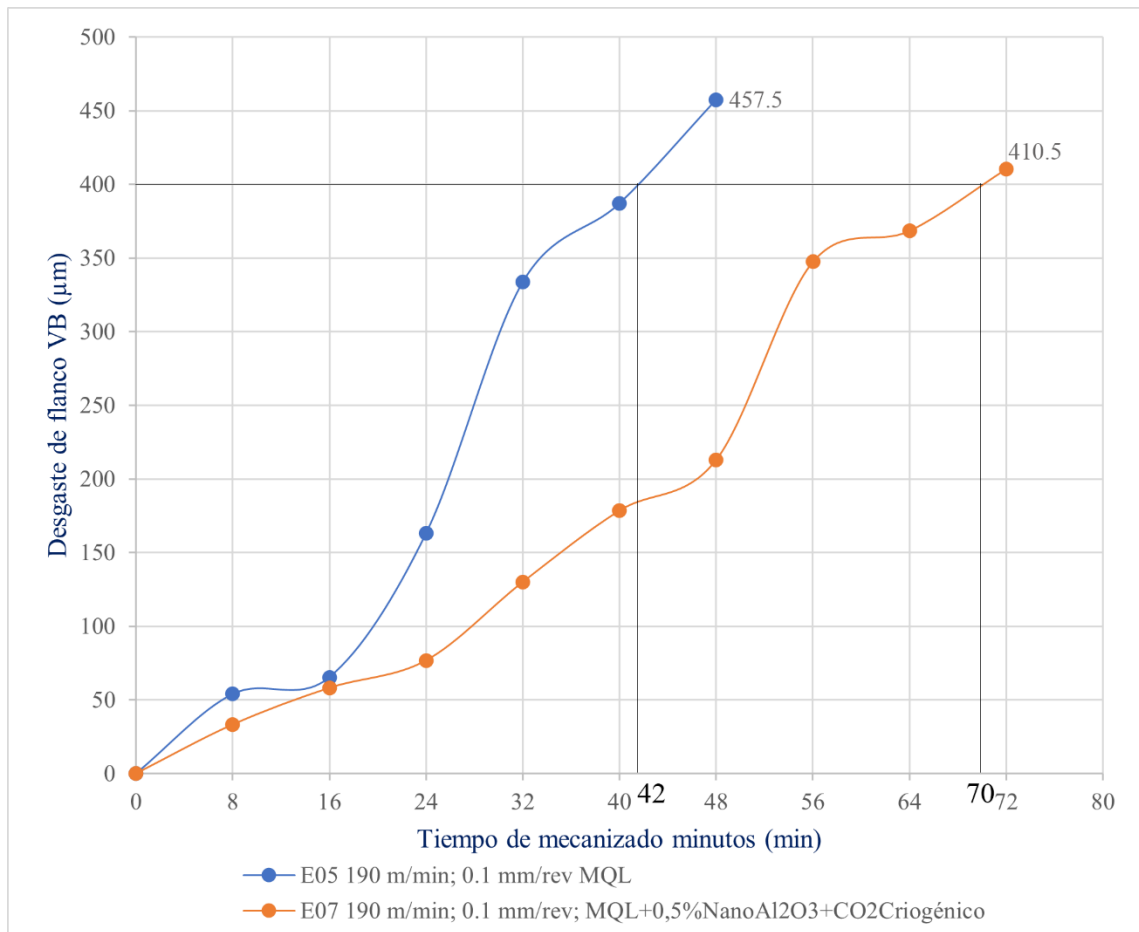


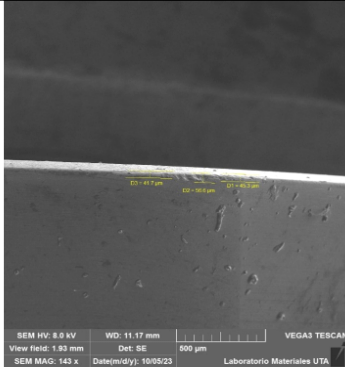
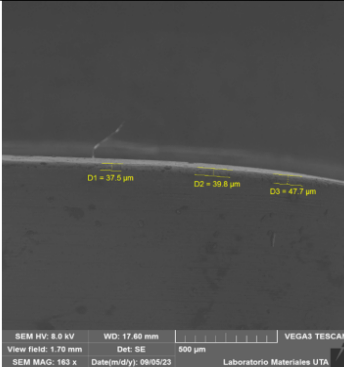




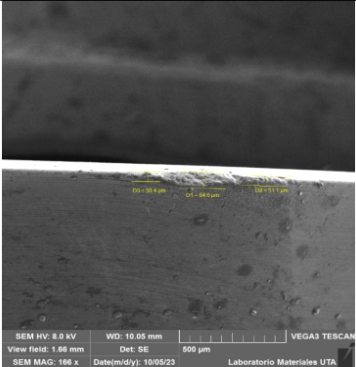
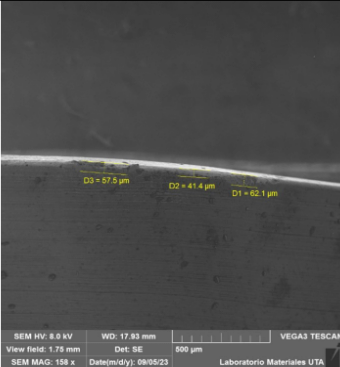
Figura 47. Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E05 & E07) del AISI 304.

De igual manera se puede observar en la figura 47 existe un mayor desgaste del flanco del inserto cuando se emplea el sistema MQL en comparación al híbrido (MQL+0,5%NanoAl₂O₃+CO₂Criogénico), donde llegan al criterio de desgaste de la herramienta en un tiempo de trabajo de 42 minutos y 70 minutos aproximados para cada caso empleado; es decir que el sistema híbrido tiene una mejora de 28 minutos más que el sistema MQL hasta cumplir el criterio de desgaste.



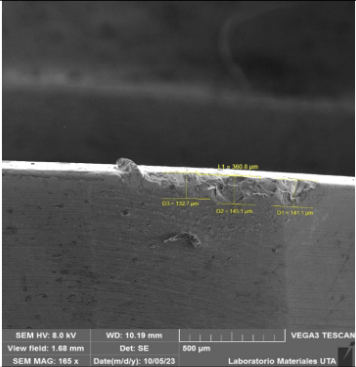
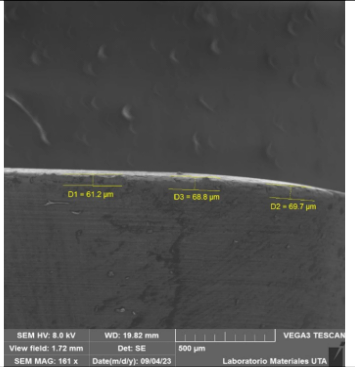
3.1.7.29. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (4 minutos de mecanizado) y $n = 1360 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | | |
|--|---|--|------------------------------------|----------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | | |
| Fecha de ejecución | 16/10/2023 | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | | |
| | Adriel Ocaña | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado (min) | |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | 0.8 | 4 | |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogenico | | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | |
| Tipo de operación | Medio | Tipo de operación | Medio | | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) | |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 | |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | | |
| MQL | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | |
|  | |  | | | |
| VBC | 41.70 | VBC | 37.5 | | |
| Vbmax | 56.60 | Vbmax | 47.7 | | |
| VBN | 45.30 | VBN | 39.8 | | |
| SUMA | 143.60 | SUMA | 125.00 | | |
| PROMEDIO | 47.87 | PROMEDIO | 41.67 | | |
| CONCLUSIÓN | | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | | |



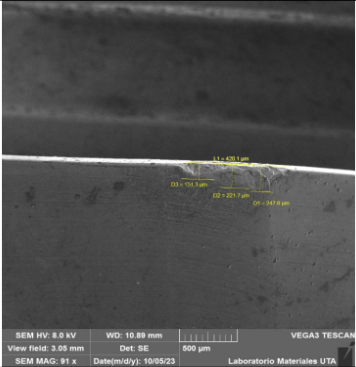
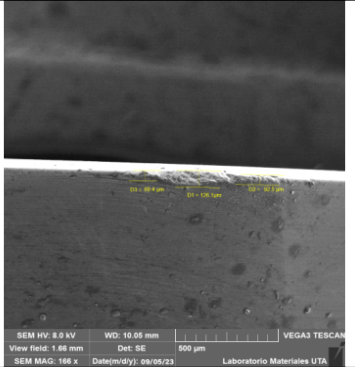
3.1.7.30. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (8 minutos de mecanizado) y $n = 1360$ rpm del AISI 304

| | | | | |
|--|---|--|------------------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 16/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | 0.8 | 8 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogenico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | Tipo de operación | Medio | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | |
|  | |  | | |
| VBC | 50.40 | VBC | 41.4 | |
| Vbmax | 84.60 | Vbmax | 62.1 | |
| VBN | 51.10 | VBN | 57.5 | |
| SUMA | 186.10 | SUMA | 161.00 | |
| PROMEDIO | 62.03 | PROMEDIO | 53.67 | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



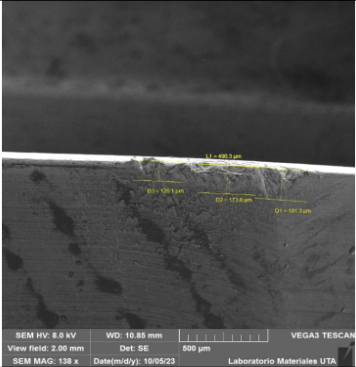
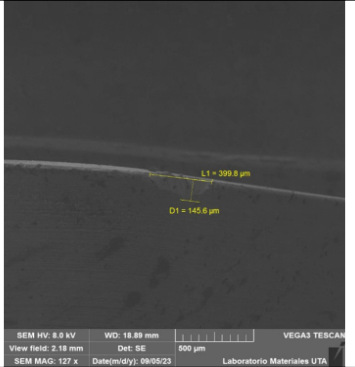
3.1.7.31. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (12 minutos de mecanizado) y $n = 1360 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|---|---|--|------------------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 16/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumínasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | 0.8 | 12 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogenico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | Tipo de operación | Medio | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Díametro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | |
|  | |  | | |
| Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud | | VBC | | |
| 360.8 μm | | Vbmax | | |
| Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z) | | VBN | | |
| 145.1 μm | | SUMA | | |
| | | PROMEDIO | | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| [El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



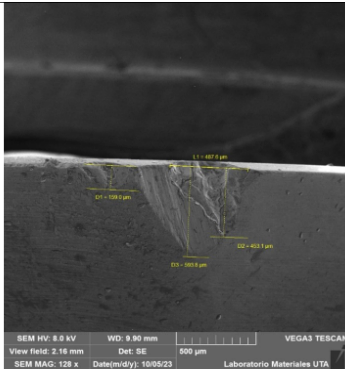
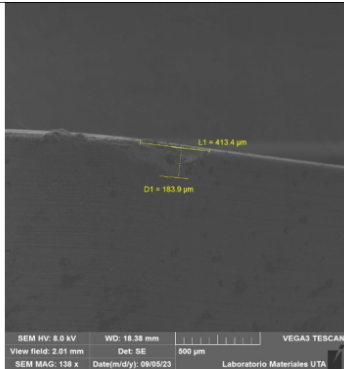
3.1.7.32. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (16 minutos de mecanizado) y $n = 1360 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|---|---|-------------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 16/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumínasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | 0.8 | 16 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogenico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | Tipo de operación | Medio | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud | | | VBC | 80.4 |
| Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z) | | | Vbmax | 126.1 |
| | | | VBN | 92.5 |
| | | | SUMA | 299.00 |
| | | | PROMEDIO | 99.67 |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| [El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |



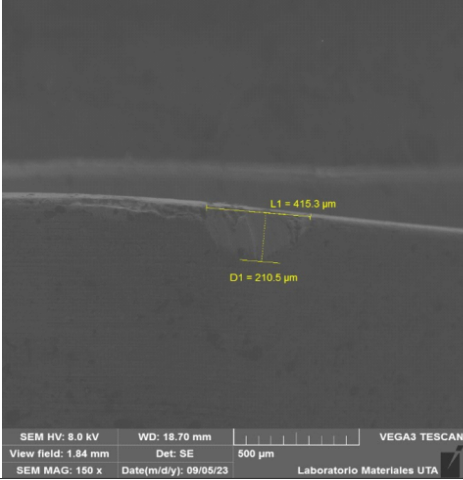
3.1.7.33. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (20 minutos de mecanizado) y $n = 1360 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | | |
|---|---|-----------------------|---|------------------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 16/10/2023 | | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado | |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | 0.8 | 20 | |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogenico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) | |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 | |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | |
|  | | |  | | |
| Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud 490.3 μm | | | Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud 399.8 μm | | |
| Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z) 247.0 μm | | | Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z) 145.6 μm | | |
| CONCLUSIÓN | | | | | |
| [El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 μm en la zona media del flanco y 500 μm como desgaste máximo | | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | | |

3.1.7.34. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (24 minutos de mecanizado) y $n = 1360 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|---|---|-----------------------|--|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | | Ítem | B |
| Fecha de ejecución | 16/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Llumitasig | | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | 0.8 | 24 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 |
| Sistema de lubricación: | MQL | | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+CO2criogenico |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 |
| Tipo de operación | Medio | | Tipo de operación | Medio |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Diámetro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| MQL | | | LUBRICACIÓN HÍBRIDA | |
|  | | |  | |
| Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud 460 µm | | | Desgaste máximo a lo largo del flanco longitud 413.4 µm | |
| Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z) 453.1 µm | | | Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad(z) 183.9 µm | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| [El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

3.1.7.35. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (28 minutos de mecanizado) y $n = 1360 \text{ rpm}$ del AISI 304

| | | | | |
|--|---|---|---|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 16/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer L. Lumitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| $n(\text{rpm})$ | $V_f(\text{mm/rev})$ | $a_p(\text{mm})$ | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | 0.8 | 28 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogenico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | Tipo de operación | Medio | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO ₂ (bar) | Ángulo de incidencia | Díametro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | | |
|  | | <p><i>Desgaste máximo a lo largo del flanco longitudinal</i> 415.3 µm</p> <p><i>Desgaste máximo en el ancho del flanco profundidad (z)</i> 210.5 µm</p> | | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 µm en la zona media del flanco y 500 µm como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL, debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

3.1.7.36. Ficha de registros del desgaste del flanco mecanizado MQL (32 minutos de mecanizado) y $n = 1360 \text{ rpm}$ del AISI 304



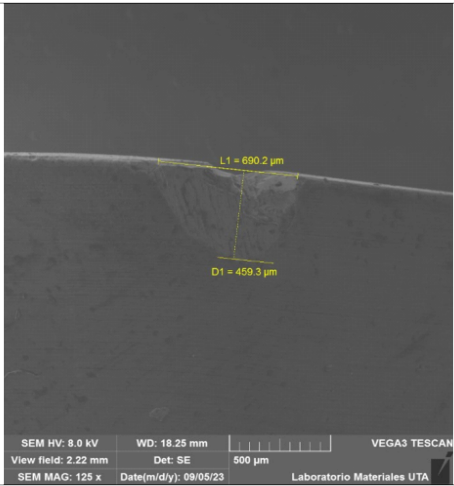
| | | | | |
|--|---|--|-------------------------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  |
| | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| | CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | |
| | FRESADO FRONTAL DE ACERO 304 CON INSERTOS DE METAL DURO | | | |
| REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DE FLANCOS | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Ítem | B | |
| Fecha de ejecución | 16/10/2023 | | | |
| Lugar de estudio | Universidad Técnica de Ambato | | | |
| Realizado por: | Wilmer Lhumitasig | Revisado por: | Ing. Diego Nuñez | |
| | Adriel Ocaña | | | |
| PARÁMETROS DE FRESADO Y LUBRICACIÓN | | | | |
| n(rpm) | Vf(mm/rev) | ap(mm) | Radio de punta | Tiempo de mecanizado |
| 1360/270 | 680/0.1 | 0.5 | 0.8 | 32 |
| Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | Material: | Acero Inoxidable AISI 304 | |
| Sistema de lubricación: | MQL | Sistema de lubricación: | MQL + 0.5%Nano Al2O3+ CO2criogenico | |
| Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | Fluido lubricante: | Unist Coolube 2210 XP | |
| Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | Herramienta de corte: | SEET 12T3-DM YBG202 | |
| Tipo de operación | Medio | Tipo de operación | Medio | |
| Caudal del lubricante (ml/h) | Presión de aire comprimido (bar) | Presión del CO2 (bar) | Ángulo de incidencia | Díametro de salida (mm) |
| 480 | 2 | 50 | 45 | 1.5 |
| REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL | | | | |
| LUBRICACIÓN HÍBRIDA | | | | |
|  | | | | |
| | | <p><i>Desgaste máximo a lo largo del flanco</i> longitud 690.2 µm <i>Desgaste máximo en el ancho del flanco</i> profundidad (z) 459.3 µm</p> | | |
| CONCLUSIÓN | | | | |
| El desgaste del del flanco de los insertos está dentro del criterio establecido por la norma 8688-1 : 1989 para las plaquitas de metal duro que corresponde a 400 um en la zona media del flanco y 500 um como desgaste máximo | | | | |
| OBSERVACIONES | | | | |
| Se puede observar que existe un menor desgaste en el flanco al emplear un método de lubricación híbrida en comparación al sistema MQL., debido a que existe menor fricción entre los insertos y el material de trabajo | | | | |

Tabla 34 Desgaste de flanco en función del tiempo E06 & E08 del AISI 304.

| Tiempo de mecanizado (min) | Desgaste del flanco VB (μm) | |
|----------------------------|--|--|
| | E06 270 m/min; 0.1 mm/rev MQL | E08 270 m/min; 0.1 mm/rev; MQL+0,5%NanoAl ₂ O ₃ +CO ₂ Criogénico |
| 0 | 0 | 0 |
| 4 | 47.87 | 41.67 |
| 8 | 62.03 | 53.67 |
| 12 | 145.1 | 66.57 |
| 16 | 191.3 | 99.68 |
| 20 | 247 | 145.6 |
| 24 | 453.1 | 183.9 |
| 28 | --- | 210.5 |
| 32 | --- | 459.3 |

En la tabla 34 se muestran los valores obtenidos con los parámetros determinados para los experimentos E02 y E04, con una diferencia de sistema de lubricación y refrigeración en la herramienta de corte, los valores tabulados y la figura 48 representa el desgaste del flanco del inserto donde el experimento realizado con lubricación híbrida (MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂criogénico) presenta valores menores al largo del tiempo en comparación al método de MQL.

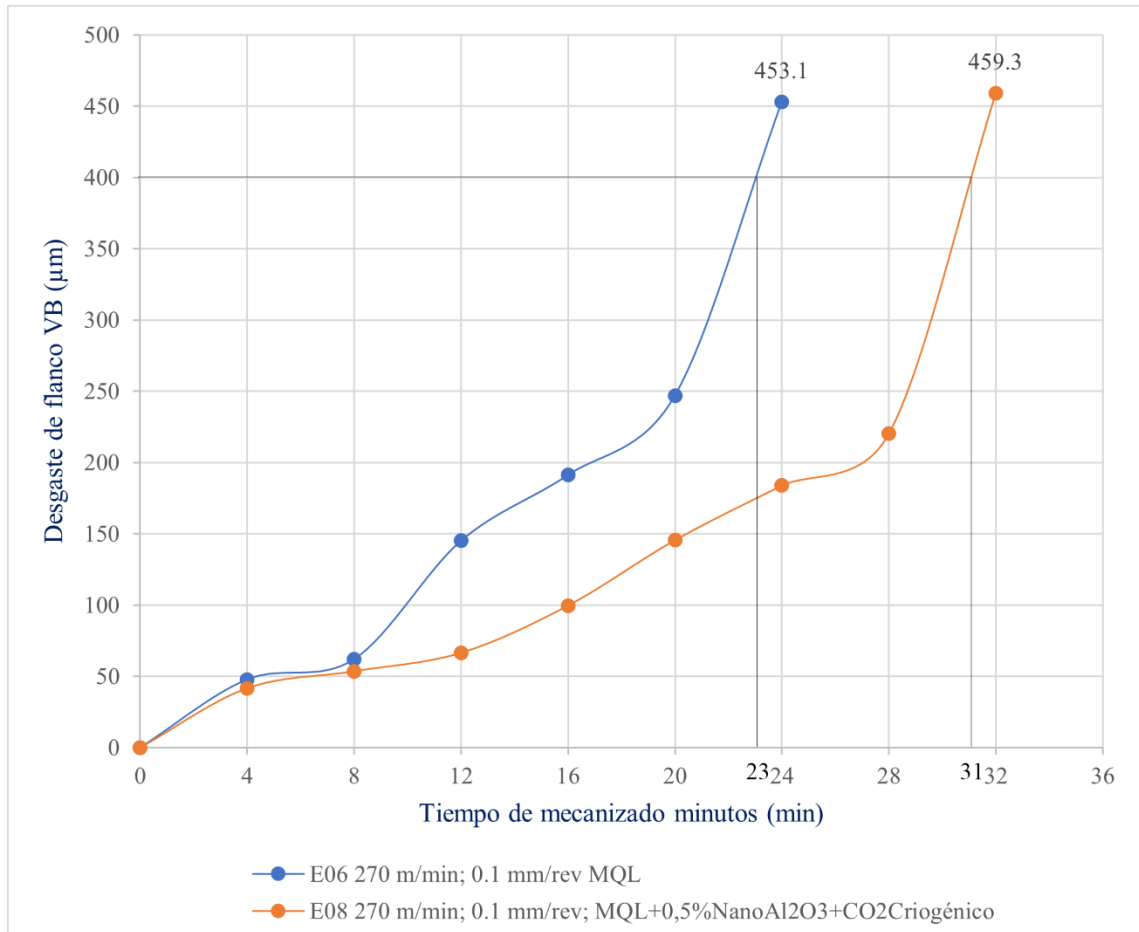


Figura 48. Evolución del desgaste de flanco; comparativa (E06 & E08) del AISI 304.

Como se muestra en la figura 48 el desgaste es lento al inicio con una estrecha diferencia entre los dos métodos y se incrementa con el tiempo de mecanizado esto se debe que con el pasar del tiempo existe un desprendimiento del recubrimiento del inserto; también al utilizar el sistema híbrido (MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂criogénico) a elevadas velocidades el tiempo de desgaste del inserto disminuye drásticamente para el sistema MQL tenemos un tiempo de 23 minutos aproximadamente en comparación al sistema híbrido que se prolonga hasta los 31 minutos hasta alcanzar el criterio de falla recomendado por la norma.

3.1.8. Ecuación de Taylor

Para poder calcular la vida útil de la herramienta de corte se puede aplicar la ecuación simplificada donde se emplea los valores de las constantes de C y K requeridos en la ecuación en base a los parámetros del proceso del fresado.

$$V_c T^{\frac{1}{k}} = C \quad (7)$$

Donde:

V_c = Velocidad de corte

T = Tiempo de vida de la herramienta

C, K = Constantes que dependen de las condiciones corte

Cálculo de la constante C

$$y = a + k(x - \bar{X}) \quad (8)$$

Cálculo de las constantes para el acero AISI 1018 sistema MQL (mínima Cantidad de Lubricante)

Tabla 35. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado MQL del AISI 1018.

| No. prueba | Vc (m/min) | t (min) | X = log Vc | Y = log t | XY | X ² | Y ² |
|------------|------------|---------|------------|-----------|--------|----------------|----------------|
| 1 | 270 | 80 | 2.4314 | 1.9031 | 4.6271 | 5.9115 | 3.6218 |
| 2 | 360 | 67 | 2.5563 | 1.8261 | 4.6680 | 6.5347 | 3.3345 |
| n = 2 | | Σ | 4.9877 | 3.7292 | 9.2951 | 12.4462 | 6.9563 |

| (ΣX) ² | ΣX*ΣY | (ΣX) ² /n | (ΣX*ΣY)/n | $\bar{X} = \Sigma X/n$ | $\bar{Y} = \Sigma Y/n$ | k | (-1/k) |
|-------------------|---------|----------------------|-----------|------------------------|------------------------|---------|--------|
| 24.8768 | 18.5998 | 12.4384 | 9.2999 | 2.4938 | 1.8646 | -0.6164 | 1.6223 |

| | |
|-----------|-----------|
| Log C | 2.5187 |
| C (m/min) | 330120.58 |

Cálculo de las constantes para el acero AISI 1018 sistema MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂criogénico

Tabla 36. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂criogénico del AISI 1018.

| No. prueba | Vc (m/min) | t (min) | X = log Vc | Y = log t | XY | X ² | Y ² |
|------------|------------|---------|------------|-----------|--------|----------------|----------------|
| 1 | 270 | 106 | 2.4314 | 2.0253 | 4.9243 | 5.9115 | 4.1019 |
| 2 | 360 | 80 | 2.5563 | 1.9031 | 4.8649 | 6.5347 | 3.6218 |
| n = 2 | | Σ | 4.9877 | 3.9284 | 9.7891 | 12.4462 | 7.7236 |

| (ΣX) ² | ΣX*ΣY | (ΣX) ² /n | (ΣX*ΣY)/n | X̄=ΣX/n | Ȳ=ΣY/n | k | (-1/k) |
|-------------------|---------|----------------------|-----------|---------|--------|---------|--------|
| 24.8768 | 19.5935 | 12.4384 | 9.7968 | 2.4938 | 1.9642 | -0.9782 | 1.0223 |

| | |
|------------------|----------|
| Log C | 4.5018 |
| C (m/min) | 31753.50 |

Ecuación de Taylor para mecanizado MQL (mínima Cantidad de Lubricante)

Reemplazando los valores obtenidos en la tabla 35 de 330120.58 para C y 0.6164 para k en la ecuación de Taylor. Así se obtiene una ecuación de que representa un modelo matemático que define la vida útil de la herramienta de corte para el mecanizado MQL.

$$V_c T C^{\frac{1}{0.6164}} = 330120.58$$

Ecuación de Taylor para mecanizado MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico

De igual manera en este modelo matemático se tiene el valor de 31753.50 para C y 0.9782 para k, de la misma manera se reemplaza para obtener una función que represente la vida útil en minutos de la herramienta de corte para el mecanizado con lubricación híbrida.

$$V_c T C^{\frac{1}{0.9782}} = 31753.50$$

Con la ecuación descritas anteriormente se puede predecir la vida útil de la herramienta de corte en función a la velocidad de corte bajo los sistemas de mecanizados analizados; MQL e híbrido (MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico), despejando el tiempo de corte. En la tabla 37 se muestran los valores calculados entre los intervalos de 270 a 400 m/min en intervalos de 5 m/min

Tabla 37. Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado MQL y con mecanizado MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) del AISI 1018.

| Velocidad de corte (m/min) | Tiempo de corte (min) | |
|----------------------------|-----------------------|---|
| | MQL | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico |
| 270 | 80 | 106 |
| 275 | 79.100 | 104.114 |
| 280 | 78.227 | 102.295 |
| 285 | 77.378 | 100.539 |
| 290 | 76.553 | 98.843 |
| 295 | 75.750 | 97.204 |
| 300 | 74.969 | 95.619 |
| 305 | 74.209 | 94.086 |
| 310 | 73.469 | 92.601 |
| 315 | 72.748 | 91.163 |
| 320 | 72.045 | 89.769 |
| 325 | 71.360 | 88.418 |
| 330 | 70.692 | 87.107 |
| 335 | 70.039 | 85.835 |
| 340 | 69.403 | 84.600 |
| 345 | 68.781 | 83.401 |
| 350 | 68.174 | 82.235 |
| 355 | 67.580 | 81.102 |
| 360 | 67.000 | 80.000 |
| 365 | 66.433 | 78.928 |
| 370 | 65.878 | 77.884 |
| 375 | 65.335 | 76.868 |
| 380 | 64.804 | 75.879 |
| 385 | 64.284 | 74.915 |
| 390 | 63.774 | 73.975 |
| 395 | 63.276 | 73.059 |
| 400 | 62.787 | 72.166 |

Según la tabla 37 se interpreta conforme al incremento de la velocidad de corte reduce de manera directa el tiempo de vida útil de la herramienta de corte en ambos casos, en el

modelo de mecanizado MQL a los 270 m/min se obtiene un valor de 79 minutos mientras que a los 400 m/min un tiempo de 62.787 minutos, el sistema (MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) registra una mejora de 18.53 por ciento en relación con el mecanizado del sistema MQL para las velocidades representada en la figura 49.

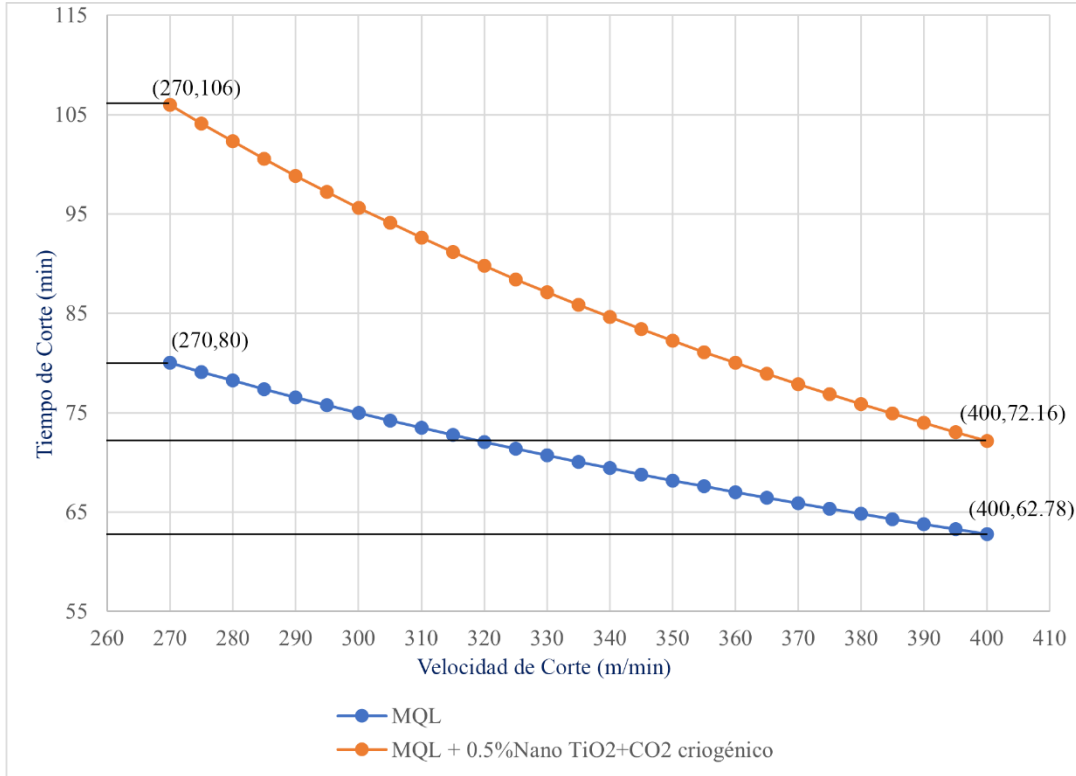


Figura 49. Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado MQL y con mecanizado MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) del AISI 1018.

Cálculo de las constantes para el acero AISI 304 sistema MQL (mínima Cantidad de Lubricante)

Tabla 38. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado MQL del AISI 304.

| No. prueba | Vc (m/min) | t (min) | X = log Vc | Y = log t | XY | X ² | Y ² |
|------------|------------|---------|------------|-----------|--------|----------------|----------------|
| 1 | 190 | 42 | 2.2788 | 1.6232 | 3.6990 | 5.1927 | 2.6349 |
| 2 | 270 | 23 | 2.4314 | 1.3617 | 3.3109 | 5.9115 | 1.8543 |
| n = 2 | | Σ | 4.7101 | 2.9850 | 7.0098 | 11.1042 | 4.4892 |

| (ΣX) ² | ΣX*ΣY | (ΣX) ² /n | (ΣX*ΣY)/n | X̄=ΣX/n | Ȳ=ΣY/n | k | (-1/k) |
|-------------------|---------|----------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|
| 22.1852 | 14.0596 | 11.0926 | 7.0298 | 2.3551 | 1.4925 | -1.714 | 0.584 |

| | |
|------------------|---------|
| Log C | 3.226 |
| C (m/min) | 1682.66 |

Cálculo de las constantes para el acero AISI 304 sistema MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico

Tabla 39. Parámetros para el cálculo de las constantes C y k para mecanizado MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico del AISI 304.

| No. prueba | Vc (m/min) | t (min) | X = log Vc | Y = log t | XY | X² | Y² |
|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|------------------|-----------|----------------------|----------------------|
| 1 | 190 | 70 | 2.2788 | 1.8451 | 4.2045 | 5.1927 | 3.4044 |
| 2 | 270 | 31 | 2.4314 | 1.4914 | 3.6260 | 5.9115 | 2.2242 |
| n = 2 | | | 4.7101 | 3.3365 | 7.8306 | 11.1042 | 5.6285 |

| (ΣX)² | ΣX*ΣY | (ΣX)²/n | (ΣX*ΣY)/n | X̄=ΣX/n | Ȳ=ΣY/n | k | (-1/k) |
|-------------------------|--------------|---------------------------|------------------|----------------|---------------|----------|---------------|
| 22.1852 | 15.7151 | 11.0926 | 7.8576 | 2.3551 | 1.6682 | -2.318 | 0.4314 |

| | |
|------------------|---------|
| Log C | 3.0748 |
| C (m/min) | 1187.88 |

Ecuación de Taylor para mecanizado MQL (mínima Cantidad de Lubricante)

Reemplazando los valores obtenidos en la tabla 38 de 1682.66 para C y 1.714 para k en la ecuación de Taylor. Así se obtiene una ecuación de que representa un modelo matemático que define la vida útil de la herramienta de corte para el mecanizado MQL

$$V_c T C^{\frac{1}{1.714}} = 1682.66$$

Ecuación de Taylor para mecanizado MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico

De igual manera en este modelo matemático se tiene el valor de 1187.88 para C y 2.318 para k, de la misma manera se reemplaza para obtener una función que represente la vida útil en minutos de la herramienta de corte para el mecanizado con lubricación híbrida

$$V_c T C^{\frac{1}{2.318}} = 1187.88$$

Con la ecuación descritas anteriormente se puede predecir la vida útil de la herramienta de corte en función a la velocidad de corte bajo los sistemas de mecanizados analizados; MQL e híbrido (MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico), despejando el tiempo de corte. En la tabla 40 se muestran los valores calculados entre los intervalos de 190 a 300 m/min en intervalos de 5 m/min

Tabla 40. Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado MQL y con mecanizado MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico del AISI 304.

| Velocidad de corte (m/min) | Tiempo de corte (min) | |
|----------------------------|-----------------------|---|
| | MQL | <i>MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico</i> |
| 190 | 42.000 | 70.000 |
| 195 | 40.171 | 65.910 |
| 200 | 38.466 | 62.153 |
| 205 | 36.872 | 58.696 |
| 210 | 35.381 | 55.507 |
| 215 | 33.982 | 52.561 |
| 220 | 32.669 | 49.833 |
| 225 | 31.435 | 47.304 |
| 230 | 30.273 | 44.954 |
| 235 | 29.178 | 42.768 |
| 240 | 28.144 | 40.731 |
| 245 | 27.167 | 38.830 |
| 250 | 26.242 | 37.054 |
| 255 | 25.367 | 35.392 |
| 260 | 24.537 | 33.834 |
| 265 | 23.749 | 32.373 |
| 270 | 23.000 | 31.000 |
| 275 | 22.288 | 29.709 |
| 280 | 21.610 | 28.494 |
| 285 | 20.965 | 27.349 |
| 290 | 20.349 | 26.268 |
| 295 | 19.762 | 25.248 |
| 300 | 19.201 | 24.283 |

Según la tabla 40 se interpreta de acuerdo al incremento de la velocidad de corte reduce de manera directa la vida útil de los insertos en cada uno de los casos, en el método MQL en la velocidad de 190 m/min se tiene un valor de 42 minutos y a los 300 m/min un valor de 19.20 minutos, el sistema (MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico) registra una mejora de 30.19 por ciento en relación con el mecanizado del sistema MQL para las velocidades recomendadas por el fabricante (190 m/min), máxima (270 m/min) como se muestra en la figura 50.

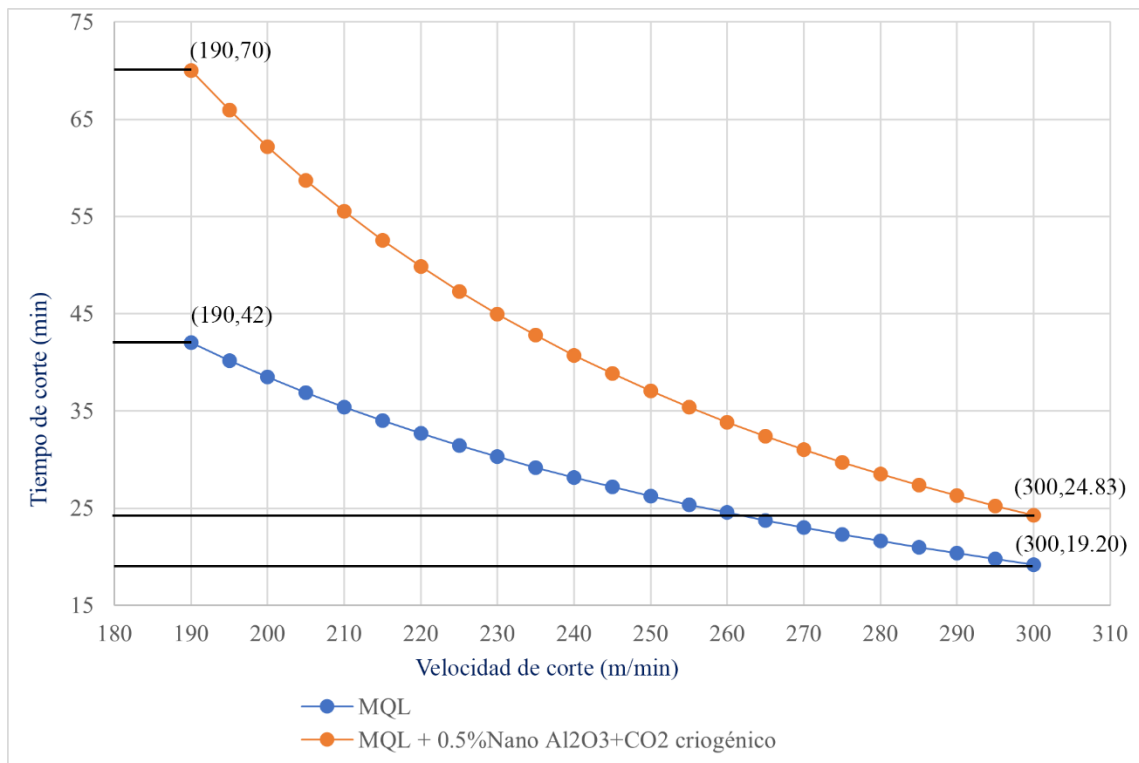


Figura 50 Tiempo de vida útil de la herramienta de corte en función de la velocidad de corte (comparativa, mecanizado MQL y con mecanizado MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico) del AISI 304.

3.1.9. Temperatura de la zona de corte en el proceso de mecanizado.

En la zona de corte se registró una temperatura de -60.1°C como se muestra en la figura 51, la cual se encuentra en el rango necesario para que el proceso de lubricación híbrida sea ejecutado en las condiciones correctas y así obtener las ventajas de este tipo de lubricación en el proceso de mecanizado.



Figura 51. Temperatura tomada con termocupla.

3.1.10. Costo de mecanizado

3.1.10.1. Mecanizado con sistema MQL

Costo de la materia prima

Se utilizo probetas de acero AISI 1018 para cada experimento donde de materia en una hora de desbaste fue de 24.54 kg, el precio por kilogramo es de \$2.58

Además, se preparó probetas de acero AISI 304 para cada experimento en el cual se utilizó 8.55 kg de materia; el precio por kg es de \$5.92

Costo de la mano de obra

Se considera un salario de un operario de la maquinaria de la fresadora, en el sector manufacturero de la ciudad de Ambato, donde se estima un sueldo de \$ 700,00; así obteniendo un valor de \$ 3.92 por hora

Costo de lubricación

En el proceso de mecanizado con sistema MQL está determinado por el caudal de salida para el sistema MQL el cual especifica de 480 ml/h; al considerar una hora de trabajo utilizaron 480 ml con un valor de \$15.64

Costo del uso de la fresadora

El uso de la maquina fresadora se determina en base a varios factores y la energía eléctrica que se utiliza, en general al realizar en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y

Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, la misma que establece un valor de \$ para el uso por hora.

Costo de la herramienta de corte

Para el mecanizado de desbaste promedio por hora para el acero AISI 1018 y AISI 304 corresponde al precio del inserto el cual es de \$7.85; el valor proporcional por cada filo es de \$1.96, pero al tratarse del proceso de fresado con una fresa de 5 inserto el valor final es de \$9.8

Costo total

En la figura 52 se muestra los detalles especificados para cada uno de los aceros, en el caso del acero AISI 1018 el costo de mecanizado por cada kilogramo es de \$3.77. De la misma manera para el AISI 304 se obtiene que el costo de mecanizado por kilo es de \$9.36.

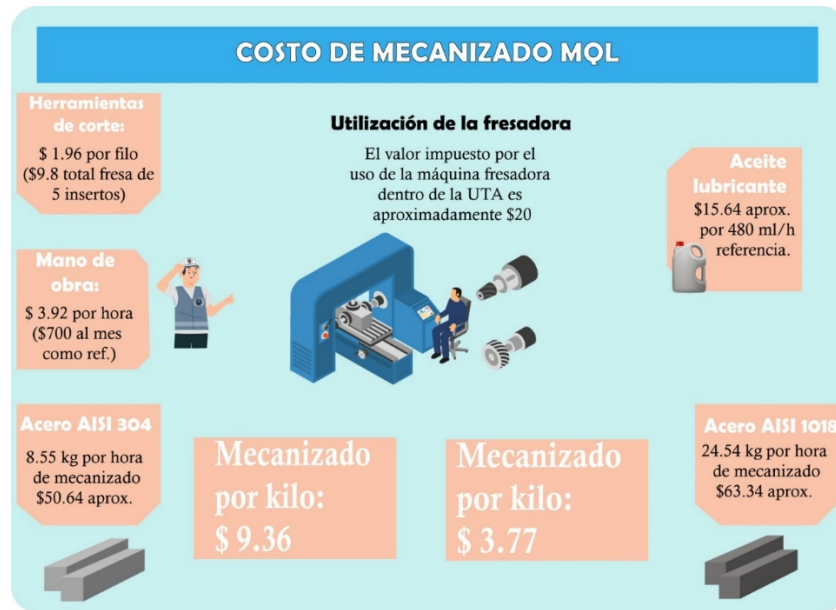


Figura 52. Costo de mecanizado con sistema MQL.

3.1.10.2. Mecanizado con sistema Híbrido

En este apartado se considera costo adicional en referencia al sistema MQL, este sistema cuenta con varios insumos adicionales.

En este método se utilizaron las nanopartículas tanto del TiO_2 para el desbaste de acero AISI 1018 y las partículas de Al_2O_3 para el acero AISI 304 esto bajo una concentración de 0.5% del peso del aceite, utilizando un peso de 1.678 gramos; con un precio correspondiente de \$4.01 nanopartículas de TiO_2 y \$3.34 nanopartículas de Al_2O_3 . Además se utilizó el surfactante para la dispersión de la nanopartículas en un concentración de 0.15% del peso total, utilizando 1.875 ml; con un precio correspondiente de \$9.8, la ficha técnica de este producto se encuentra en el Anexo D del presente documento, por tanto el costo total de lubricación híbrida es de \$ 69.37 para el sistema de mecanizado del acero AISI 304 y \$44.64 para el sistema de mecanizado del acero AISI 1018

En la figura 53 se muestra los detalles especificados para cada uno de los aceros, en el caso del acero AISI 1018 el costo de mecanizado por cada kilogramo es de \$ 6.32. De la misma manera para el AISI 304 se obtiene que el costo de mecanizado por kilo es de \$16.57.

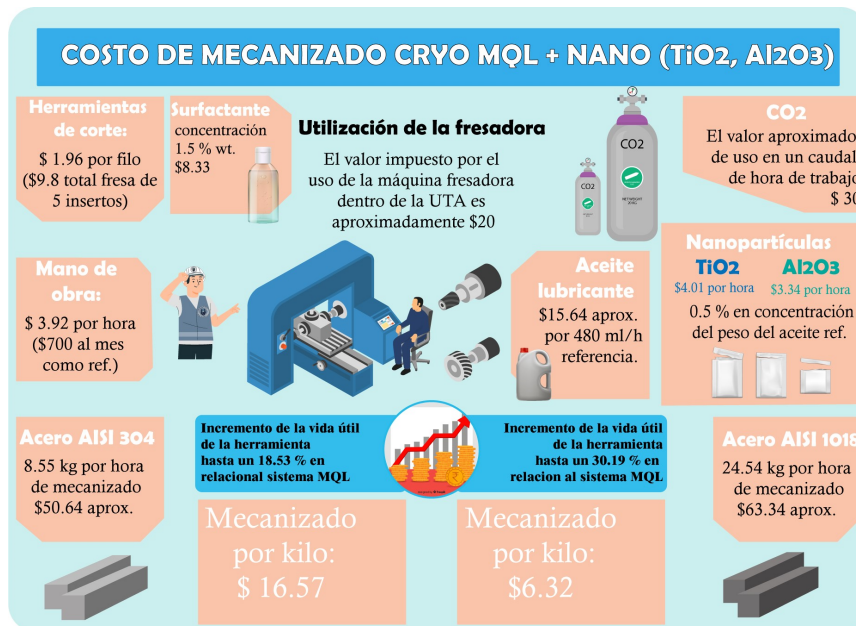


Figura 53. Costo de mecanizado con sistema híbrido MQL+ (0.5% Nano Al_2O_3 + CO_2 criogénico y 0.5% Nano TiO_2 + CO_2 criogénico).

3.2. Verificación de la hipótesis

El modelo "T Student", que determina si existen diferencias significativas entre dos variables (dos Establece de datos), se utilizará para validar la hipótesis. A partir de ahí, será posible determinar si o no, el enunciado de la tesis es verdadero.

Hipótesis:

¿El método de lubricación híbrida (Nanofluidos + CO₂) aplicados a los procesos de fresado permitirá mejorar el acabado superficial de los aceros AISI 1018 y AISI 304 y aumentará la vida útil de las herramientas de corte?

Variable dependiente:

Acabado superficial de los aceros inoxidables AISI 1018 y AISI 304.

Vida útil de la herramienta de corte.

Variable independiente:

Lubricación híbrida Nano partículas TiO₂ y Al₂O₃ + CO₂ en el proceso de fresado.

Hipótesis nula Ho:

La lubricación híbrida Nano partículas TiO₂ y Al₂O₃ + CO₂ aplicado en el fresado no mejora el acabado superficial de los aceros AISI 1018 y AISI 304; por lo tanto, mantiene la calidad superficial en las mismas condiciones de corte con MQL.

Hipótesis alternativa Ha:

La lubricación híbrida Nano partículas TiO₂ y Al₂O₃ + CO₂ aplicado en la fresada mejora el acabado superficial de los aceros AISI 1018 y AISI 304; por lo tanto, la calidad superficial no es la misma que en las condiciones de corte con MQL.

Modelo matemático:

$$H_0 = Ra_{seco} = Ra_{Cryo\ MQL}; H_a = Ra_{seco} \neq Ra_{Cryo\ MQL}$$

Determinación del nivel de significancia:

El nivel de confianza seleccionado es del 95% ya que se realizaron 3 repeticiones de cada experimento con el fin de obtener datos fiables; por lo tanto, el nivel de significancia es del 5% que corresponde a un valor de probabilidad P de 0,05.

Grados de libertad en toma de muestras para AISI 1018 y AISI 304

$$v = n_1 + n_2 - 2 \quad (8)$$

$$v = 15 + 15 - 2$$

$$v = 28$$

Donde:

v = es el número de grados de libertad.

n_1 = es el número de muestra del experimento con MQL.

n_2 = es el número de muestra del experimento con Cryo MQL.

Tabla 41. Distribución T- Student.

| | 0.50 | 0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.005 | 0.002 | 0.001 |
|----|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 1.000 | 3.078 | 6.314 | 12.706 | 31.821 | 63.657 | 127.321 | 318.309 | 636.619 |
| 2 | 0.816 | 1.886 | 2.920 | 4.303 | 6.965 | 9.925 | 14.089 | 22.327 | 31.599 |
| 3 | 0.765 | 1.638 | 2.353 | 3.182 | 4.541 | 5.841 | 7.453 | 10.215 | 12.924 |
| 4 | 0.741 | 1.533 | 2.132 | 2.776 | 3.747 | 4.604 | 5.598 | 7.173 | 8.610 |
| 5 | 0.727 | 1.476 | 2.015 | 2.571 | 3.365 | 4.032 | 4.773 | 5.893 | 6.869 |
| 6 | 0.718 | 1.440 | 1.943 | 2.447 | 3.143 | 3.707 | 4.317 | 5.208 | 5.959 |
| 7 | 0.711 | 1.415 | 1.895 | 2.365 | 2.998 | 3.499 | 4.029 | 4.785 | 5.408 |
| 8 | 0.706 | 1.397 | 1.860 | 2.306 | 2.896 | 3.355 | 3.833 | 4.501 | 5.041 |
| 9 | 0.703 | 1.383 | 1.833 | 2.262 | 2.821 | 3.250 | 3.690 | 4.297 | 4.781 |
| 10 | 0.700 | 1.372 | 1.812 | 2.228 | 2.764 | 3.169 | 3.581 | 4.144 | 4.587 |
| 11 | 0.697 | 1.363 | 1.796 | 2.201 | 2.718 | 3.106 | 3.497 | 4.025 | 4.437 |
| 12 | 0.695 | 1.356 | 1.782 | 2.179 | 2.681 | 3.055 | 3.428 | 3.930 | 4.318 |
| 13 | 0.694 | 1.350 | 1.771 | 2.160 | 2.650 | 3.012 | 3.372 | 3.852 | 4.221 |
| 14 | 0.692 | 1.345 | 1.761 | 2.145 | 2.624 | 2.977 | 3.326 | 3.787 | 4.140 |
| 15 | 0.691 | 1.341 | 1.753 | 2.131 | 2.602 | 2.947 | 3.286 | 3.733 | 4.073 |
| 16 | 0.690 | 1.337 | 1.746 | 2.120 | 2.583 | 2.921 | 3.252 | 3.686 | 4.015 |
| 17 | 0.689 | 1.333 | 1.740 | 2.110 | 2.567 | 2.898 | 3.222 | 3.646 | 3.965 |
| 18 | 0.688 | 1.330 | 1.734 | 2.101 | 2.552 | 2.878 | 3.197 | 3.610 | 3.922 |
| 19 | 0.688 | 1.328 | 1.729 | 2.093 | 2.539 | 2.861 | 3.174 | 3.579 | 3.883 |
| 20 | 0.687 | 1.325 | 1.725 | 2.086 | 2.528 | 2.845 | 3.153 | 3.552 | 3.850 |
| 21 | 0.686 | 1.323 | 1.721 | 2.080 | 2.518 | 2.831 | 3.135 | 3.527 | 3.819 |
| 22 | 0.686 | 1.321 | 1.717 | 2.074 | 2.508 | 2.819 | 3.119 | 3.505 | 3.792 |
| 23 | 0.685 | 1.319 | 1.714 | 2.069 | 2.500 | 2.807 | 3.104 | 3.485 | 3.768 |
| 24 | 0.685 | 1.318 | 1.711 | 2.064 | 2.492 | 2.797 | 3.091 | 3.467 | 3.745 |
| 25 | 0.684 | 1.316 | 1.708 | 2.060 | 2.485 | 2.787 | 3.078 | 3.450 | 3.725 |
| 26 | 0.684 | 1.315 | 1.706 | 2.056 | 2.479 | 2.779 | 3.067 | 3.435 | 3.707 |
| 27 | 0.684 | 1.314 | 1.703 | 2.052 | 2.473 | 2.771 | 3.057 | 3.421 | 3.690 |
| 28 | 0.683 | 1.313 | 1.701 | 2.048 | 2.467 | 2.763 | 3.047 | 3.408 | 3.674 |
| 29 | 0.683 | 1.311 | 1.699 | 2.045 | 2.462 | 2.756 | 3.038 | 3.396 | 3.659 |
| 30 | 0.683 | 1.310 | 1.697 | 2.042 | 2.457 | 2.750 | 3.030 | 3.385 | 3.646 |

De la tabla 41 ingresando con los grados de libertad, y el nivel de significancia P. Se obtuvo el valor de t tabulado que corresponde a 2.048

Cálculo de la distribución t (sistema MQL vs MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) del AISI 1018.

Tabla 42. Mediciones de rugosidad del sistema MQL y MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico del AISI 1018.

| Nº | MQL | MQL + 0.5%Nano TiO ₂ +CO ₂ criogénico | Porcentaje de Mejora (%) |
|------------|--------|---|--------------------------|
| 1 | 0.58 | 0.386 | 33.45 |
| 2 | 0.69 | 0.454 | 34.20 |
| 3 | 0.61 | 0.498 | 18.36 |
| 4 | 0.653 | 0.387 | 40.74 |
| 5 | 0.668 | 0.646 | 3.30 |
| 6 | 0.725 | 0.474 | 34.62 |
| 7 | 0.708 | 0.465 | 34.32 |
| 8 | 0.645 | 0.386 | 40.16 |
| 9 | 0.661 | 0.455 | 31.17 |
| 10 | 0.724 | 0.478 | 33.98 |
| 11 | 0.928 | 0.546 | 41.16 |
| 12 | 0.804 | 0.586 | 27.11 |
| 13 | 0.904 | 0.425 | 52.99 |
| 14 | 0.679 | 0.554 | 18.41 |
| 15 | 0.786 | 0.576 | 26.72 |
| Promedio μ | 0.7177 | 0.4877 | 32.04 |

$$S^2 = \frac{\Sigma(x - \mu_x)^2 + \Sigma(y - \mu_y)^2}{v} \quad (9)$$

Donde:

x = es un valor de los datos que corresponden a la rugosidad medida en el proceso de mecanizado con MQL.

y = es un valor de los datos que corresponde a la rugosidad medida en el proceso de mecanizado con Cryo MQL.

v = son los grados de libertad.

S^2 = es la varianza.

$$S^2 = \frac{0.139 + 0.088}{28}$$

$$S^2 = 0.00812$$

$$t = \frac{\mu_x - \mu_y}{\sqrt{\frac{S^2}{n_1} + \frac{S^2}{n_2}}} \quad (10)$$

$$t = \frac{0.7177 - 0.4877}{\sqrt{\frac{0.00812}{15} + \frac{0.00812}{15}}}$$

$$t = 6.987$$

$$t_{calculado} = 6.987 > t_{tabulado} = 2.048$$

Dado que el resultado t calculado excede al t de la tabla 41, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Esto significa que:

El acabado superficial del acero inoxidable AISI 1018 se ve mejorado por el sistema híbrido (MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) utilizado durante el proceso de fresado porque la calidad de la superficie **no es igual** a la del corte con MQL.

Cálculo de la distribución t (sistema MQL vs MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico) del AISI 304.

Tabla 43. Mediciones de la rugosidad del sistema MQL y MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico) del AISI 304.

| Nº | MQL | MQL + 0.5%Nano Al ₂ O ₃ +CO ₂ criogénico | Porcentaje de Mejora |
|------------|--------|---|----------------------|
| 1 | 0.41 | 0.503 | 18.50 |
| 2 | 0.424 | 0.417 | 1.68 |
| 3 | 0.544 | 0.446 | 21.97 |
| 4 | 0.504 | 0.448 | 12.5 |
| 5 | 0.459 | 0.446 | 2.91 |
| 6 | 0.532 | 0.486 | 9.47 |
| 7 | 0.546 | 0.459 | 18.95 |
| 8 | 0.489 | 0.442 | 10.63 |
| 9 | 0.478 | 0.427 | 11.94 |
| 10 | 0.506 | 0.455 | 11.21 |
| 11 | 0.596 | 0.453 | 31.57 |
| 12 | 0.561 | 0.454 | 23.57 |
| 13 | 0.573 | 0.438 | 30.82 |
| 14 | 0.402 | 0.425 | 5.41 |
| 15 | 0.486 | 0.422 | 15.17 |
| Promedio μ | 0.5007 | 0.4481 | 11.74 |

$$S^2 = \frac{\Sigma(x - \mu_x)^2 + \Sigma(y - \mu_y)^2}{v}$$

Donde:

x = es un valor de los datos que corresponden a la rugosidad medida en el proceso de mecanizado con MQL.

y = es un valor de los datos que corresponde a la rugosidad medida en el proceso de mecanizado con Cryo MQL.

v = son los grados de libertad.

S^2 = es la varianza.

$$S^2 = \frac{0.0493 + 0.00745}{28}$$

$$S^2 = \mathbf{0.0020}$$

$$t = \frac{\mu_x - \mu_y}{\sqrt{\frac{S^2}{n_1} + \frac{S^2}{n_2}}}$$

$$t = \frac{0.501 - 0.448}{\sqrt{\frac{0.002}{15} + \frac{0.002}{15}}}$$

$$t = 3.198$$

$$t_{calculado} = 3.198 > t_{tabulado} = 2.048$$

Dado que el resultado t calculado excede al t de la tabla 41, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Esto significa que:

El acabado superficial del acero inoxidable AISI 304 se ve mejorado por el sistema (MQL + 0.5% Nano $Al_2O_3+CO_2$ criogénico), utilizada durante el proceso de fresado porque la calidad de la superficie **no es igual** a la del corte con MQL.

En base a los resultados obtenidos en cada uno de los experimentos, bajos las condiciones de corte calculadas, determinadas y condiciones de operación de mecanizado para los aceros AISI 1018 y AISI 304, se llegó a la conclusión que los resultados de medición del acabado superficial, desgaste y vida útil de la herramienta se asemejan al estudio de la

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 [4] y al experimento del estudio de rugosidad superficial y desgaste de herramientas en el fresado de acero inoxidable AISI 304 utilizando diferentes condiciones de enfriamiento [50], concluyendo que los parámetros de corte, proceso de experimentación y análisis de resultados fueron correctamente realizados y seleccionados, incrementando el grado de confiabilidad del proceso de experimentación realizado.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El tipo de nanopartículas presentes en el ámbito comercial y destinados a los procesos de mecanizado son los obtenidos en base a los óxidos metálicos debido a sus excelentes propiedades que los hacen aptos para estos procesos. Debido a esto se utilizó los nanofluidos TiO_2 y Al_2O_3 para los aceros AISI 1018 y AISI 304 respectivamente. Para obtener una mejor homogenización entre el aceite utilizado y el 0.5% de nanofluido se los disolvió junto con un surfactante especializado en la lubricación híbrida.

Los principales parámetros utilizados en el proceso de mecanizado para evaluar el acabado superficial de los aceros y el desgaste del flanco en el inserto seleccionado fueron seleccionadas de acuerdo al catálogo del fabricante; la velocidad máxima de 360 m/min y la velocidad recomendada por el fabricante de 270 m/min con una profundidad de corte de 1.5 mm utilizada para el acero AISI 1018 en el proceso de desbaste mientras que se utilizó una velocidad máxima de 270 m/min y 190 m/min recomendada por el fabricante con una profundidad de corte de 0.5 mm para el acero AISI 304 en el proceso medio de arranque de viruta con un avance por diente de 0.1 mm para ambos aceros, el cual se encuentra en el rango propuesto por el fabricante.

Una vez realizado los ensayos correspondientes bajo los parámetros planteados para cada acero se concluye que el desgaste del flanco es menor cuando se emplea un sistema de lubricación híbrida de lubricación-refrigeración CO_2 criogénico (MQL + 0.5%Nano TiO_2 + CO_2 criogénico) para el AISI 1018 y (MQL + 0.5%Nano Al_2O_3 + CO_2 criogénico) para el acero AISI 304 debido a que la el flanco del inserto se mantiene cercano a sus condiciones iniciales por mucho más tiempo a diferencia del método MQL; existe una buena lubricación en la zona de contacto herramienta/material de trabajo lo que evita adhesión de material mecanizado, astillamiento, craterización, deformación plástica que comprometan la calidad superficial durante el mecanizado de la pieza de trabajo.

Para el Acero AISI 1018 el mejor resultado de desgaste para el inserto se consiguió con el método de lubricación híbrida (MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) con una velocidad de corte de 270 m/min recomendada por el fabricante, en este experimento se obtuvo una duración de 106 minutos de vida útil de la herramienta hasta que el desgaste del flanco del inserto superó los límites recomendados por la norma y para el caso de rugosidad de la misma manera se obtuvo un mejor resultado con el método de lubricación híbrida se obtuvo un valor de rugosidad promedio de 0.462 μm. Correspondiente a una calificación N5 de acabado superficial en el proceso de planeado, mejorando así la calidad superficial del elemento mecanizado debido a la condiciones de refrigeración-lubricación.

Para el Acero AISI 304 el mejor resultado de desgaste para el inserto se consiguió con el método de lubricación híbrida (MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico) con una velocidad de corte de 190 m/min recomendada por el fabricante, en este experimento se obtuvo una duración de 72 minutos de vida útil de la herramienta hasta que supera los límites recomendados por la norma y para el caso de rugosidad se obtuvo un mejor resultado con el método de lubricación híbrida con una velocidad de corte de 190 m/min ya que en este experimento se obtuvo un valor de rugosidad promedio de 0.438 μm correspondiente a una calificación N5 de acabado superficial.

En el acero AISI 1018 el mejor resultado del valor promedio entre el pico más alto y bajo obtenido con el rugosímetro fue con el método de lubricación híbrida (MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) con una velocidad de corte de 190 m/min ya que se obtuvo un valor de 3.684 μm.

En el acero AISI 304 el mejor resultado del valor promedio entre el pico más alto y bajo obtenido con el rugosímetro fue con el método de lubricación híbrida (MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico) con una velocidad de corte de 190 m/min ya que se obtuvo un valor de 3.032 μm.

En el acero AISI 1018 el tiempo de vida útil se ve afectado directamente debido al incremento de velocidad en los dos tipos de lubricación utilizadas, para la lubricación con MQL y una velocidad de corte de 270m/min da un valor de 77.26 minutos mientras que con una velocidad de corte de 400m/min da un valor de 66.68 minutos, para la lubricación

híbrida (MQL + 0.5%Nano TiO₂+CO₂ criogénico) registra una mejora de 18.53 % en relación con el mecanizado del sistema MQL para las velocidades recomendadas por el fabricante (270 m/min), máxima (360 m/min).

En el acero AISI 304 de la misma manera el tiempo de vida útil también se ve afectado directamente debido al incremento de velocidad en los dos tipos de lubricación utilizadas, para la lubricación con MQL y una velocidad de corte de 190m/min da un valor de 46.51 minutos mientras que con una velocidad de corte de 300m/min da un valor de 39.19 minutos, para la lubricación híbrida (MQL + 0.5%Nano Al₂O₃+CO₂ criogénico) registra una mejora de 30.19% en relación con el mecanizado del sistema MQL para las velocidades recomendadas por el fabricante (190 m/min), máxima (270 m/min).

4.2. Recomendaciones

Antes de la toma de medición con el rugosímetro se debe tomar en cuenta que se encuentra en una superficie completamente plana y sin ningún residuo de material mecanizado o externo que afecte la medición en las distintas zonas planteadas.

Durante el montaje de las probetas para la medición del desgaste del flanco en el microscopio electrónico de barrido se debe tomar en cuenta que no debe existir ningún residuo que afecte la observación y medición del inserto correspondiente.

Antes de empezar con el mecanizado y registro de la toma de datos en los tiempos planteados realizar un testeo del sistema criogénico, verificar la salida del caudal del CO₂ así como la temperatura en la boquilla del sistema, verificar la sujeción del material de trabajo en la entenalla de la fresadora para disminuir las posibles vibraciones causadas por falta de balance en las fuerzas que actúan sobre la barra que pueden afectar durante el proceso de mecanizado y posteriormente en los resultado, acortando significativamente la vida útil de la herramienta.

Elaborar un modelo de identificación o clasificación de cada uno de los filos de los insertos que son utilizados durante la ejecución de los ensayos con el objetivo de llevar un registro confiable del desgaste del flanco de cada uno de los insertos, según tipo de lubricación, parámetros de velocidad, y tiempos de mecanizado.

Previamente a poner en marcha el sistema criogénico se debe medir la presión al interior del tanque, el peso del contenido y asegurarse que el CO₂ gaseoso se presurice antes de regular la válvula de CO₂ líquido y corroborar que llegue temperatura indicada a la salida de la boquilla.

Para la medición del desgaste en el microscopio electrónico de barrido se debe limpiar previamente los insertos de tal manera que no queden residuos que perjudiquen la observación en las áreas de corte de los insertos.

Asegurarse de que no existan fugas al momento de utilizar el sistema para la lubricación híbrida con el fin de garantizar un óptimo desempeño de la utilización de los fluidos involucrados en el proceso.

Realizar un mantenimiento correctivo a la Fresadora Travis con el fin de disminuir las vibraciones que actúan sobre el material de trabajo debido a las fuerzas que intervienen en los procesos de mecanizado para garantizar excelentes condiciones de trabajo de la máquina.

Realizar un mantenimiento del sistema MQL previamente a cada experimento para evitar que queden residuos de experimentos realizados anteriormente para asegurar una ejecución correcta sin taponamientos y con un flujo constante en el experimento.

Tener cuidado a la hora de ejecutar los ensayos, cumpliendo con las normas de seguridad, así como de llevar el equipo de protección personal para evitar lesiones, heridas o incidentes debido a que existen riesgos al maniobrar los equipos y elementos que fundamentan esta investigación.

Realizar un estudio de fluidos para lubricación alternos al CO₂ con el fin de obtener un mayor aprovechamiento en el ámbito económico sobre costo-beneficio que puede brindar la lubricación híbrida.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. Venkatesh, S. Izman, T. C. YAP, P. Brevern, y N. Tayeb, “Precision cryogenic drilling, turning and grinding of Ti64 alloys”, *Int. J. Precis. Technol.*, vol. 1, ene. 2010, doi: 10.1504/IJPTECH.2010.031658.
- [2] Pramanik, y Alokesh, “2.9 Minimum Quantity Lubrication Cooling and Tribology - Knovel”, Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpMTPSCM01/cid:kt012WMHQF/viewerType:khtml//root_slug:machining-tribology-processes/url_slug:minimum-quantity-lubrication?page=16&view=collapsed&zoom=1
- [3] Z. Y. Jiang y X. Liu, *Advances in Materials and Materials Processing V*. Zurich, SWITZERLAND: Trans Tech Publications, Limited, 2015. Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/uta-ebooks/detail.action?docID=2008458>
- [4] D. Núñez, B. Núñez, H. Vaca, y M. Ureña, “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° 2, pp. 44–55, mar. 2017, doi: 10.29019/enfoqueute.v8n2.157.
- [5] O. Pereira, A. Celaya, G. Urbikaín, A. Rodríguez, A. Fernández-Valdivielso, y L. N. L. de Lacalle, “CO2 cryogenic milling of Inconel 718: cutting forces and tool wear”, *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, n° 4, pp. 8459–8468, jul. 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.05.118.
- [6] M. Nalbant y Y. Yıldız, “Effect of cryogenic cooling in milling process of AISI 304 stainless steel”, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 21, pp. 72–79, ene. 2011, doi: 10.1016/S1003-6326(11)60680-8.
- [7] O. Pereira, A. Rodríguez, A. I. Fernández-Abia, J. Barreiro, y L. N. López de Lacalle, “Cryogenic and minimum quantity lubrication for an eco-efficiency turning of AISI 304”, *J. Clean. Prod.*, vol. 139, pp. 440–449, dic. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.08.030.
- [8] T.-A. Bui, V.-H. Pham, N.-T. Bui, y A. Nguyen, “EFFECT OF AL2O3 NANOPARTICLE ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF OIL”, sep. 2020.

- [9] D. Qi, Z. Cao, y U. Ziener, “Recent advances in the preparation of hybrid nanoparticles in miniemulsions”, *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 211, pp. 47–62, sep. 2014, doi: 10.1016/j.cis.2014.06.001.
- [10] O. E. Guerrero, *PROCESOS DE MANUFACTURA*, Primera., vol. 1. Colombia: UNAD, 2008.
- [11] M. Saif, “Milling Machine Operations”, The Engineers Post, India, Informativo, may 2021. Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.theengineerspost.com/15-different-types-of-milling-machines/>
- [12] G. Bavaresco, “GABP Ingeniería”, Valencia, Venezuela. Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://gabpingeneria.weebly.com/>
- [13] H. Salazar y R. Rossi, *Máquinas Fresadoras*, Primera., vol. 1. Rosario, Argentina: Hoepli. Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://rephip.unr.edu.ar/>
- [14] M. E. Amestoy, *Principios de Mecanizado y Planificación de Procesos*, Primera., vol. 1. Cartagena, 2007. Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.dimf.upct.es/>
- [15] Keyence, “Introduction to Surface Roughness Measurement”. Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://sernia.ru/>
- [16] S. Shather, “cutting tool materials”, presentado en Iraq, 27 de mayo de 2020. doi: 10.13140/RG.2.2.17816.83200.
- [17] M. A. Shum, “Introduction to Milling Tools and Their Application”, *MC*, vol. 1, 2016, Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.machiningcloud.com/>
- [18] L. A. Mayorga Ases y D. M. Carranza Calero, “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”, bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, 2020. Accedido: 13 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/31235>

- [19] D. Brenner, F. Kleinert, J. Imiela, y E. Westkämper, “Life Cycle Management of Cutting Tools: Comprehensive Acquisition and Aggregation of Tool Life Data”, *Procedia CIRP*, vol. 61, pp. 311–316, ene. 2017, doi: 10.1016/j.procir.2016.11.168.
- [20] M. F. Abud, “DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN HERRAMENTALES DE CORTE ENDURECIDOS POR EL PROCESO DE BORURIZACIÓN EN PASTA”, Tecnológico de Monterrey, México DF, 2006.
- [21] M. A. Guijarro Portero, “Estudio del efecto del sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) con aceite vegetal en el acabado superficial del fresado del acero inoxidable AISI 304”, bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica, 2016. Accedido: 3 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/23063>
- [22] W. Grzesik, “Chapter Ten - Cutting Fluids”, en *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*, W. Grzesik, Ed., Amsterdam: Elsevier, 2008, pp. 141–148. doi: 10.1016/B978-008044534-2.50012-6.
- [23] A. Gómez, “FLUIDOS CRIOGENICOS 1”, *CISTEMA*, vol. 1, feb. 2008, Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.arlsura.com/>
- [24] “Refrigeración criogénica para operaciones de mecanizado de alto valor añadido”, Interempresas. Accedido: 27 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/149215-Refrigeracion-criogenica-para-operaciones-de-mecanizado-de-alto-valor-anadido.html>
- [25] T. Stefánsson, “Application of Cryogenic Coolants in Machining Processes : State-of-the-art Literature Study and Experimental Work on Metal Matrix Composite”, 2014. Accedido: 3 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-159516>
- [26] J. R. Cueva Toalombo y D. R. Nole Nole, “Evaluación del uso de nanopartículas de titanio y silicio para el mejoramiento del sistema de refrigeración de un vehículo.”, bachelorThesis, Quito, 2016., 2016. Accedido: 12 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16701>
- [27] N. A. Díaz-Dávila, “Nanopartículas de TiO₂: Una revisión”, *02/06/2020*, n° 64, ago. 2020.

- [28] L. A. G. Dimas, A. O. C. Facio, y A. S. Galindo, “Nanopartículas metálicas, síntesis y aplicaciones”, *28/11/2021*, n° 71, p. 37, mar. 2022.
- [29] A. H. Grande, “NANOTECNOLOGÍA Y NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS: LA FÍSICA ACTUAL EN LUCHA CONTRA LA ENFERMEDAD”, vol. 101, n° 2, pp. 321–327, 2007.
- [30] M. del C. Segarra Ferrando, “Estudio de la dispersión de nanopartículas en medio acuoso para su posterior aplicación como fluido térmico”, Ph.D. Thesis, Universitat Jaume I, 2020. doi: 10.6035/14107.2020.63766.
- [31] Y. Xuan, Q. Li, y P. Tie, “The effect of surfactants on heat transfer feature of nanofluids”, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 46, pp. 259–262, abr. 2013, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2012.12.004.
- [32] E. M. Trent y P. K. Wright, “Machinability”, en *Metal Cutting*, Elsevier, 2000, pp. 251–310. doi: 10.1016/B978-075067069-2/50011-5.
- [33] M. J. Valencia Salas, “Metodología para estimar la vida útil de componentes, sistemas y equipos mecánicos basado en factores técnicos y operacionales con aproximación a la norma ISO- 15686”, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú, 2019. Accedido: 30 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9605>
- [34] J. Bravo, “Modelado del proceso de maquinado ECDM mediante lógica difusa”, CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES, Saltillo, 2018.
- [35] C. A. Domínguez Mero y J. M. Caiza Toapanta, “Análisis de las fuerzas de corte en el proceso de cilindrado en aceros de media aleación mediante elementos finitos”, bachelorThesis, 2022. Accedido: 30 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22247>
- [36] B. Orellana Calle y V. A. Vázquez Zhindón, “Diseño, construcción y control de un sistema para determinar el acabado superficial de los materiales”, bachelorThesis, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2005. Accedido: 30 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1025>

- [37] F. A. S. Bustamante y J. M. V. Restrepo, “ESTUDIO DEL MODELO DE DESGASTE PROPUESTO POR ARCHARD”, *07/2005*, vol. 72, nº 146, pp. 27–43, jul. 2005.
- [38] F. R. Ramírez Paredes, “Modelización de la evolución del desgaste en herramientas de corte”, doctoralThesis, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2015. Accedido: 9 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/22408>
- [39] C. E. Baño Chancusig y C. I. Siza Ramírez, “Diseño y construcción de un homogeneizador por inmersión de alto cizallamiento para los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato”, bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Ecuador, 2021. Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/32579>
- [40] E. Guzman, “Caracterización del Acero 1018 con tratamientos térmicos”, feb. 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.24739.30242.
- [41] “Online Materials Information Resource - MatWeb”, MatWeb, Your Source for Materials Information. Accedido: 7 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/>
- [42] C. López, “OBTENCIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS DE ACERO INOXIDABLE 304 Y SU CARACTERIZACIÓN ELECTROQUÍMICA”, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S. C., Chihuahua, 2017. Accedido: 7 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/515>
- [43] Cemented Carbide Cutting Tool, “Face Milling”. China, 2016. [En línea]. Disponible en: http://www.zccct-europe.com/documents/Produkte/Katalog_gesamt/Fraesen.pdf
- [44] “Identificación de Insertos de Torneado - Información Técnica / Fórmula de Corte”, MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION. Accedido: 7 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mmc->

carbide.com/mx/technical_information/tec_turning_tools/tec_turning_insert/guide/
tec_turning_identification

- [45] “Coolube® 2210XP - Unist, inc.”, UNIST. Accedido: 9 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://unist.com/product.html?prod=2210xp>
- [46] S. R. de J. M. Cámara, J. L. R. Alonzo, y J. H. P. Manzón, “Caracterización de Nanofibras de Óxido de Vanadio sintetizadas por el método de Electrohilado”, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S. C., Chihuahua, 2018. Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2259148>
- [47] D. Carou Porto, “Estudio experimental para determinar la influencia de la refrigeración/lubricación en la rugosidad superficial en el torneado intermitente a baja velocidad de piezas de magnesio”, <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>, UNED. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, 2013. Accedido: 31 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=27069>
- [48] N. Larburu, *Máquinas Prontuario - Técnicas, Máquinas, Herramientas*. Madrid: Paraninfo S.A., 1990.
- [49] R. K. Leach, *The measurement of surface texture using stylus instruments.*, vol. 2, nº 2. Teddington: National Physical Laboratory, 2014. Accedido: 9 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://eprintspublications.npl.co.uk/2041/>
- [50] C. Palanisamy y L. Wee, “Surface Roughness and Tool Wear Study on Milling of AISI 304 Stainless Steel Using Different Cooling Conditions”, *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 2, p. 1386ñ1391, ago. 2012.

ANEXO A

INTERNATIONAL STANDARD

ISO
8688-1

First edition
1989-05-01

Tool life testing in milling — **Part 1 :** **Face milling**

Essai de durée de vie des outils de fraisage —
Partie 1 : Surfaçage



Reference number
ISO 8688-1 : 1989 (E)

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for approval before their acceptance as International Standards by the ISO Council. They are approved in accordance with ISO procedures requiring at least 75 % approval by the member bodies voting.

International Standard ISO 8688-1 was prepared by Technical Committee ISO/TC 29, *Small tools*.

Users should note that all International Standards undergo revision from time to time and that any reference made herein to any other International Standard implies its latest edition, unless otherwise stated.

© ISO 1989

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Organization for Standardization
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Switzerland

Printed in Switzerland

Contents

| | Page |
|--|------|
| 0 Introduction | 1 |
| 1 Scope and field of application | 1 |
| 2 References | 2 |
| 3 Workpiece | 2 |
| 3.1 Work material | 2 |
| 3.2 Dimensions | 3 |
| 4 Tool : Cutter | 3 |
| 4.1 Dimensions and tolerances | 3 |
| 4.2 Tool geometry | 3 |
| 4.3 Cutting edge and insert surface | 3 |
| 4.4 Tool material | 5 |
| 4.5 Mounting of the tool | 5 |
| 5 Cutting fluid | 5 |
| 6 Cutting conditions | 5 |
| 6.1 Recommended cutting conditions | 5 |
| 6.2 Other cutting conditions | 6 |
| 6.3 Location of the cutter | 6 |
| 6.4 Cutting speed | 6 |
| 7 Tool deterioration and tool-life criteria | 6 |
| 7.1 Introduction | 6 |
| 7.2 Definitions | 6 |
| 7.3 Tool deterioration phenomena | 7 |
| 7.4 Tool deterioration phenomena used as tool-life criteria | 12 |
| 7.5 Assessment of tool deterioration | 12 |

ISO 8688-1 : 1989 (E)

| | | |
|-------------------------------|---|-----------|
| 8 | Equipment | 15 |
| 8.1 | Machine tool | 15 |
| 8.2 | Other equipment | 16 |
| 9 | Procedure | 16 |
| 9.1 | Purpose | 16 |
| 9.2 | Planning | 16 |
| 9.3 | Preparation of material, tools and equipment | 17 |
| 9.4 | Test techniques | 17 |
| 9.5 | Measurements and recording of tool deterioration | 18 |
| 10 | Evaluation of results | 18 |
| 10.1 | General considerations | 18 |
| 10.2 | Treatment of test values | 18 |
| 10.3 | Number of test runs | 18 |
| 10.4 | Diagrams | 20 |
| 10.5 | Statistical interpretation | 20 |
| Annexes | | |
| A | Reference work materials | 22 |
| B | Tool setting | 23 |
| C | Example data sheet | 24 |
| D | Statistical calculations | 25 |
| Bibliography | | |
| | | 27 |

Tool life testing in milling —

Part 1 : Face milling

0 Introduction

Procedures and conditions for tool-life testing with single-point turning tools are the subject of ISO 3685. Successful application of ISO 3685 resulted in requests for similar documents relating to other commonly used cutting methods.

This part of ISO 8688 has been developed on the initiative of the International Institution for Production Engineering Research (CIRP) and applies to face milling operations with carbide tools, as illustrated in figure 1, which represent a major manufacturing activity.

The recommendations contained in this part of ISO 8688 are applicable in both laboratories and factories. They are intended to unify procedures in order to increase the reliability and comparability of test results when making comparison of cutting tools, work materials, cutting parameters or cutting fluids. In order to achieve as far as possible these aims, recommended reference materials and conditions are included and should be used as far as is practical.

In addition, the recommendations can be used to assist in establishing recommendable cutting data, or to determine limiting factors and machining characteristics such as cutting forces, machined surface characteristics, chip form, etc. For these purposes in particular, certain parameters, which have been given recommended values, may have to be used as variables.

The test conditions recommended in this part of ISO 8688 have been designed for face milling tests using steel and cast iron workpieces of normal microstructure. However, with suitable modifications, this part of ISO 8688 can be applied to face milling tests on, for example, other work materials or with cutting tools developed for specific applications.

The specified accuracy given in these recommendations should be considered as a minimum requirement. Any deviation from

the recommendations should be reported in detail in the test report.

NOTE — This part of ISO 8688 does not constitute acceptance tests and should not be used as such.

1 Scope and field of application

This part of ISO 8688 specifies recommended procedures for tool-life testing with cemented carbide tools used for face milling of steel and cast iron workpieces. It can be applied to laboratory as well as to production practice.

The cutting conditions in face milling may be considered under two categories as follows :

- a) conditions as a result of which tool deterioration is due predominantly to wear;
- b) conditions under which tool deterioration is due mainly to other phenomena such as edge fracture or plastic deformation.

This part of ISO 8688 considers only those recommendations concerned with testing which results predominantly in tool wear.

Testing for the second group of conditions given above is currently under study.

This part of ISO 8688 establishes specifications for the following factors of tool-life testing with face milling tools in accordance with figure 1: workpiece, tool, cutting fluid, cutting conditions, equipment, assessment of tool deterioration and tool life, test procedures, recording, evaluation and presentation of results.

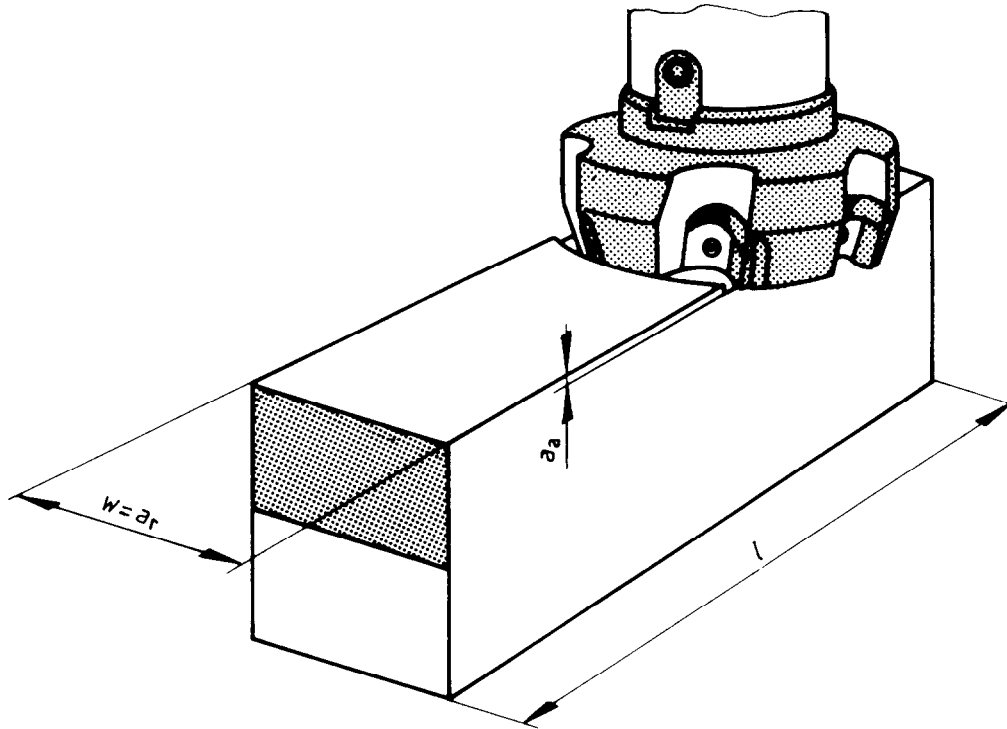


Figure 1 — Face milling — Milling operation

2 References

ISO/R 185, *Classification of grey cast iron.*

ISO 468, *Surface roughness — Parameters, their values and general rules for specifying requirements.*

ISO 513, *Application of carbides for machining by chip removal — Designation of the main groups of chip removal and groups of application.*

ISO/R 683-3, *Heat-treated steels, alloy steels and free-cutting steels — Part 3 : Wrought quenched and tempered unalloyed steels with controlled sulphur content.*

ISO 1701, *Test conditions for milling machines with table of variable height, with horizontal or vertical spindle — Testing of the accuracy.*

ISO 2854, *Statistical interpretation of data — Techniques of estimation and tests relating to means and variances.*

ISO 3002-1, *Basic quantities in cutting and grinding — Part 1 : Geometry of the active part of cutting tools — General terms, reference systems, tool and working angles, chip breakers.*

ISO 3365, *Indexable hardmetal (carbide) inserts with wiper edges, without fixing hole — Dimensions.*

ISO 3685, *Tool-life testing with single-point turning tools.*

ISO 6462, *Face milling cutters with indexable inserts — Dimensions.*

3 Workpiece

3.1 Work material

In principle, testing bodies are free to select the work materials according to their own interest. However, in order to increase the comparability of results between testing bodies, the use of one of the reference materials, steel C45 according to ISO/R 683-3 or cast iron grade 25 according to ISO/R 185, is recommended. More detailed specifications of these materials are given in annex A.

Within the specification, materials may vary with a resulting affect on machinability. To minimize such problems, the provision of a work material in compliance with stricter specifications shall be discussed with the supplier.

Information concerning the work material such as grade, chemical composition, physical properties, microstructure, complete details of the processing route of the work material (e.g. hot rolled, forged, cast or cold drawn) and any heat treatment should be reported in the test report (see 9.3.1 and annex A).

The hardness of the prepared workpiece shall be determined on one end of each test piece over the testing zone on the cross-section (see 9.3.1). For the recommended workpiece sections, the hardness indentations shall be placed along the centre-line of the zone parallel to the longest edge. The minimum number of test points shall be five; one on the centre, one near each edge and one on either side of the centre point between the centre and the edge points (see figure 2).

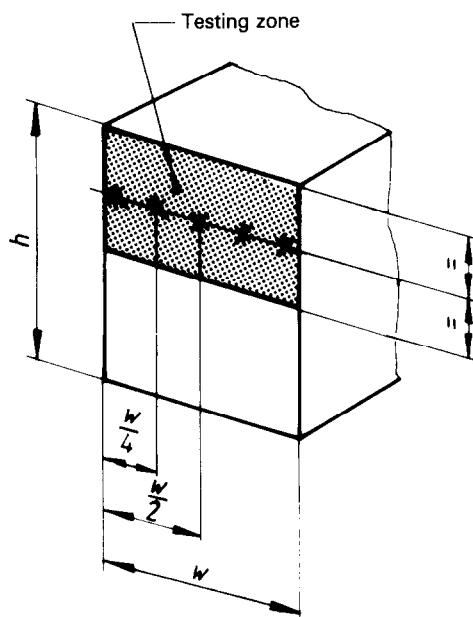


Figure 2 — Hardness testing

For workpieces which are cut from larger billets or for which hardness variation might be expected to be significant, additional hardness measurements should be taken to ascertain that the hardness values fall within the prescribed limits. The location of such measurement points and the method of measuring should be reported in the test report.

The deviation in hardness within one batch of material should be as small as possible. A realistic value for the reference materials given in annex A and similar materials is $\pm 5\%$ of the arithmetic mean value.

In order to be able to compare results over reasonably long periods of time, it is recommended that testing bodies procure sufficiently large quantities of reference work materials to cover their needs.

3.2 Dimensions

3.2.1 The recommended workpiece for face milling (see 9.3.1) shall be a bar or billet of rectangular cross-section with a width of 0,6 times the cutter diameter (75 mm for $D = 125$ mm), see 6.3, and a minimum length of 3 times the cutter diameter (375 mm for $D = 125$ mm).

The maximum and minimum heights of a workpiece may be determined according to the number of tests to be made and the need for uniform material properties. These dimensions should be restricted to ensure adequate stability during machining. The actual dimensions shall be reported.

3.2.2 For cast material, the dimensions of the parallelepiped shall be chosen to obtain the required metallographic structure.

4 Tool : Cutter

In principle, testing bodies are free to select the cutter according to their own interests. However, in order to increase the comparability of results between testing bodies, the use of a face milling cutter 125 mm in diameter and with 6 equispaced inserts is recommended. Any deviation from the recommended cutter should be reported.

4.1 Dimensions and tolerances

The dimensions of the recommended cutter shall be in accordance with ISO 6462. The main dimensions of the recommended cutter body are given in figure 3.

Although testing bodies are free to select inserts according to their own interests, it is recommended that indexable carbide inserts mounted in the recommended body are SPAN1203 EDR according to ISO 3365. The dimensions of the recommended inserts are given in figure 4. The deviation between individual inserts used in the same testing sequence should be kept to a minimum (see also 4.2).

The tolerances of the recommended tool complete with recommended inserts are given in figure 3 (see also 4.5 concerning the cutting edge runout).

4.2 Tool geometry

It is recommended that all cutting tests in which the tool geometry is not the test variable be conducted using the cutting tool geometry shown in figures 3 and 4.

The cutting tool angular geometry designations are in accordance with ISO 3002-1.

The deviation between the geometry of individual inserts used in the same testing sequence should be kept to a minimum.

The provision of tools with closer geometrical tolerances should be discussed with the supplier.

4.3 Cutting edge and insert surface

The form and method of preparing the cutting edges of the insert may significantly affect the results. It is therefore important that the geometric features are accurately measured and recorded together with the configuration and direction of grinding marks.

Where cutting edge preparation is not a test variable, the face of the insert to be used in testing should have a land of $0,2 \pm 0,05$ mm width, which gives a negative normal rake of $20^\circ \pm 2^\circ$ (measured on the insert). The wiper edge of the insert, which in use will be parallel to the machined surface, should be as sharp as possible and there should not be a land on the tool face associated with this wiper edge (see 9.3.2).

Dimensions in millimetres

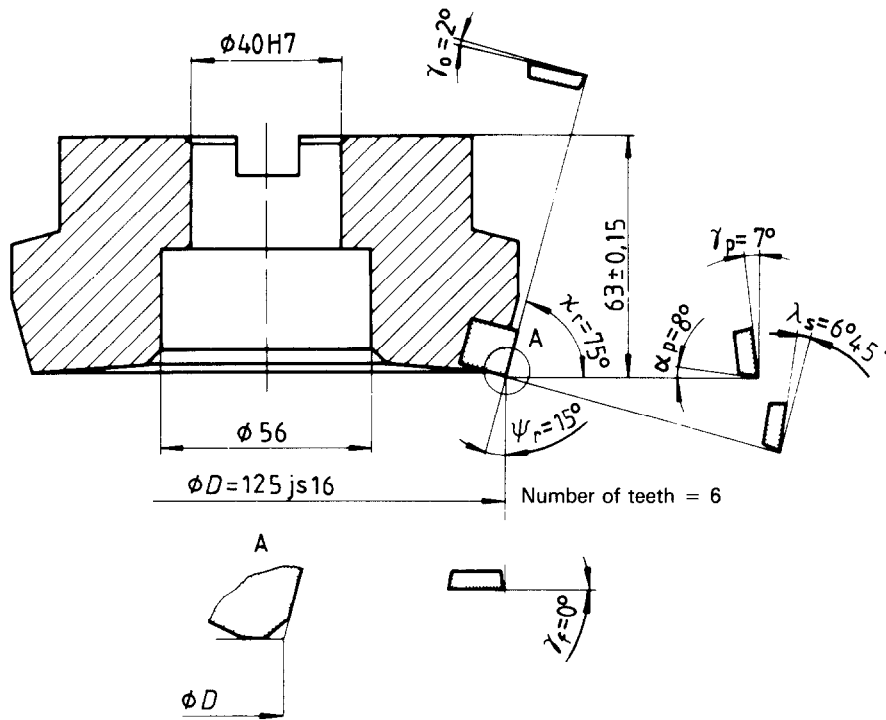


Figure 3 – Face milling cutter with hardmetal indexable inserts
(see ISO 6462, style B, $\phi D = 125$ mm)

Dimensions in millimetres

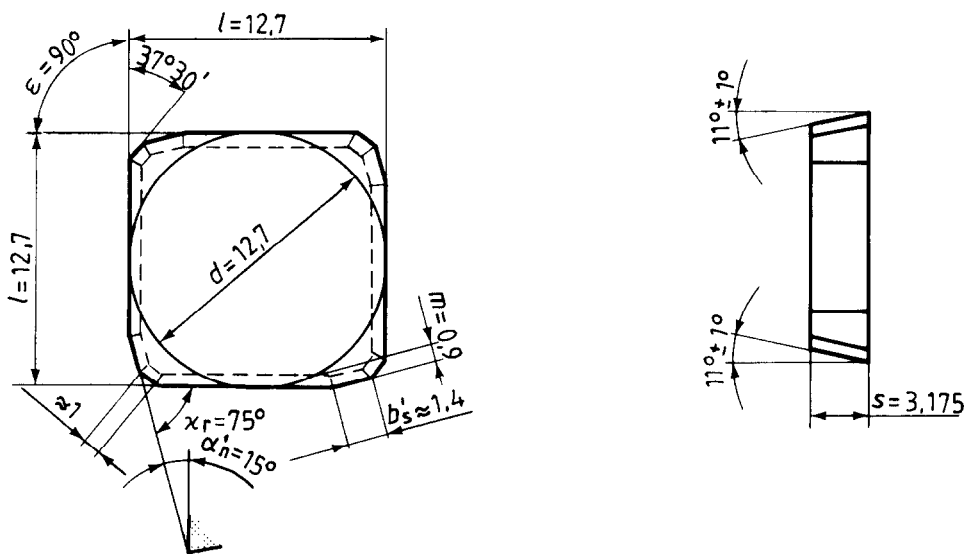


Figure 4 – Square indexable hardmetal inserts
(see ISO 3365, designation SPAN1203 EDR)

The land, if any, on the tool face associated with the major cutting edge may be parallel to the cutting edge or tapered, i.e. with a width increasing with the distance from the tool corner. If the land is tapered, the maximum width within the active part of the major cutting edge should not exceed 0,2 mm and the amount of taper should be reported. The grinding direction used for producing the land should be reported.

The surface roughness R_a of the insert surfaces should not exceed 0,25 μm (measured in accordance with ISO 468).

The deviation in flatness of the supporting surface of an insert should not exceed 0,004 mm.

4.4 Tool material

In all cutting tests, in which the tool material is not itself the test variable, the investigation shall be conducted with an appropriate reference tool material to be defined by the testing body.

In principle, testing bodies are free to select the tool materials according to their own interests. However, in order to increase the comparability of results between testing bodies, the use of one of the following reference tool materials is recommended : uncoated hardmetal grade for group of application P25 for milling steel and K10 for milling cast iron in accordance with ISO 513. In addition, the use of hardmetal from a reference stock is recommended in order to cover the need for comparison of results over a sufficiently long period of time. It is recommended that a sufficient stock of tool material be kept.

The provision of a reference tool material of stricter specifications for machining tests should be discussed with the supplier in order to guarantee as much uniformity of the cutting edges as is practical.

Since hardmetal grades for the same ISO group of application vary between producers and to a lesser extent between batches, the performance of newly bought inserts should be calibrated against that of inserts for which the characteristics are known.

If the tool material is the test variable, the material classification and as many characteristics as possible shall be reported.

The presence of any coating or surface treatment shall be reported in detail.

4.5 Mounting of the tool

The cutter used for face milling tests shall be mounted directly in the machine spindle. The cutter and spindle mounting surfaces shall be cleaned and free from all burrs. The cutter shall be securely fastened to the spindle and the runout of the cutter shall be carefully checked at the cutting edges.

The maximum values of runout shall be as follows :

- radial runout : 100 μm
- axial runout : 50 μm

Between consecutive cutting edges the values of radial runout should not exceed 50 μm . The actual runout for each cutting edge considered should be measured and recorded.

The values of runout specified above can be achieved using standard inserts and cutters mounted on conventional machines. However, since runout of cutting edges may influence the wear of individual edges, especially for testing conditions using the two lower values of recommended feed per tooth (see table 1), efforts should be made to reduce the actual values of runout as much as possible by selective mounting of the inserts in the body.

5 Cutting fluid

Normally, tests should be carried out without the application of a cutting fluid. However, if circumstances require the use of a cutting fluid, the fluid used should be clearly specified. This specification should include, for example, the trade-mark or composition of the active elements, the actual concentration, the hardness of the water (when used as a diluent), or the pH value of the solution or emulsion.

In these cases, the flow of cutting fluid should "flood" the active part of the tool. The flow-rate should not be less than 3 l/min or 0,1 l/min for each cubic centimetre per minute of metal removal rate, whichever is the larger. The orifice diameter, the flow-rate and the reservoir temperature should be reported.

6 Cutting conditions

6.1 Recommended cutting conditions

The cutting conditions for all tests in which the feed per tooth f_z , the axial depth of cut a_a or the radial depth of cut a_r are not the prime test variables, shall be selected from table 1.

Table 1 — Recommended cutting conditions

| Cutting condition | | I | II | III | IV |
|---|----------|-----------------------|-----|-------|-----|
| Axial depth of cut a_a | mm | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 4 |
| Radial depth of cut ¹⁾ a_r | mm | 0,6 D ²⁾ | | | |
| Feed f_z | mm/tooth | 0,125 | 0,2 | 0,315 | 0,5 |

1) In this particular case, the depth is equal to the width of the workpiece.

2) D = diameter of the milling cutter.

The tolerance on the axial depth of cut and the radial depth of cut shall be $\pm 5\%$.

6.2 Other cutting conditions

In those cases where the indicated feed values are not practical, other values as close as possible to those indicated may be used. In such cases the axial depth of cut should be

either $a_a = 2,5 \text{ mm}$

or $a_a = 8f_z$

whichever is the larger.

In cases where the feed, the depth of cut or the width of workpiece are the test variables, all data shall be clearly specified. It should be noted, however, that the cutting conditions shall be chosen to be compatible with the cutting tool, the machine tool, the clamping device, etc. in order to obtain reliable test data.

It should be noted that feeds of less than 0,1 mm per tooth or greater than 0,8 mm per tooth and depths of cut smaller than 2 mm or greater than 8 mm may result in modes of tool deterioration other than those recommended as criteria in this part of ISO 8688 and should therefore not be used.

6.3 Location of the cutter

For face milling tests, the cutter axis should preferably travel along the centre-line of the workpiece. In order to avoid the danger of edge fracture as the insert exits from the workpiece, it is permitted to alter the cutter position in relation to the centre-line of the workpiece in the direction away from the exit edge of the workpiece. If it is desired to locate the axis of the cutter to give a predominantly down-mill condition or a predominantly up-mill condition, the location of the cutter axis with respect to the workpiece centre-line should be recorded. However, it should be recognized that certain conditions of predominantly up-milling may result in adverse insert exit from the workpiece with significant cutting edge fracture and associated short tool life (see clause 1, second condition). The actual location of the cutter relative to the workpiece should be reported (see annex C).

6.4 Cutting speed

The cutting speed is the peripheral speed of the cutting tool determined at the nominal diameter (see figure 3). The average cutting speed should be measured with the tool under load at cutting conditions representative of the test conditions to take account of any losses resulting from the cutting action.

It is suggested that the desired cutting speed be established from a preliminary test (see 9.2). An appropriate cutting speed can be found in machining data handbooks. For the reference workpiece materials and the reference cutting tool this speed will be approximately 180 m/min.

A relatively small change in cutting speed will significantly affect tool life, e.g. a change of $\pm 10 \%$ may result in an approximate doubling or halving of tool life.

7 Tool deterioration and tool-life criteria

7.1 Introduction

In practical workshop situations the time at which a tool ceases to produce workpieces of the desired size or surface quality usually determines the end of useful tool life. The period up to the instant when the tool is incapable of further cutting may also be considered as the useful tool life. However, the reasons for which tools may be considered to have reached the end of their useful tool life will be different in each case depending on the cutting conditions, etc.

To increase reliability and comparability of test results it is essential that tool life be defined as the total cutting time of the tool to reach a specified value of tool-life criterion.

In order to produce test values which are reliable and comparable with test values produced from a variety of sources, it is necessary to identify and classify tool deterioration phenomena in accordance with 7.3 and to recommend those, together with their limiting values, which should be used to determine the end of useful tool life in accordance with 7.4.

Depending on where the deterioration occurs at the cutting edges, different values can be accepted.

This part of ISO 8688 recommends that tool deterioration in the form of wear be used for determining tool life. Since other modes of tool deterioration may determine the end of useful tool life, the definitions given in 7.2 take into account cracks, chipping and deformation.

Each type of deterioration will progress or occur in a variety of ways depending on the cutting conditions. To aid both test reporting and the interpretation of test reports, a coded classification system is recommended to give a detailed description of the form of deterioration (see 7.3).

Many types of tool deterioration phenomena are listed in this clause and in table 2. Some of them may occur only occasionally under the testing conditions recommended in this part of ISO 8688.

7.2 Definitions

For the purposes of this part of ISO 8688, the following definitions apply.

7.2.1 tool deterioration : All changes in a cutting part of a tool caused by the cutting process.

Three major classes of tool deterioration are distinguished, i.e. tool wear, brittle fracture and plastic deformation.

7.2.1.1 tool wear : Change in shape of the cutting part of a tool from its original shape, resulting from the progressive loss of tool material during cutting.

7.2.1.2 brittle fracture : Occurrence of cracks in the cutting part of a tool followed by the loss of small fragments of tool material, resulting from crack initiation during cutting.

7.2.1.3 plastic deformation : Distortion of the cutting part of a tool from its original shape without initial loss of the tool material during cutting (see 7.3.7).

7.2.2 tool deterioration measure : Quantity used to express the magnitude of a certain aspect of tool deterioration by a numerical value.

Examples :

- The width of a uniform flank wear land VB 1 (see 7.3.2.1).
- The number of comb cracks CR 1 (see 7.3.5.1 and 7.5.4).

7.2.3 tool-life criterion : Predetermined value of a specified tool deterioration measure or the occurrence of a specified phenomenon.

Examples :

- The width of a uniform flank wear land $VB\ 1 = 0,35\text{ mm}$ (see 7.4.1).
- Cracking becomes visible.

7.2.4 tool life T_c : Total cutting time of the tool required to reach a specified tool-life criterion.

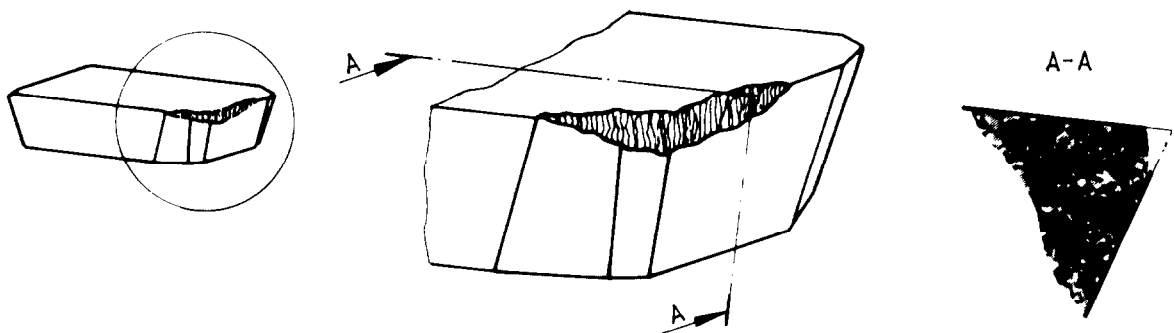
7.3 Tool deterioration phenomena

7.3.1 Coding system for tool deterioration and tool wear

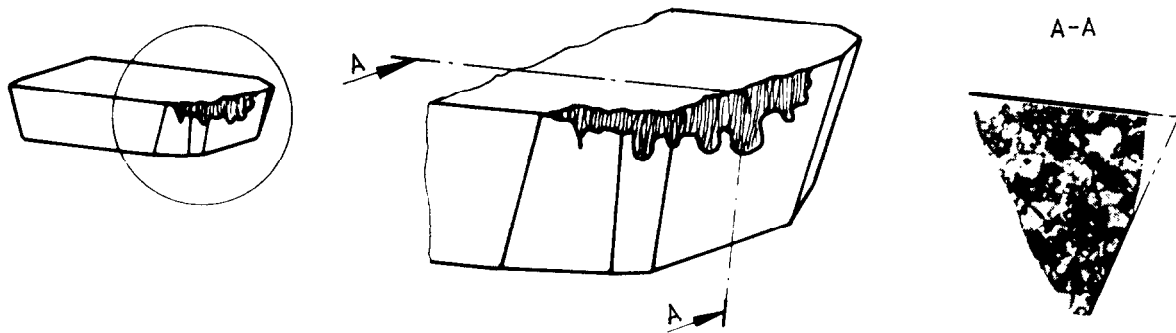
In practice, different types of deterioration will occur together during machining. It is desirable, therefore, to be able to give information concerning deterioration in a meaningful manner. Table 2 gives recommendations for and illustrations of a coding system to describe deterioration phenomena observed at each stage of measurement during testing, thus reducing the risk of misinterpretation of lengthy written descriptions and minimizing the number of illustrations required in a test report.

7.3.2 flank wear (VB) : Loss of tool material from the tool flanks during cutting which results in the progressive development of a flank wear land.

7.3.2.1 uniform flank wear (VB 1) : Wear land which is normally of constant width and extends over those portions of the tool flanks adjoining the entire length of the active cutting edge.



7.3.2.2 non-uniform flank wear (VB 2) : Wear land which has an irregular width and for which the profile generated by the intersection of the wear land and the original flank varies at each position of measurement.

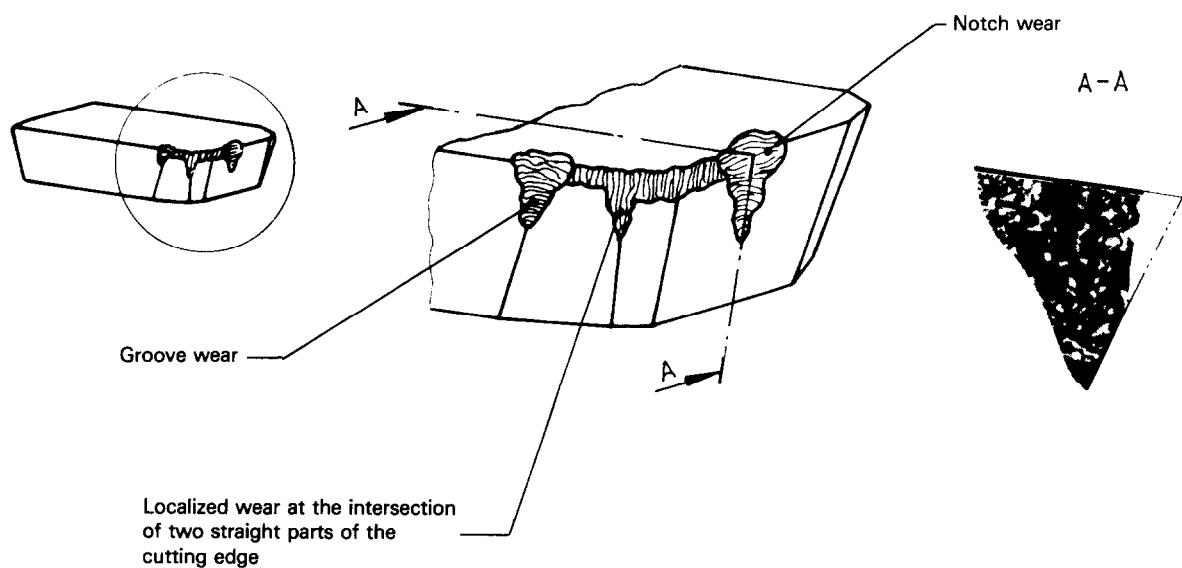


7.3.2.3 localized flank wear (VB 3) : Exaggerated form of flank wear which develops at localized points on the flanks (see figure 5, points P_1 to P_2 and P_f or zone A_1).

One special form of this type of flank wear is **notch wear** which develops on that part of the major flank adjacent to the work surface during cutting.

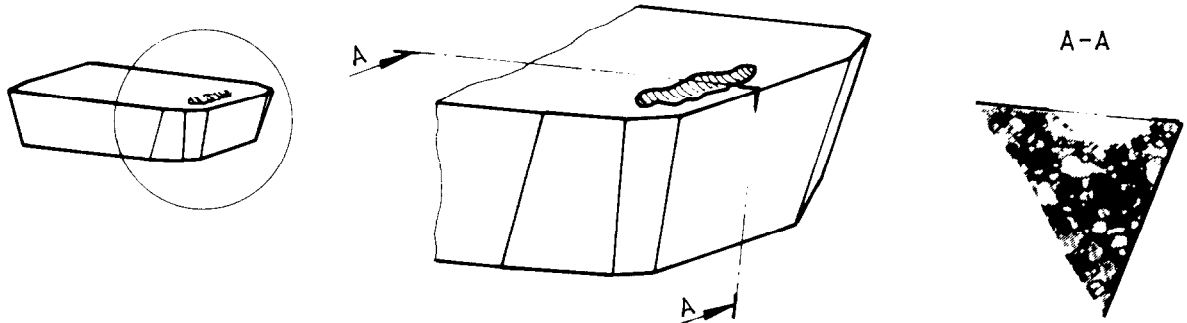
Another special form of this type of flank wear is **groove wear** which develops on that part of the minor flank adjacent to the machined surface during cutting.

A third special form of localized flank wear occurs sometimes at the point of intersection of two straight parts of the cutting edge.

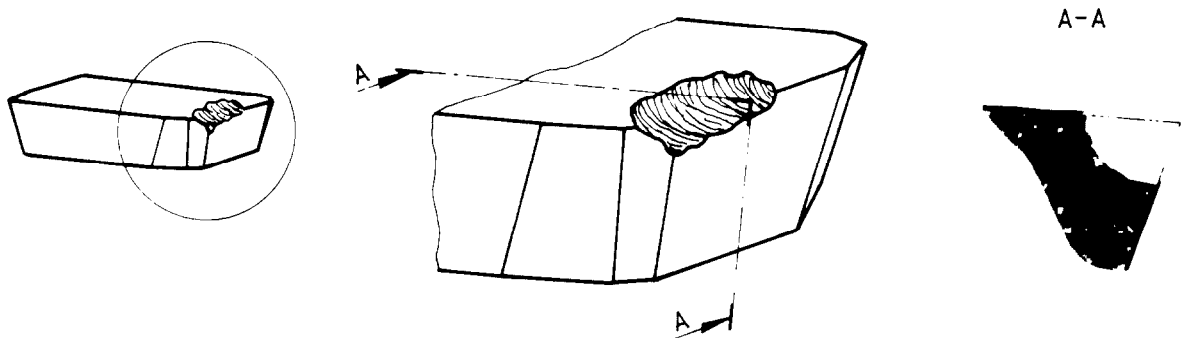


7.3.3 face wear (KT) : Gradual loss of tool material from the tool face during cutting.

7.3.3.1 crater wear (KT 1) : Progressive development of a crater oriented approximately parallel to the major cutting edge and with a maximum depth some distance away from the major cutting edge. Under certain circumstances the crater may break off from the tool face to intersect the tool major flanks.

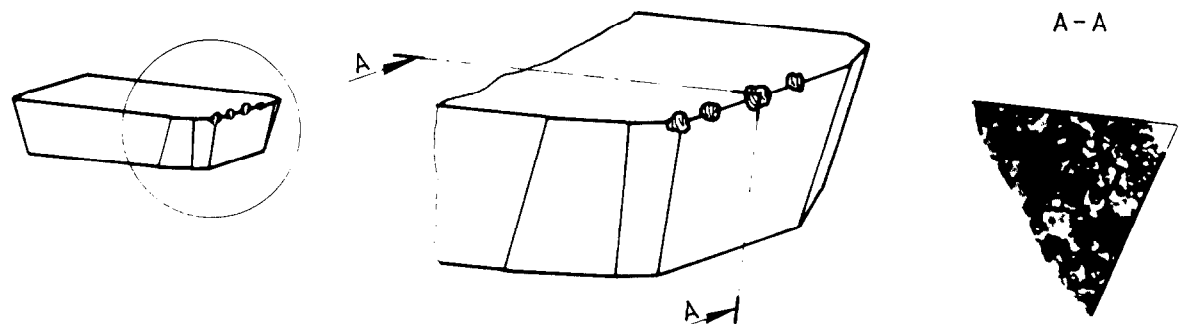


7.3.3.2 stair-formed face wear (KT 2) : Form of a face wear in which the maximum depth of the wear scar, measured perpendicular to the tool face, occurs at the intersection of the wear scar with the tool major flank.

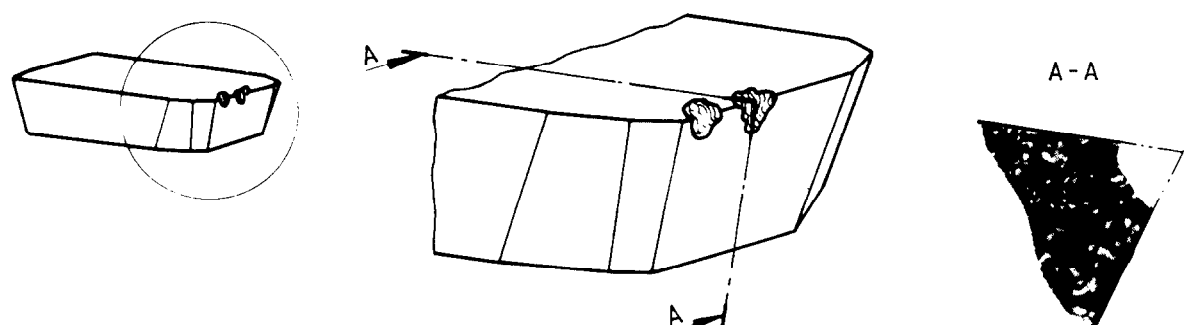


7.3.4 Chipping (CH)

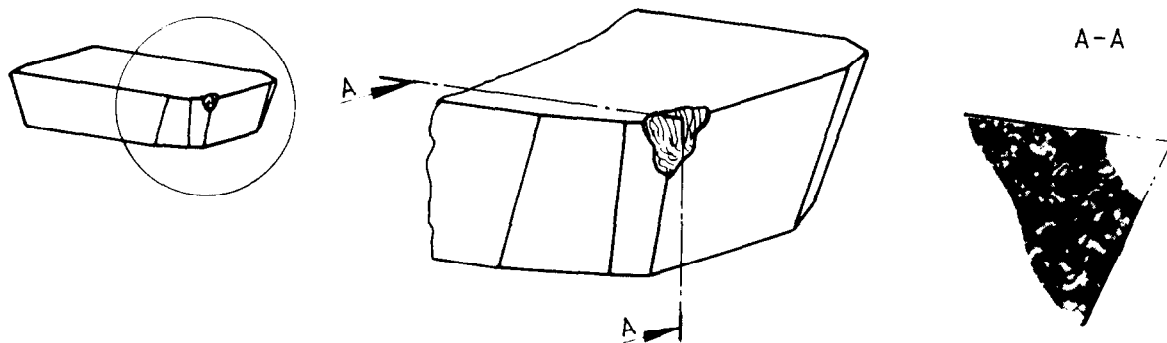
7.3.4.1 uniform chipping (CH 1) : Loss of tool fragments of approximately equal size along the cutting edges, which significantly influences the uniformity of the width of the flank wear land.



7.3.4.2 non-uniform chipping (CH 2) : Chipping which occurs mostly in connection with cracks at a small number of positions along the active cutting edges but with no consistency from one cutting edge to another.



7.3.4.3 localized chipping (CH 3) : Chipping which occurs consistently at certain positions along the active cutting edge (or in zone A_0 in figure 5).

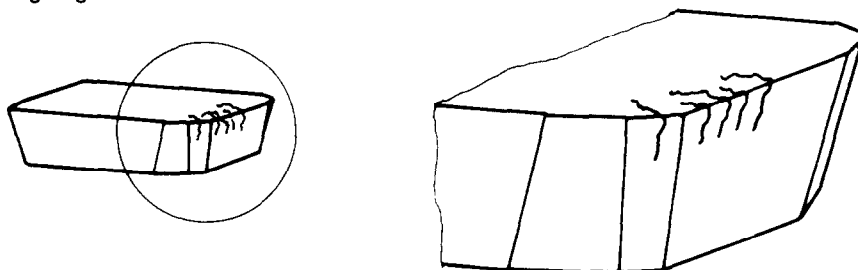


7.3.4.4 chipping of the non-active part of the major cutting edge (CH 4) : Chipping, which occurs outside the active part of the cutting edge, due to chip hammering.

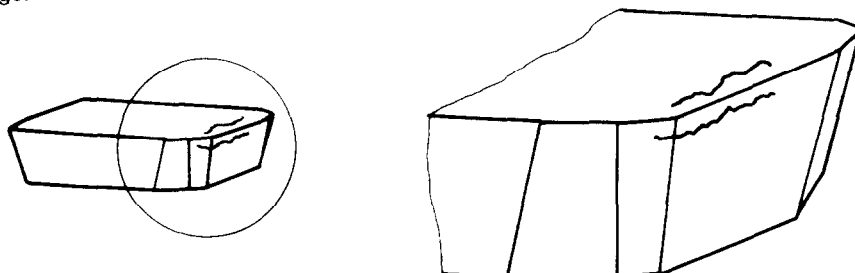
7.3.4.5 brittle edge failure : Disappearance of the major part of the active cutting edge which makes it impossible to continue cutting.

7.3.5 cracks (CR) : Fracture of the cutting tool material which does not immediately cause loss of tool material.

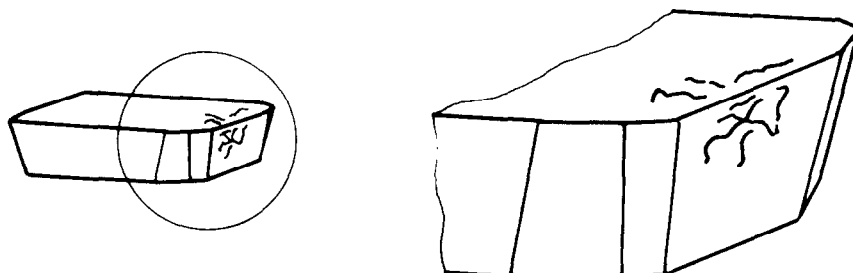
7.3.5.1 comb cracks (CR 1) : Cracks which appear on both the tool face and the tool flank and are oriented approximately perpendicular to the major cutting edge.



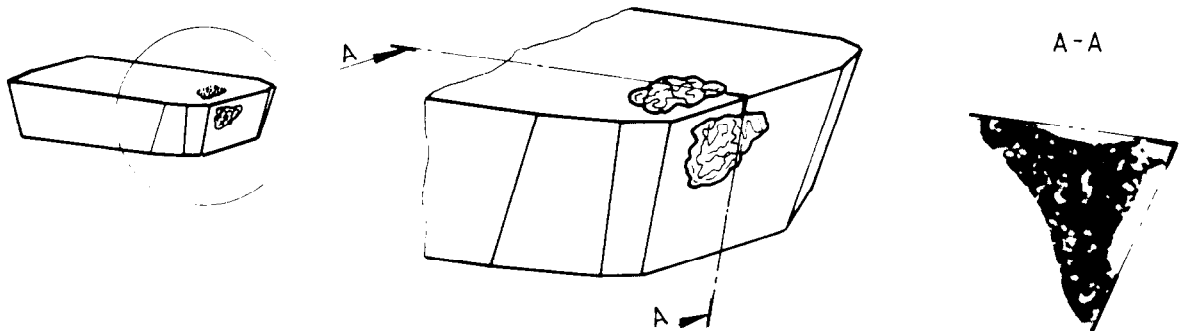
7.3.5.2 parallel cracks (CR 2) : Cracks which appear on the tool face or the tool flank and which are oriented approximately parallel to the major cutting edge.



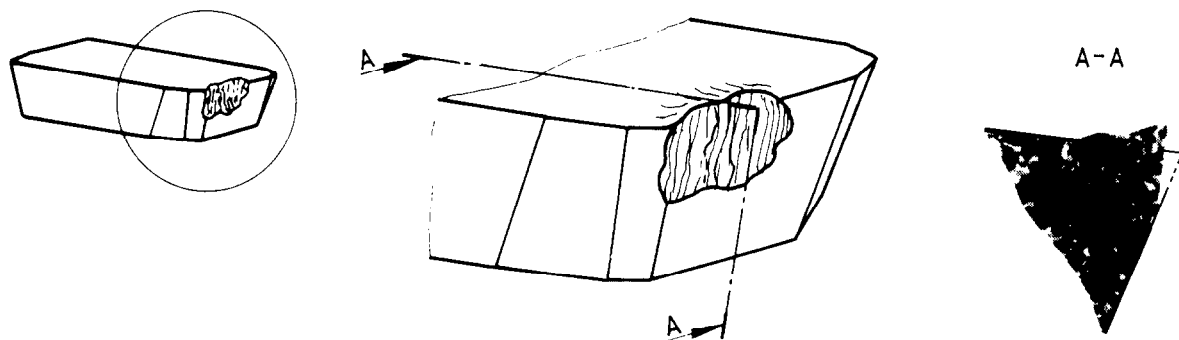
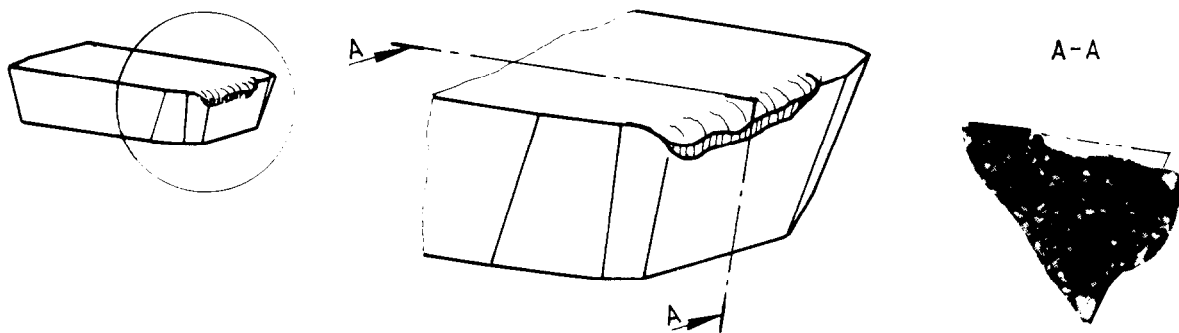
7.3.5.3 irregular cracks (CR 3) : Cracks which sometimes appear on the tool face and on the tool flank and which are irregularly oriented.



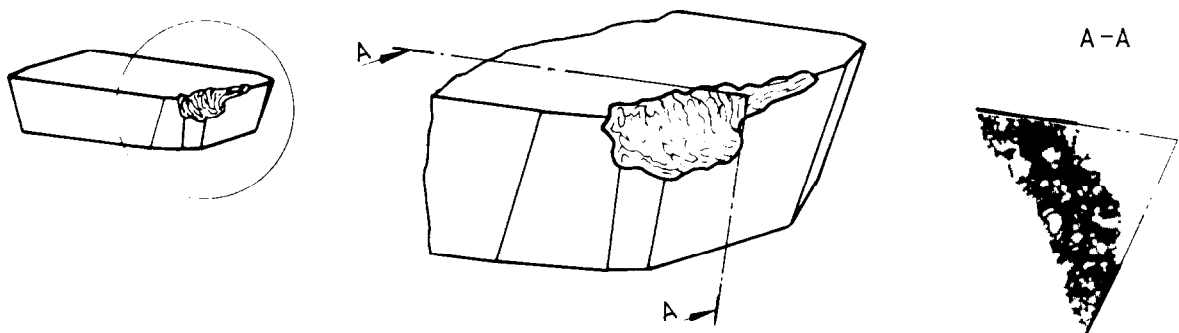
7.3.6 flaking (FL) : Loss of tool fragments in the form of flakes from the tool surfaces. This phenomenon is most frequently observed when coated tool inserts are used but may also be observed with other tool materials.



7.3.7 plastic deformation (PD) : Distortion of the cutting part of a tool from its original shape without initial loss of tool material.



7.3.8 catastrophic failure (CF) : Rapid deterioration to complete failure of the cutting part.



7.4 Tool deterioration phenomena used as tool-life criteria

In order to be able to determine tool life and to compare the influence of different test parameters it is necessary to select one defined type of deterioration of the cutting part as a criterion (see table 2).

The tool-life criterion can be a predetermined numerical value of any type of tool deterioration which can be measured. Where more than one form of deterioration becomes measurable, each should be recorded and when any one of the deterioration phenomena limits has been attained, the end of tool life has been reached.

The type of deterioration that is believed to contribute most to the end of useful tool life in a specific series of tests shall be used as a guide to the selection of one of the tool-life criteria specified. The type and value of the criterion used shall be reported.

7.4.1 Recommended tool-life criteria

Tool-life criteria which can be defined as a predetermined numerical value of specific types of tool wear are recommended.

A certain width of the flank wear land (VB) is the most commonly used criterion.

A certain depth of the crater on the tool face (KT 1) or the height of the stair step (KT 2) is sometimes used as a criterion.

The numerical value of tool deterioration used to determine tool life governs the quantity of testing material required and costs of testing. If the limiting value is too high, the cost of establishing results may exceed the worth of these results. If the limiting value is too low, the established result may be unreliable since it may be determined during the initial stages of deterioration development under the test conditions. To satisfy the testing requirements for the majority of users of conventional steels and cast irons a set of three limiting values for each deterioration criterion is specified (see table 2).

The numerical values for the various tool deterioration measurements indicated under the heading "Tool-life criteria" are to be used as follows :

- Normal (N) : The values under this heading apply to the cutting conditions indicated in clause 6 on work materials similar to the reference work materials specified in annex A and with tool characteristics similar to those indicated in clause 4. The values selected are a reasonable compromise between reliability, costs of testing and normal deterioration intensity. Normally one of the numerical values will be reached before total destruction of the cutting parts occurs.
- Large (L) : The values under this heading give more information about the capability of a tool under certain conditions of testing. The use of these values is especially recommended in cases where the full potentials of the cutting parts and the cause of final destruction are to be assessed and where costs of higher material consumption are not prohibitive.

- Small (S) : The values under this heading give less information about the capability of a tool under the conditions of testing. The use of these minimum values is allowed only in cases where the costs of material consumption are very high as may be the case with very wear-resistant cutting tools or very expensive work materials. The adoption of values smaller than the smallest values specified in this part of ISO 8688 is not recommended.

7.4.2 Other tool-life criteria

In cases where none of the recommended criteria applies, it may be possible to obtain meaningful data by using one of the following criteria.

- Chipping (CH, in the moderate form A or B, see table 2) is a criterion which may be used.
- Cracking (CR) is a common phenomenon and may sometimes be used as a criterion.
- Chipping (CH) in the heaviest form (see table 2), flaking (FL), plastic deformation (PD) and catastrophic failure (CF) are forms which exceptionally could be used as criteria.

For complete reporting, especially when edge failure or some other form of deterioration renders the tool useless for cutting, it is recommended that complete details of the deterioration are recorded in the data sheet (see annex C) according to the descriptions, codes and values contained in table 2 and the positions along the cutting edges represented in figure 5.

7.5 Assessment of tool deterioration

Measurement of tool wear and brittle deterioration using appropriate equipment (see 8.2 and 9.3.7) at intervals determined by the test plan (see 9.2) should be recorded on the data sheets and plotted on diagrams (see 10.4 and annex C).

When there is evidence of built-up-edge (BUE), built-up-layer (BUL), or other debris of work material on the surface of the cutting tool, such observations should be reported since accurate measurement of the deterioration phenomena may be impeded by such deposits. Although mechanical techniques for the removal of deposits from tool surfaces are not recommended, it may be permitted to remove BUE or BUL using a soft material such as a "thumb nail", piece of plastic or wood, with a minimal risk of damaging the tool. Chemical etching may be used only when the cutting tool material is very different from the work material. If deposit removal is undertaken, the method used shall be reported in detail.

7.5.1 Measurement of flank wear (VB)

Flank wear measurement is carried out parallel to the surface of the wear land and in a direction perpendicular to the original cutting edge, e.g. the distance from the original cutting edge to that limit of the wear land which intersects the original flank. Although the flank wear land on a significant portion of the major flank may be of uniform size, there will be variations in its value at other portions of major and minor flanks depending on the tool profile and edge chipping (see 7.3). Values of flank

wear measurements shall therefore be related to the area or position (see figure 5) along the cutting edges at which the measurement is made (see 7.2 and 7.3).

7.5.2 Measurement of face wear (KT)

Face wear KT 1 is evaluated by the crater depth which is measured from the original face of the tool in a direction perpendicular to the original face. Since the depth of the crater will vary along its length, the position of the depth measurement in relation to the original cutting edge should be recorded together with the position of the section considered for measurement in relation to some reference point on the tool faces (see 7.2 and 7.3). Normally the section is taken at a position corresponding to the mid-depth of cut and perpendicular to the major cutting edge.

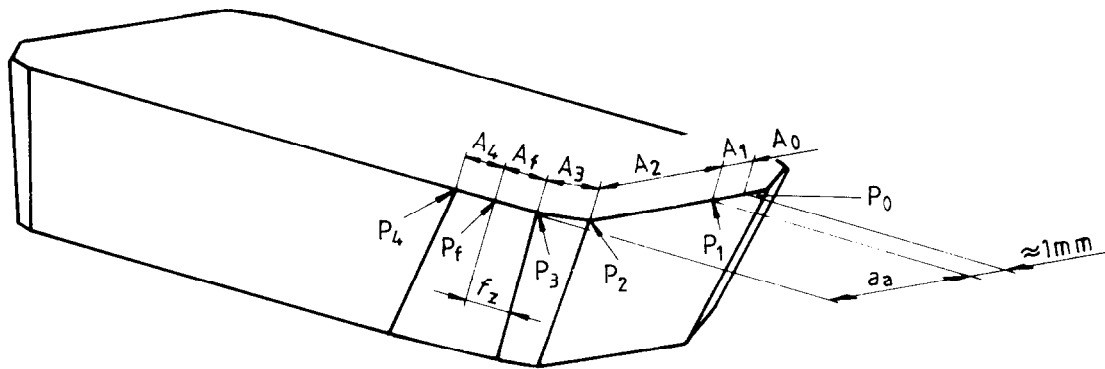
Face wear KT 2 is measured as the distance between the worn edge and the original cutting edge (see 7.2 and 7.3).

7.5.3 Assessment of chipping (CH)

Chipping should be measured both on the flank and on the face parallel and perpendicular to the original cutting edge. The zone in which chipping occurs should be indicated in accordance with the coding system given in figure 5.

7.5.4 Assessment of cracks (CR)

Cracking is evaluated by counting the cracks (observed at a magnification of 8X) and by measuring the minimum distance between two consecutive cracks. The position of the cracks should be reported using the coding system given in figure 5.



This coding system includes

- code A, which refers to areas;
- code P, which refers to points;
- indexes, which refer to positions.

These codes and indexes shall be used in the data sheet, see the example in annex C.

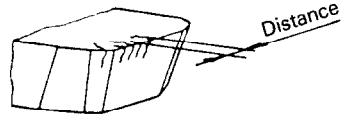
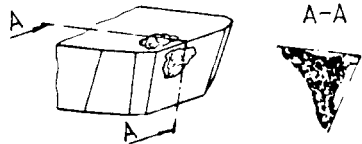
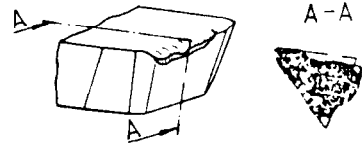
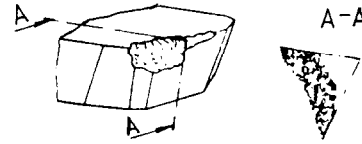
Figure 5 — Deterioration position coding system

Table 2 – Coding system

| Code | | Description of tool deterioration | | | | | |
|---|------------------------------|-----------------------------------|------------|---|--------------|-------|--|
| Basic form Distribution Subdivision | | | | | | | |
| | 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 | | | | |
| KT | Face wear | Crater wear : | Depth | 0,05 | 0,1 | 0,15 | |
| | | | Width* | | | | |
| | | | Distance* | | | | |
| | 2 Stair forms : | Depth | 0,25 | 0,3 | 0,35 | | |
| Depth/width* | | | | | | | |
| CH | Chipping (breakage) | 1 Uniform | Length, mm | For y or z with corresponding length values | | | |
| | | 2 Non-uniform | | | | | |
| | | 3 Localized | | | | | |
| | 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 | — | — | — | | |

* To be recorded.

Table 2 (concluded)

| Code | Description of tool deterioration | Criteria, mm | | | Illustration |
|---|---|---|---|---|---|
| | | S | N | L | |
| Basic form Distribution Subdivision | Tool deterioration phenomena | | | | |
| CR 1 2 3 | Cracks Cracks perpendicular to the edge Cracks parallel to the edge Irregular direction | The number of the largest cracks and the mean distance between them shall be recorded | | |  |
| FL | Flaking | Could be used as criteria in exceptional cases | | |  |
| PD | Plastic deformation | | | |  |
| CF | Catastrophic failure | | | |  |

8 Equipment

8.1 Machine tool

The milling machine on which the tests are to be conducted shall have sufficient power and physical capacity, be of stable design and be in such condition that abnormal vibrations or deflections are not observed during the test. Cutting conditions which cause chatter should not be used. However, if chatter does occur it may be reduced significantly or eliminated by a small change in cutting speed without varying other cutting parameters.

The required spindle power and spindle torque for recommended cutting conditions are given in table 3.

The accuracy of the milling machine shall be in accordance with ISO 1701.

The feed speed under load shall be constant.

The traverse required for a test should not exceed 0,75 times the limit of motion of the axis.

Table 3 — Required spindle power and spindle torque for the standardized test conditions

| Cutting condition | | I | II | III | IV |
|---|-----------|-------|-----|-------|-----|
| Axial depth of cut a_a | mm | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 4 |
| Radial depth of cut a_r (equal to the width of cut) | mm | 75 | 75 | 75 | 75 |
| Feed f_z | mm/tooth | 0,125 | 0,2 | 0,315 | 0,5 |
| Minimum spindle power ¹⁾ (at a cutting speed of 180 m/min) | Steel | 5 | 7 | 9 | 14 |
| | Cast iron | 3 | 4 | 6 | 8 |
| Minimum spindle torque ¹⁾ | Steel | 100 | 130 | 200 | 300 |
| | Cast iron | 60 | 80 | 110 | 160 |

1) The values given for spindle power and spindle torque are rounded-off values.

NOTE — It is necessary to consider the actual efficiency in order to calculate the minimum motor power. Any deviation from the recommended testing conditions, for example the use of negative rake tool geometry, may result in torque and power requirements which are higher than those quoted in table 3.

8.2 Other equipment

Table 4 lists equipment which is necessary and recommended for carrying out the tests specified in this part of ISO 8688.

Table 4 – Equipment necessary for measurements in the face milling tests

| Clause | Minimum equipment | Recommended equipment |
|---|---|---|
| 3 Workpiece Dimensions Hardness | Graduated rule Hardness tester | Sliding calliper Hardness tester |
| 4 Cutter Dimensions Roughness Defects Runout | Sliding calliper Roughness standard Magnifier, having a minimum magnification of 8X Dial indicator | Micrometer, 0-25 Surface tester Toolmaker's microscope Dial indicator, graduated to 0,001 mm |
| 5 Cutting fluid Concentration Flow (pH value) (Temperature) | Graduated vessel and stop-watch | Refractometer Graduated vessel and stop-watch pH meter Thermometer |
| 6 Cutting conditions Feed speed Spindle speed | Stop-watch Tachometer | Stop-watch Tachometer |
| 7 Tool deterioration Flank wear, face wear, chipping, cracks, flaking and plastic deformation | Toolmakers' microscope, dial indicator, with a contact point 0,2 mm in diameter | Toolmakers' microscope, profile recorder |
| 10 Evaluation of results | | Programmable calculator |

9 Procedure

9.1 Purpose

The main purpose of the test may be the comparison (or ranking) or work materials, tool materials, tool geometries or cutting fluids. Other purposes may include the establishment of data useful for making cutting condition recommendations, the study of machining characteristics such as forces exerted on the tool, machined surface characteristics or chip form. However, for these purposes certain recommendations given in this part of ISO 8688 may have to be modified to suit the specific requirements or aims of the test. Such modifications shall be reported.

9.2 Planning

Planning of the test programme should take into consideration which of the following types of tests should be used to achieve the purpose of the test.

- Type A : One single test point for a particular combination of test variables.

This type of test is intended for the determination of, for example, differences between two or more batches of work materials, groups of tools, etc. (see 10.3.1).

- Type B : One vT curve, with the cutting speed as a variable for a particular combination of other cutting variables (see 10.3.2).

- Type C : Tool life as a function of cutting speed and feed (see 10.3.3).

- Type D : Tool life as a function of cutting speed, feed and some other variable (see 10.3.3).

- Type E : Machining characteristics such as cutting forces, machined surface and chip formation.

When planning the tests outlined above, the likely scatter in test results and the need for a minimum number of tests, which may be determined from previous experience or from statistical considerations (see clause 10), should be considered.

Care should be exercised when assessing the material quantity requirements for completing the entire test programme (see table 5). Guidance in the selection of the cutting speed range, the feed values and the desirable time intervals between successive assessments of the amount of tool deterioration, taking into account the expected progression of tool deterioration, may be obtained from preliminary tests.

The information obtained can be used to determine material quantity requirements and the total duration of the test programme.

Table 5 — Approximate mass of material removed for each single test run using the recommended criteria under the recommended test conditions

| Cutting condition | | I | II | III | IV | |
|---|----------|-------------|-----|-------|-----|----|
| Axial depth of cut a_a | mm | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 4 | |
| Radial depth of cut a_r | mm | 75 | 75 | 75 | 75 | |
| Feed f_z | mm/tooth | 0,125 | 0,2 | 0,315 | 0,5 | |
| Approximate mass of material removed (to achieve recommended tool-life criterion) | | kg/test run | 10 | 15 | 25 | 55 |

9.3 Preparation of material, tools and equipment

Prior to the commencement of any single experiment constituting part of a test programme the following preparatory steps should be taken.

9.3.1 Workpiece

All types of surface scale should be machined away. Individual specimens of appropriate size should be cut from the bars or billets and clearly stamped to identify the parent bar or billet, and the position and orientation within that bar or billet originally occupied by the specimen.

Visual inspection and hardness tests should be carried out on each test piece and details recorded before commencing the cutting test (see 3.1). Where a specimen has been used previously, the machined surface generated under the test conditions may have to be considered as "scale" and removed by clean-up cuts with fresh inserts before a new experiment is started.

9.3.2 Hardmetal inserts

Each cutting edge should be examined for defects such as cracking and chipping prior to testing using a minimum magnification of 8 X. Defective cutting edges should not be used.

9.3.3 Cutter body

The insert locations in the cutter body should be marked, checked for damaged seats, shims and wedges, and any replacements should be mounted in accordance with the tool manufacturer's recommendations (see annex B for setting instructions).

9.3.4 Insert setting, indexing and replacement

Each insert should be mounted according to the tool manufacturer's instructions. In the absence of such instructions the general principles outlined in annex B should be referred to. The position of consecutive cutting edges should be measured in the axial and radial directions (see 4.5). The values shall be recorded for each insert location (see annex B).

Inserts should be covered and protected until the face mill is mounted in the machine spindle.

9.3.5 Face mill with inserts

The machine spindle and face mill should be cleaned immediately prior to mounting the tool in the spindle. The axial

and radial runout of each insert should be measured on the cutter mounted in the spindle, using an indicator graduated to 1 μm with a flat anvil, and the values recorded for each insert location. Recommended limiting values of these runout amounts are given in 4.5.

9.3.6 Machine tool

Since spindle speeds and feed speeds quoted on machine tools may be nominal values, the actual spindle speeds and feed speeds should be measured and recorded under load conditions which are representative of the test conditions. Before any testing is commenced, the machine tool should be warmed up by running the spindle for a minimum period of 30 min at a speed of 0,7 times the maximum available spindle speed or at the speed to be used in the test. At 5 min intervals during this period the feed motion should be engaged to cause an axis movement at least equal to that required for the test, in the region to be used for testing, and the axis then returned at rapid traverse.

Clamping devices should be checked to ensure the best possible workpiece stability.

9.3.7 Equipment for assessment of tool deterioration

The availability and quality of suitable equipment for measuring tool deterioration phenomena of the inserts both in the tool body (but removed from the machine if necessary) and removed from the tool body should be established (see 8.2). This information should be recorded on suitable data sheets (see annex C).

9.3.8 Personnel

Machine operators and other persons involved in the test programme should be adequately instructed as to the purposes of the tests and the test procedure.

9.4 Test techniques

Complete information concerning the tests should be recorded on suitable test data sheets (see annex C).

Before starting the actual tests, a check should be made to ensure that the cutting conditions have been chosen to be compatible with the cutting tools, the tool holder, the machine tool, the clamping device, etc., and that the estimated tool life will be obtained.

In certain cases, visual checks on inserts prior to machining may not identify defects in the inserts. In addition, the choice of the initial cutting conditions may be unsuitable. These factors taken separately or jointly may result in a form of premature

failure of one or more inserts during the first few seconds of the machining time and this failure may become apparent by a change in chip formation, the start of a vibration or a change in surface finish. When there is doubt concerning the adequate performance of a tool, the test should be interrupted to permit inspection of the inserts. If one insert has failed during the first few seconds of the machining time, the failure should be recorded, the insert should be replaced, maintaining the cutting edge positional accuracy (see 4.5), and the test continued. However, if several inserts have failed, the entire set should be replaced and a new test started under different cutting conditions which are more likely to give wear characteristics of all inserts comparable with practical industrial applications.

Tool or spindle overhang should be kept to a minimum.

Successive passes should always be made in the same feed direction and the tool should be returned to the starting point for a pass, ensuring that there is no possible contact between the inserts and the workpiece during the return motion.

The length of the pass is considered to be equal to the length of the workpiece or, if this is not relevant, the cut length corresponding to the feeding distance with the tool in full engagement with the workpiece.

Special attention shall be paid to the position of the spindle centre-line (see 6.3).

Prior to commencing a new test run, the workpiece shall be "cleaned up" using fresh inserts (see 9.3.1).

9.5 Measurements and recording of tool deterioration

At time intervals determined by the test plan all inserts should be examined. Measurements of tool deterioration should be carried out and the observations recorded on the data sheets together with details of any deterioration (see annex C).

These measurements should be made with the tool mounted in the machine at various positions along the cutting edges and on the face (see 7.1 and 7.2). The measurements should be made on each insert and related to both the insert position in the tool body and the appropriate corner of the insert.

The appropriate tool deterioration measurement values should be treated in accordance with clause 10.

10 Evaluation of results

10.1 General considerations

The evaluation of tool deterioration observations from face milling with multitoothed cutters should be undertaken using the following guidelines.

- The aim of the test shall be established in accordance with clause 0 or 9.1.
- The test results should be obtained from a properly planned test programme (see 9.2).
- The principles for test techniques should be applied (see 9.4).

10.2 Treatment of test values

The individual edges mounted in the same cutter body and used in a given test run do not act independently of one another. Consequently, the test values from measurements or other observations of tool deterioration of the individual edges on identical inserts shall be considered together to be the result of a specified test run with one tool.

Because of the non-independent action of individual edges, comparative testing of inserts of different geometry or quality mounted together in the same cutter may be completely misleading and should not be attempted.

In tests where a specific type of deterioration is expected and measured or studied (see 7.3 to 7.5) any early or sudden occurrence of an unexpected deterioration phenomenon should normally require replacement of the actual insert. The new edge shall not be taken into consideration in the calculation of the results of the test run.

Any unexpected deterioration phenomenon shall be carefully observed and recorded. The reasons shall be investigated (see 9.4).

If several inserts fail as described above the entire test shall be neglected in the evaluation. In the case of repeated failure, a change of the test conditions shall be considered.

10.3 Number of test runs

Regardless of the purpose of the test or the type of test undertaken (see 9.1 and 9.2) the accuracy of the results which can be achieved or might be desired is always a function of the number of test runs.

The desired accuracy of the test results shall be balanced against the limitations given by the consumption of material, tools, time and money (see 6.4 and 7.5).

For the study of machining characteristics such as chip formation, surface characteristics, etc. (test type E, see 9.2), one test run of limited size for each test condition will normally be sufficient.

When comparing cutting tool materials, cutting fluids, etc. (see 9.1), experienced personnel may be able to establish with sufficient accuracy the significance of differences in the test results from a very small number of test runs.

For test procedures the purpose of which is to determine the tool life, edge deterioration phenomena are measured (see 7.4.1 and 7.5). In these cases a number of test runs for each cutting condition is recommended to give an acceptable accuracy from a practical point of view and from the basis of experience and statistical considerations.

These minimum numbers quoted assume the use of statistical techniques for the evaluation of the test results (see 10.5).

Since the accuracy of the test results determined by statistical analysis depends on both the number of test runs and the number of variables examined in the test plan, it is recommended that the number of test runs be four times the number of test variables. However, in order to reduce costs, the minimum

number of test runs specified for test types B, C and D below can be accepted.

10.3.1 Test type A

For test type A (see 9.2) a minimum of three repeated test runs is needed. However, if the differences between batches of materials, groups of tools, etc. are small, the use of the statistical methods given in annex D will show that more test runs may be needed in order to determine whether the results are significant.

10.3.2 Test type B

To plot the tool life (see clause 7) as a function of the cutting speed (vT diagram) it is necessary to have at least five data points corresponding to five cutting speed values (see figure 6).

Starting with a cutting speed giving a tool life of not less than 5 min, the cutting speed should be decreased for each data point, if possible using a constant ratio such that the maximum tool life during testing is not less than 25 min.

A tool life of less than 5 min will be unreliable. However, a tool life in excess of 25 min may be costly in terms of material and time.

The actual cutting speeds used depend on the speeds available on the machine tool and the requirement for stable cutting, and they should be reported.

Two or more types of deterioration may occur in the same test. If it is not clear which type of deterioration will dominate, it is possible to use two (or even more) criteria (I and II in figure 7). This can be carried out in two different ways as follows.

- a) Determination of the tool life for criterion I for all tests in a specific series and subsequent determination of the tool life for criterion II, also for all tests in the series.

When tool life is plotted for both criteria as a function of a variable (e.g. the cutting speed) then two different curves will be obtained (see the example given in figure 7).

- b) Combined criteria are adopted and, in this case, the tool life will be considered to be ended when either criterion I or criterion II is reached. When tool life is plotted as a function of a variable (e.g. the cutting speed) this will usually result in a "broken" curve (see the example given in figure 7).

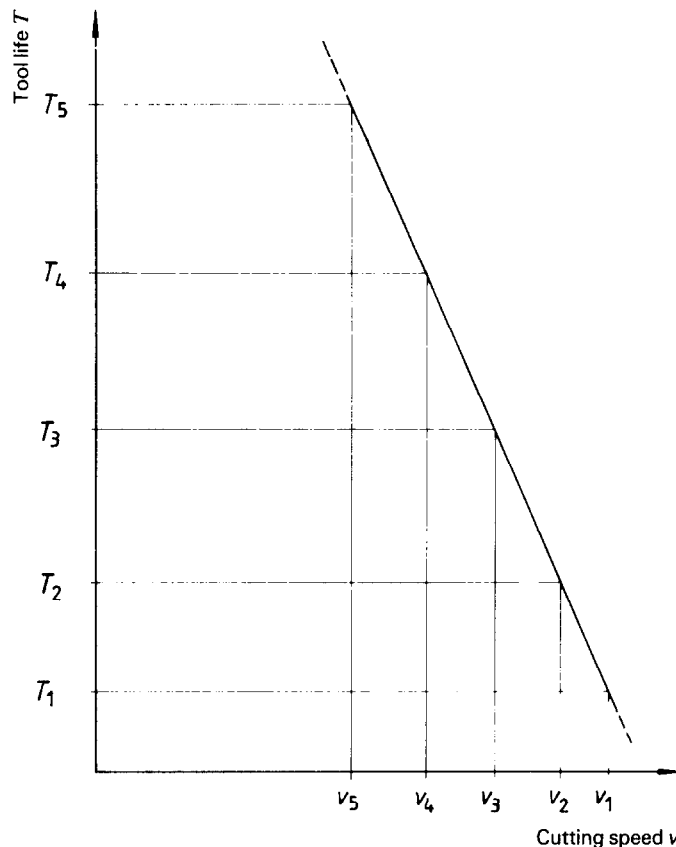


Figure 6 — Example of a vT curve (logarithmic scales)

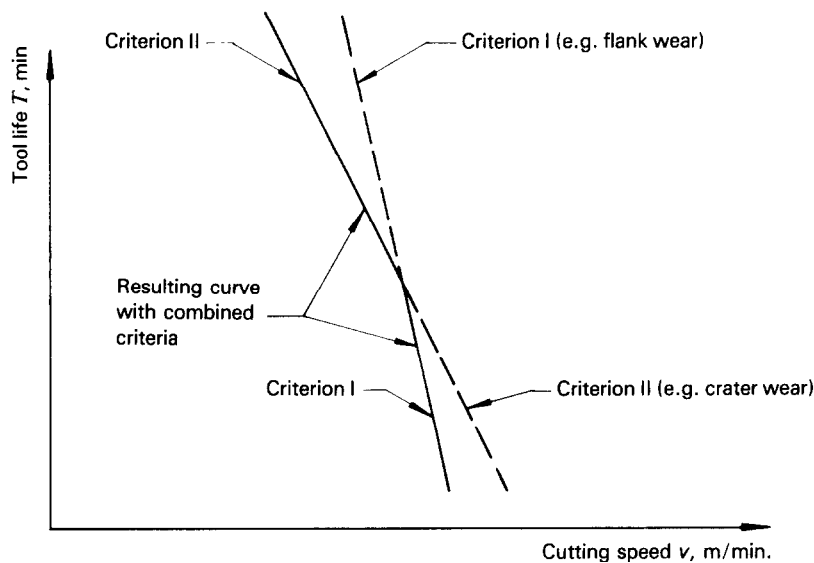


Figure 7 — Set of two vT curves resulting from the use of two different criteria and a “broken” vT curve resulting from the use of combined criteria (logarithmic scales)

10.3.3 Test types C and D

For test type C (see 9.2) the minimum number of data points is seven, obtained in seven test runs. For test type D (see 9.2) the minimum number of data points is nine, obtained in nine test runs.

10.4 Diagrams

Tool deterioration values of any type (see 7.3) obtained in a test run and treated as a group of dependent values from all the edges on the same cutter can be plotted over the effective cutting time (see 9.5). The data points on the curve may be the individual measurement values (see figure 8), the arithmetic mean values (see figure 9) or the maximum and minimum values (see figure 10). The arithmetic mean values and the maximum and minimum values are calculated statistically as described in annex D.

The tool life is obtained from the point or the field of intersection of the curves mentioned above and the horizontal line representing the limiting deterioration value determined as the “tool-life criterion” (see 7.4.1).

Provided that the recommended number of test runs are carried out (see 10.3), the tool life values can be treated statistically so that the mean value, the standard deviation, the maximum and minimum values and the confidence intervals can be calculated.

Figures 8, 9 and 10 show a variety of curves which intersect the tool-life criterion level. It is essential, when plotting tool life against any cutting parameter or when reporting tool-life values, that it is made clear whether tool life is based on the time taken for one edge to reach the limiting value of deterioration, the time taken for all edges to reach the limiting value, the time taken for the average of the values measured on all edges to reach the limiting value or the statistically determined maximum or minimum value.

Tool life values obtained as described above can be plotted against any independent factor, e.g. cutting speed (see 9.2,

types B, C or D), in order to give a vT diagram (see figure 6). It is common to plot vT diagrams with logarithmic scales. The vT curve thus obtained will, under normal conditions, be represented by a straight line. This line should be fitted to the data points in such a manner that the sum of the squares of the vertical distances between the line and the actual points is as small as possible. Experienced personnel may well be capable of constructing a line through the test points “by eye” with sufficient accuracy. Guidance on statistical calculations for this purpose are found in ISO 3685, and other references are given in clause 2.

When varying the cutting conditions in order to obtain tool-life curves as mentioned above, there is a great risk of changing the type of deterioration. Thus it is necessary to note that the straight tool-life curve is relevant over its whole length only if the same tool-life criterion can be used for every combination of cutting data.

10.5 Statistical interpretation

The use of statistical methods in the evaluation of test results from cutting operations needs great care with regard to the number of test values and the quality of the test results. If these demands cannot be met, statistical methods should not be used.

Guidelines for statistical calculations of arithmetical mean values, standard deviations, maximum and minimum values and confidence intervals are given in annex D.

The determination of significant differences between results from two or more cutting conditions is also described as an example in the same annex. The recommended calculation method is based on Student’s t distribution.

Guidelines for the statistical calculations which can be used for determining tool-life diagrams of type B, C or D (see 9.2) are found in ISO 3685 and other references given in clause 2 and in the bibliography.

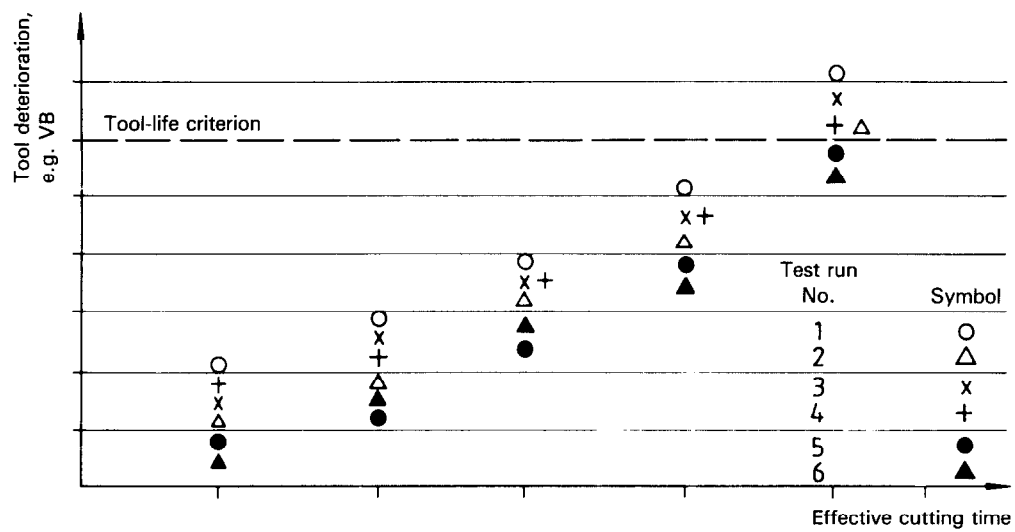


Figure 8 – Tool deterioration values for the individual edges of a milling cutter plotted against cutting time

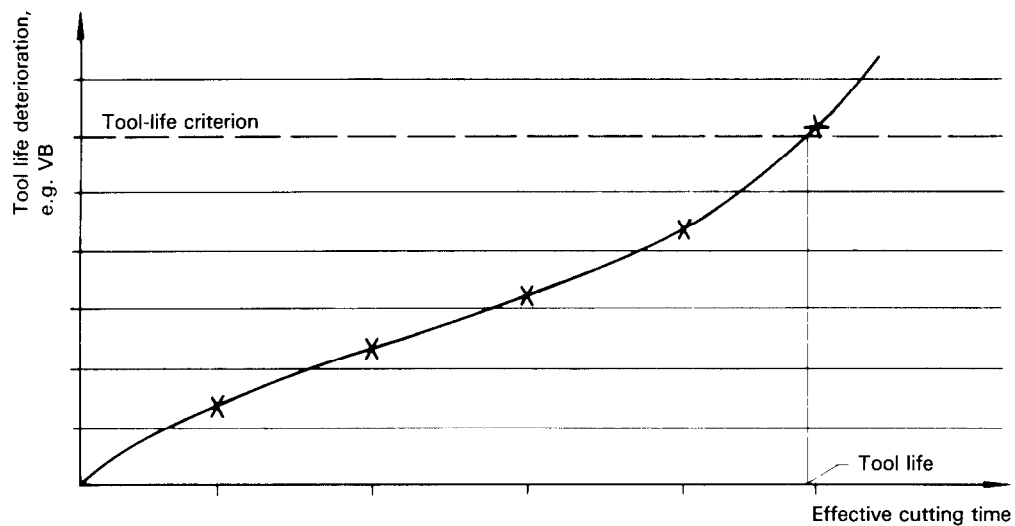


Figure 9 – Arithmetical mean values of tool deterioration plotted against cutting time

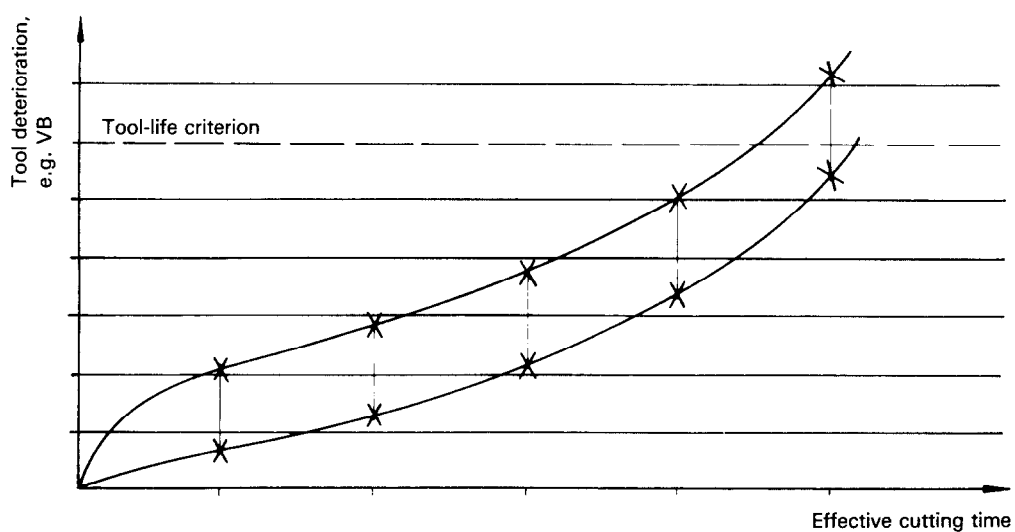


Figure 10 – Maximum and minimum tool deterioration values observed for the 95 % confidence level from measurements on individual edges of a milling cutter plotted against cutting time

Annex A

Reference work materials

(This annex forms an integral part of the standard.)

A.1 Steel

The steel reference material shall be a hot-rolled medium-carbon steel of the following composition corresponding to steel C 45, in conformity with ISO/R 683-3.

| C % | Si % | Mn % | S % | P % |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------|
| 0,42 to 0,50 | 0,15 to 0,40 | 0,50 to 0,80 | 0,02 to 0,035 | 0,035 max. |

It is recommended that a steel of average composition be used if possible.

The presence of the following elements in excess of the maximum values given below shall disqualify the steel as a reference test material :

Ni = 0,20 %

Cr = 0,15 %

Mo = 0,05 %

V = 0,02 %

Cu = 0,20 %

The steel shall be deoxidized with aluminium. The minimum aluminium content shall be 0,01 % and the maximum aluminium content shall be 0,03 %. Special deoxidants shall not be used.

The nitrogen content, which is dependent to some extent on the steel-making process, should be as shown below.

| Process | Nitrogen content % |
|----------------------------------|--------------------------|
| Open hearth or oxygen convertors | 0,003 to 0,006 |
| Arc and single slag | 0,004 to 0,008 |

The steel shall satisfy ISO/R 683-3 delivery condition 1 (chemical analysis only). The limits of the elements and the

deoxidation procedure shall be discussed with the steelmaker and analyses of C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, P, S, V, Cu, Al and N requested at the time of the order.

In order to reduce dispersion of the test results, attempts should be made to obtain materials in which the actual composition is within stricter limits than indicated above.

The microstructure shall be specified and recorded.

The test bars, after being cut to size, shall be normalized to a hardness within the range specified in ISO/R 683-3.

For testing purposes where the work material is not the test variable, it is recommended that the hardness should fall within stricter tolerances than those indicated in ISO/R 683-3. The actual hardness values and points of measurement should be recorded and reported (see 3.1).

A.2 Cast iron

The cast iron reference material shall be supplied in accordance with ISO/R 185, grade 25.

The microstructure throughout the entire volume of each iron test bar shall consist essentially of a matrix of 100 % perlite with flake graphite within the following specifications :

- free iron carbide : 0 %
- free ferrite : 5 % max.
- steadite (iron-iron phosphide eutectic) : 5 % max.
- graphite : flake graphite only
- perlite : balance

For testing purposes where the work material is not the test variable, it is recommended that the hardness values fall within stricter tolerances than those indicated in ISO/R 185. The actual hardness values and points of measurement should be recorded and reported (see 3.1).

Annex B

Tool setting

(This annex forms an integral part of the standard.)

B.1 Introduction

Subclauses 4.5, 9.3.3, 9.3.4 and 9.3.5 give recommendations for mounting the tool and relate to cutting edge runout with the tool mounted on the machine tool spindle. It is usual, however, for face milling cutters to be set up in advance and, therefore, to be serviced in isolation from the machine tool.

The following clauses outline certain recommended procedures for setting up face milling cutters, on the basis of good engineering practice, and should be regarded as minimum requirements. In certain instances, manufacturers' instructions may be more stringent and should be followed to ensure both the accuracy and the good performance of a particular face milling cutter.

B.2 Damage and cleanness

It is essential, prior to any positioning check or resetting of inserts, that the milling cutter body surface which locates on the machine spindle and those surfaces which locate the inserts are thoroughly inspected for burrs and indentations. Any defects of such a nature should be carefully dressed using a fine hone and all resulting debris should be removed so that the body can be mounted on a surface plate or other fixture and the inserts seated properly.

For new tools, all protective coatings should be removed and for used tools all swarf and cutting fluid residues should be removed with the aid of a suitable solvent to ensure positive location on a surface plate or other fixture.

Particular attention shall be paid to the cleanness of screws, screw threads, and slots in the body and corners of any recesses in the cutter body.

B.3 Setting equipment

To check or reset a face milling cutter it is recommended that a surface plate, a dial indicator (graduated to 1/1 000 mm) fitted with a flat anvil and mounted on a rigid stand and torque wrenches be used.

B.4 Body accuracy

With the face milling cutter supported on a surface plate, the accuracy of the tool body should be established using a single "master" insert which is positioned in each insert location in turn, and the axial deviation of the cutting edge position at each insert location is then measured using the dial indicator. For this assessment it is essential that one corner of the "master" insert be labelled and its orientation maintained in each separate location; in addition, it is vital that the magnitude of the clamping force used at each location is the same.

This procedure will establish the variation in insert location surfaces which, for certain styles of cutter, may be adjusted to reduce the variations in insert positioning. For such cutters the clamping force used to fix the locating surfaces should be equal at every insert location and this force should be applied using a torque wrench in accordance with the tool manufacturer's recommended values. Careful cleaning of clamping screws and their mating screw threads prior to coating with a suitable lubricant film will assist the uniformity in clamping force.

In those cases where cutter bodies do not have the facility for insert location adjustment, the variations in insert location surfaces may be reduced by selective mounting of inserts.

B.5 Insert mounting

All inserts for mounting and the insert locations on the cutter body should be cleaned thoroughly prior to the inserts being clamped into position using a "finger-tight" clamping force. In turn, each insert clamp should then be progressively tightened to distribute evenly stresses induced in the cutter body due to clamping until the manufacturer's prescribed torque value has been reached.

Variations in cutting edge position can be determined using a surface plate, dial indicator and stand. In some cases, dependent on the quality of inserts used, the actual deviations in cutting edge position may be minimized by selective mounting such that variations in insert size combined with variations in insert location surfaces virtually cancel one another.

Annex D

Statistical calculations

(This annex forms an integral part of the standard.)

In order to compare the test results from two or more cutting conditions the first step is to determine the arithmetic mean values of the repeated test runs at each test condition. In this annex the symbol x is used to denote the test results. It could represent the tool life T , the number of parts produced U or any other test result.

The arithmetic mean value \bar{x} is obtained by dividing the sum of the results from each test run $\sum_{i=1}^n x_i$ by the number n of test runs :

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$$

The standard deviation s is then calculated as the root-sum-square of all the differences between the individual values x_i from each test run and the mean value \bar{x} , divided by the number of test runs n minus 1.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

The confidence interval, defined as the interval within which further test run results will be located with an assumed probability, is calculated as the arithmetic mean value \bar{x} plus and minus its variation :

$$\bar{x}_{\max} = \bar{x} + t \frac{s}{\sqrt{n - 1}}$$

and

$$\bar{x}_{\min} = \bar{x} - t \frac{s}{\sqrt{n - 1}}$$

where t is a constant obtained from table 6 for the 95 %, 99 % and 99,9 % confidence levels. The t values are dependent on the number of test runs, expressed by the number of degrees of freedom in table 6.

By using the following formula, it can be determined whether there is a significant difference between the results of two test series with different cutting conditions :

$$|t_{\alpha}| = (\bar{x}_A - \bar{x}_B) / \sqrt{\frac{n_A \times s_A^2 + n_B \times s_B^2}{n_A + n_B - 2} \times \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B} \right)}$$

The value $|t_{\alpha}|$ obtained is then compared with the corresponding t value for the actual number of degrees of freedom and the conclusion may be made as to whether a significant difference exists at the confidence level chosen.

The letters A and B indicate the two test series.

The numerical examples illustrate the calculation methods.

Experience has shown that tool life in many cases does not follow the laws of the well-known normal distribution. It is therefore recommended to use the logarithmic values of the test results which in most cases give a normal distribution. This can be checked by the methods described in ISO 2854.

The statistical calculations described are only valid if

- a) the observations are statistically independent;
- b) the tests have been carried out in such a way that no systematic errors are present.

Table 6 – Student's t values for different confidence levels

| Number of degrees of freedom ($n - 1$) or ($n_A + n_B - 2$) | Student's t value | | |
|--|---------------------|------------------|----------------------|
| | Confidence level | | |
| | 95 % | 99 % | 99,9 % |
| 1 | 12,706 | 63,657 | 636,5 |
| 2 | 4,302 7 | 9,925 | 31,60 |
| 3 | 3,182 5 | 5,841 | 12,94 |
| 4 | 2,776 4 | 4,604 | 8,610 |
| 5 | 2,570 6 | 4,032 | 6,859 |
| 6 | 2,446 9 | 3,707 | 5,959 |
| 7 | 2,364 6 | 3,499 | 5,405 |
| 8 | 2,306 0 | 3,355 | 5,041 |
| 9 | 2,262 2 | 3,250 | 4,781 |
| 10 | 2,228 1 | 3,169 | 4,587 |
| 11 | 2,201 0 | 3,106 | 4,437 |
| 12 | 2,178 8 | 3,055 | 4,318 |
| 13 | 2,160 4 | 3,012 | 4,221 |
| 14 | 2,144 8 | 2,977 | 4,140 |
| 15 | 2,131 5 | 2,947 | 4,073 |
| 16 | 2,119 9 | 2,921 | 4,015 |
| 17 | 2,109 8 | 2,898 | 3,965 |
| 18 | 2,100 9 | 2,878 | 3,922 |
| 19 | 2,093 0 | 2,861 | 3,883 |
| 20 | 2,086 0 | | |
| 30 | 2,042 3 | | |
| 40 | 2,021 1 | | |
| 60 | 2,000 3 | | |
| 120 | 1,979 9 | | |
| ∞ | 1,960 0 | | |
| Degree of significance | * | ** | *** |
| | Significant | Well significant | Strongly significant |

Example

| Test run number | Test conditions and results | |
|--|-----------------------------|-------------|
| | A | B |
| n | | |
| 1 | 7,0 | 10,0 |
| 2 | 7,5 | 9,5 |
| 3 | 8,5 | 10,5 |
| 4 | 8,9 | 11,5 |
| 5 | 9,5 | 11,0 |
| 6 | 9,0 | 11,5 |
| Arithmetic mean value $\frac{\sum x_i}{n} = \bar{x}$ | 8,25 | 10,66 |
| Standard deviation s | 0,935 | 0,816 |
| Student's t value t_{95} | 2,571 | 2,571 |
| Confidence interval $\pm t \frac{s}{\sqrt{n-1}}$ | $\pm 1,076$ | $\pm 0,939$ |
| $\bar{x}_{\max} = \bar{x} + t_{95} \frac{s}{\sqrt{n-1}}$ | 9,326 | 11,605 |
| $\bar{x}_{\min} = \bar{x} - t_{95} \frac{s}{\sqrt{n-1}}$ | 7,174 | 9,728 |
| $ t_{\alpha} $ | 4,768 | |

Conclusion : The t_{α} value is greater than t for $(n_A + n_B - 2)$ at the 99 % confidence level. A strongly significant difference exists.

Bibliography

ISO 3, *Preferred numbers — Series of preferred numbers.*

ISO 643, *Steels — Micrographic determination of the ferritic or austenitic grain size.*

ISO 1832, *Indexable inserts for cutting tools — Designation.*

ISO 3534, *Statistics — Vocabulary and symbols.*

ISO 6506, *Metallic materials — Hardness test — Brinell test.*

ISO 6507-1, *Metallic materials — Hardness test — Vickers test — Part 1 : HV 5 to HV 100.*

ISO 6508, *Metallic materials — Hardness test — Rockwell test (scales A — B — C — D — E — F — G — H — K).*

ISO 8688-2, *Tool-life testing of milling tools — Part 2 : End milling.*

LESLIE, R.T. and LORENZ, G. *Comparison of Multiple Regression in Machining Experiments*, Proc. Stl. Int. MTDR Conf., Manchester, Pergamon, Vol. 2, 1967, pp 543-563.

ISO 8688-1 : 1989 (E)

UDC 621.914.02 : 620.169.1

Descriptors : tools, cutting tools, milling cutters, facing cutters, tests, determination, life (durability).

Price based on 27 pages

ANEXO B

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.

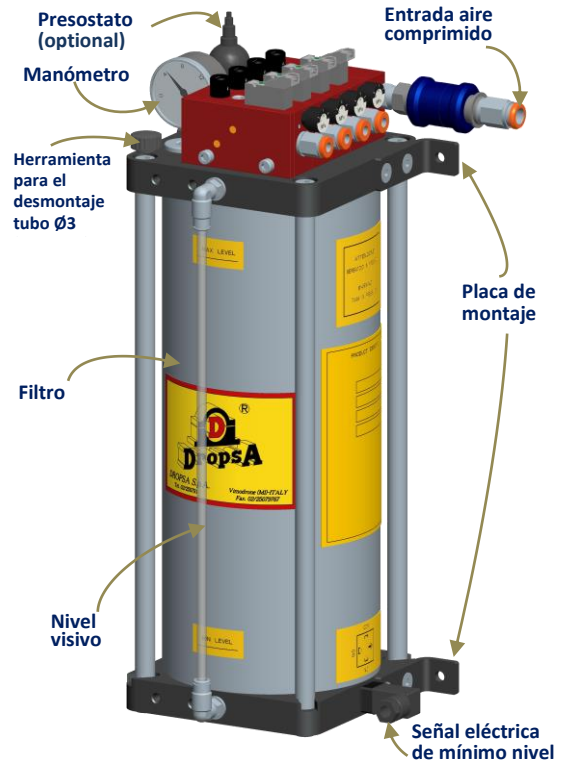
Es posible insertar hasta 8 elementos conectados entre si, que en cualquier momento pueden ser excluidos o activados de forma individual a través de una electroválvula integrada.

FUNCIONAL Y DE FÁCIL USO

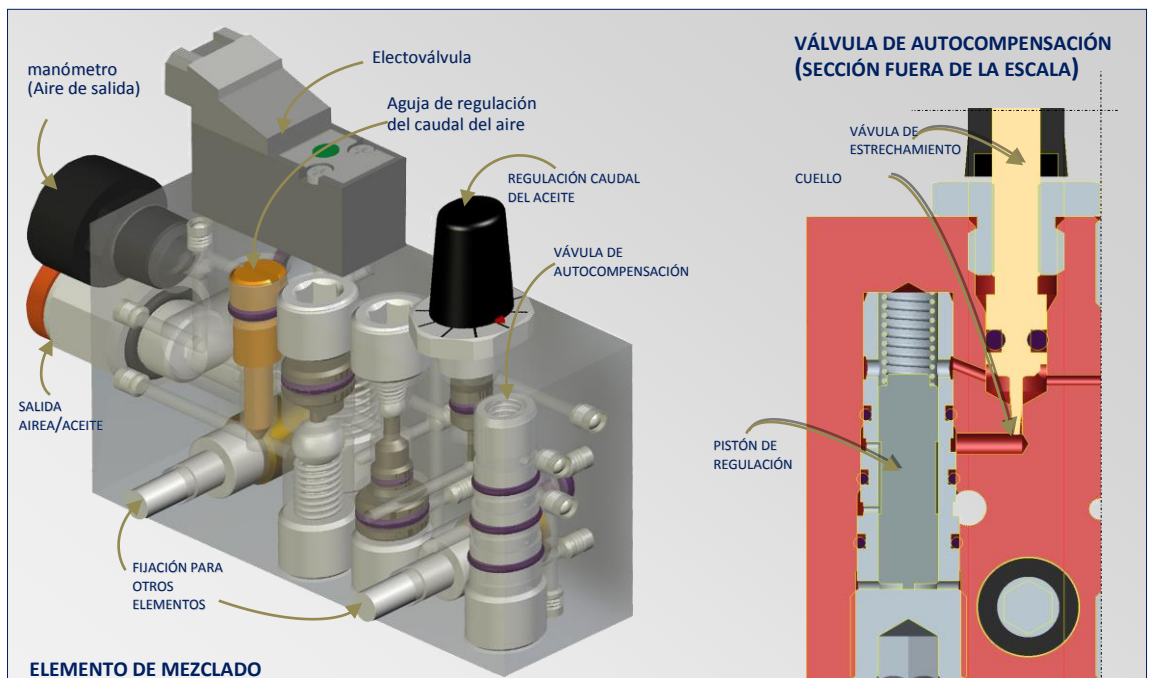
Tanto el caudal de aire como de aceite pueden ser controlados de forma individual en cada elemento.

LIMPIO

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



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



ELEMENTO DE MEZCLADO

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. $\Delta p_{(aceite)} = \text{constante} (\sim 2 \text{ bar}) \Rightarrow Q_{(aceite)} = \text{constante}$

APLICACIONES

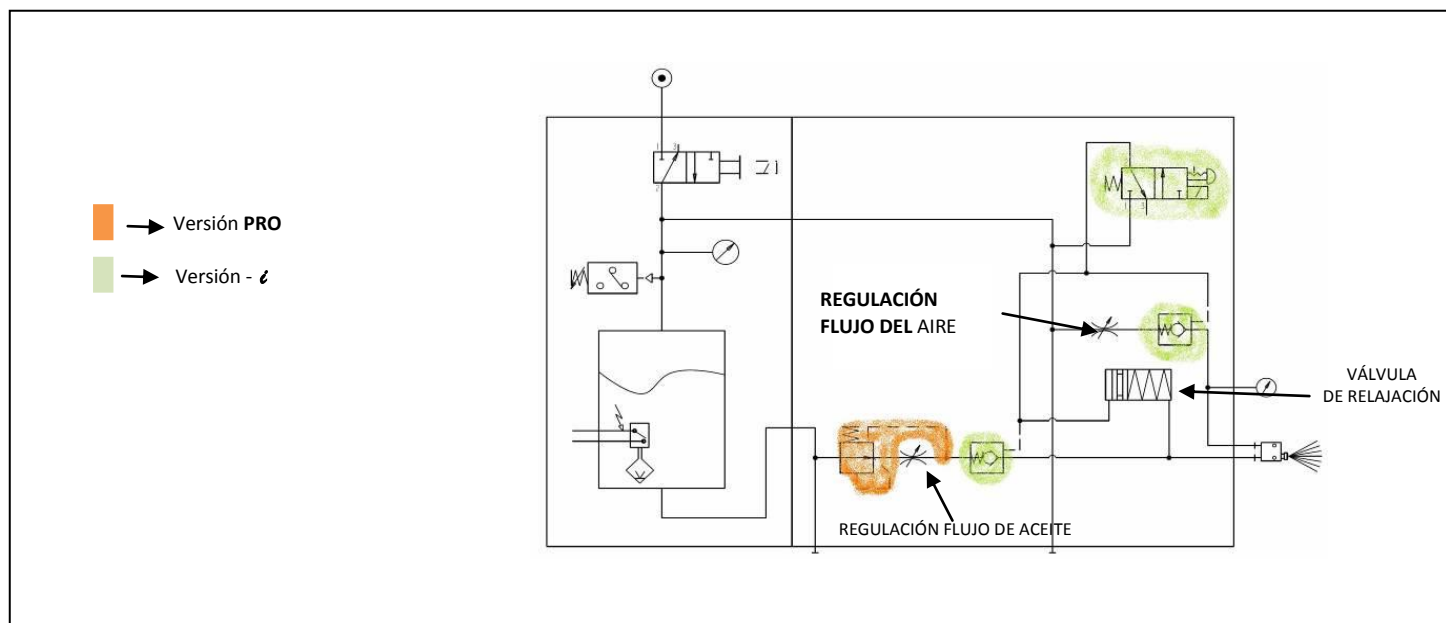
- MÁQUINA HERRAMIENTA
- MÁQUINA PARA CORTE Y DOBLADO DE CHAPA
- ACERIAS

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

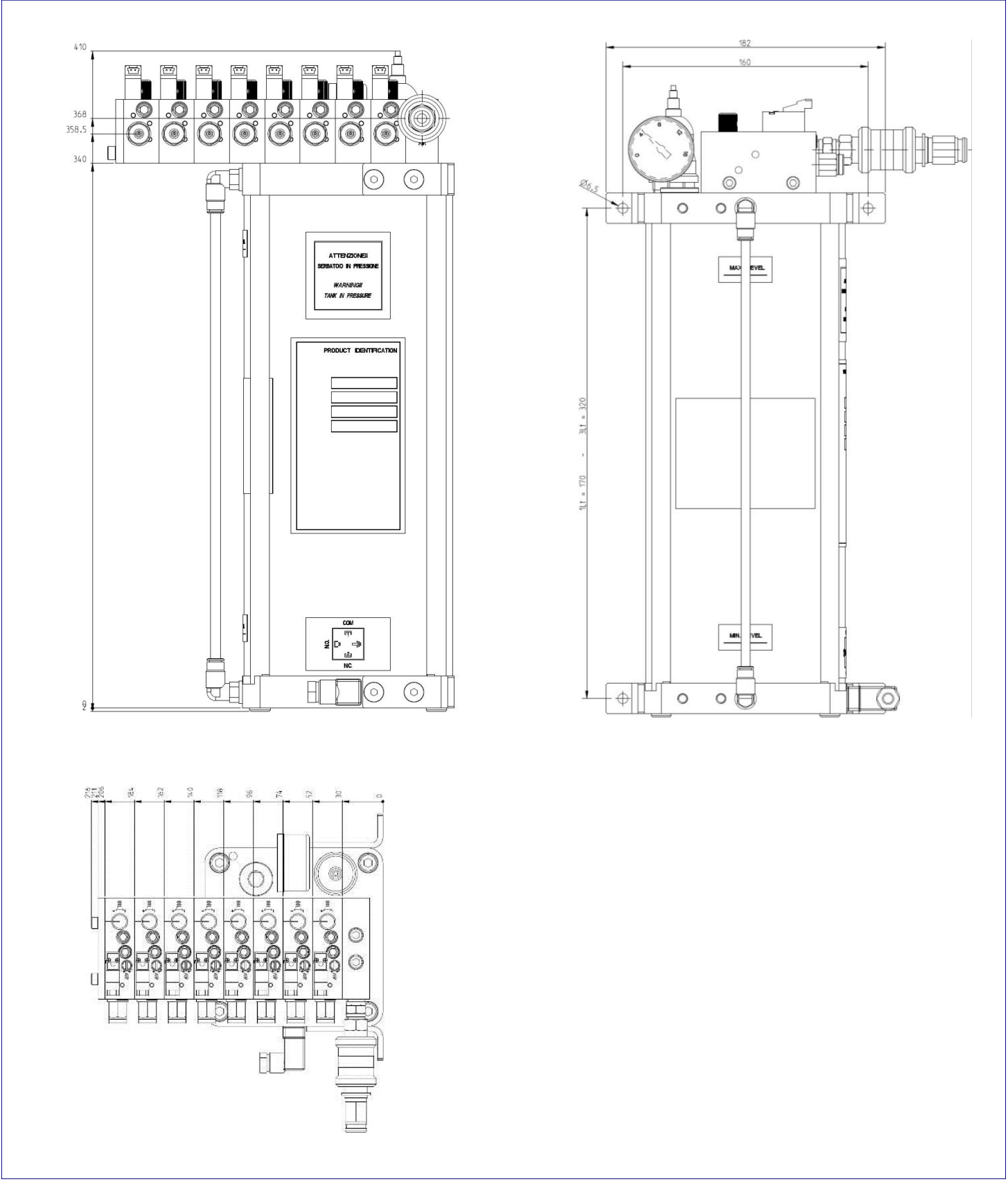
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

| | | |
|--|--|---------------------------------|
| 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 x 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 “-i” | standard | IP 00 |
| | A pedido (especial) | IP 65 |
| Grado de protección del depósito | IP 65 | |
| Tarado del presostato (optional) | 6bar | |
| Carga máxima presostato (optional) | Contacto máxima tensión 250V Máxima potencia 100W | |
| Carga máxima nivel | 0,2A @ 30V | |
| Alimentación electrobomba | 24Vdc | |
| 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 HIDRÁULICO



DIMENSIONES (DISEÑO A ESCALA)



INFORMACIÓN PARA PEDIDO L'ORDINE

| MODELLO | Descripción | Módulos | Ref. No Depósito 1 L | Ref. No 3 L depósito |
|---------------------------------|--|---------|----------------------|----------------------|
| 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 BASE - € IP65 | Sistema mínimo modular Aire/Aceite sin válvula de compensación con válvula solenoide para control independiente Grado de protección 65 | 1 | 3135681 | 3135621 |
| | | 2 | 3135682 | 3135622 |
| | | 3 | 3135683 | 3135623 |
| | | 4 | 3135684 | 3135624 |
| | | 5 | 3135685 | 3135625 |
| | | 6 | 3135686 | 3135626 |
| | | 7 | 3135687 | 3135627 |
| | | 8 | 3135688 | 3135628 |
| 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 |

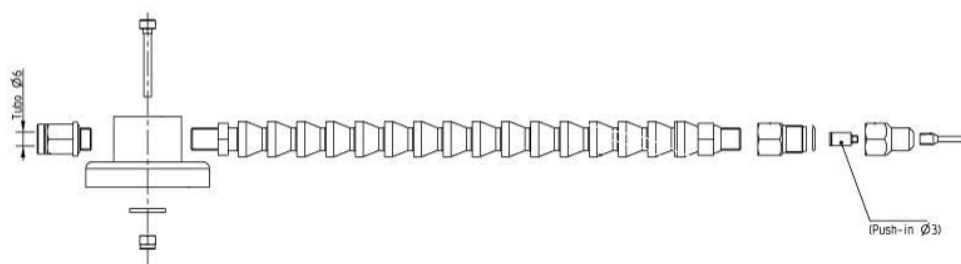
ACCESORIOS

| DESCRIPCIÓN | Part No |
|--|---------|
| Electroválvula entrada de aire | 3133559 |
| Manómetro para modulo salida aire (- i) | 0020694 |
| Conector para la válvula solenoide (- i) con 600mm cable | 1525446 |
| Conector M8 para válvula solenoide (- i) | 1525476 |
| Tubo Ø3 salida aceite | 5717232 |
| Tubo Ø6 salida aire | 5717301 |
| Aceite MK 150 20 lt. | 3226664 |
| Aceite MK 100 25 lt. | 3226665 |
| Aceite MK alto rendimiento 29 lt. | 3226666 |
| Aceite MK para INOX 20 lt | 3225465 |
| Kit tobera coaxial cono LLENO | 3132768 |
| Cono boquilla coaxial | 3133455 |
| Boquilla coaxial a 65° | 3133558 |
| Boquilla solo para tubo | 3133564 |
| Boquilla a 65° solo para tubo | 3133565 |
| Boquilla lubricación para cuchilla 50mm | 1525050 |
| Boquilla lubricación para cuchilla 70mm | 1525051 |
| Herramienta para quitar tubo Ø3 | 1525475 |

REPUESTOS

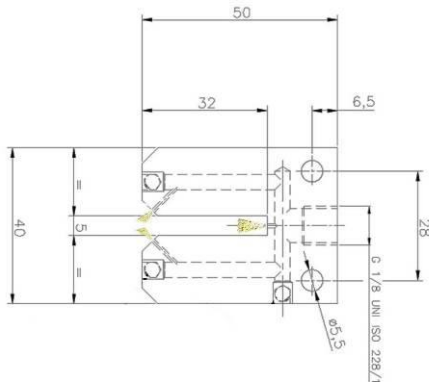
| DESCRIPCIÓN | Part. No |
|---|----------|
| MiQueL PRO- i - Elemento Modular | 1525430 |
| MiQueL PRO - Elemento Modular | 1525440 |
| MiQueL BASE- i - Elemento Modular | 1525450 |
| MiQueL BASE - Elemento Modular | 1525460 |
| MiQueL BASE- i - IP65 - Elemento Modular | 1525456 |
| MiQueL CART- i - Elemento Modular | 1525688 |
| MiQueL CART- i - Sin SV - Elemento Modular | 1525871 |
| MiQueL BASE- i - NO-EV - Elemento Modulare | 1526013 |
| Válvula solenoide (-i) | 1525442 |
| Mínimo nivel eléctrico | 1525431 |
| Conector para mínimo nivel eléctrico | 0039841 |
| Presostato tarado a 6 bar (optional) | 3291028 |
| Manómetro del depósito | 0020566 |

KIT TOBERA COAXIAL CONO LLENO



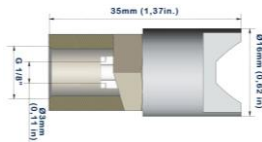
Part. No
3132768

BOQUILLAS PARA LUBRICACION DE LAMINAS



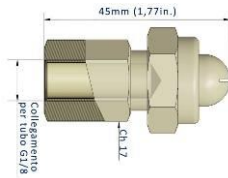
| ENTRADA | SALIDA | ESPESOR LAMINA | CÓDIGO |
|---------|--------|----------------|---------|
| 1 | 3 | 50 mm | 1525050 |
| | | 70 mm | 1525051 |

PULVERIZADOR ROSCA CONICA

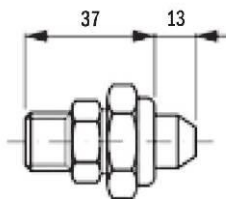


| |
|----------|
| Part. No |
| 3133558 |

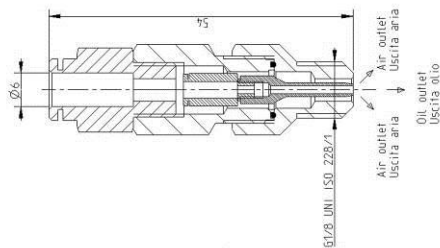
PULVERIZADOR DE LAMINA



| |
|----------|
| Part. No |
| 3133565 |



| |
|----------|
| Part. No |
| 3133564 |



| |
|----------|
| Part. No |
| 3133455 |

ANEXO C



Hoja de Datos de Seguridad - Coolube® 2210XP

Versión 1.0 | Fecha: 02/02/21

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA/MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA

1.1 Identificador del Producto

Nombre del Producto: Coolube® 2210XP
Otro Identificador: Ésteres Mezclados
Uso Recomendado: Lubricante para el trabajo con metales

1.2 Pertinentes Identificados de la Sustancia o Mezcla y Usos Desaconsejados

Usos Identificados: lubricante amigable con el ambiente
Usos Desaconsejados: Ninguno que se conozca

1.3 Detalles del Proveedor de la Hoja de Datos de Seguridad

Nombre de la compañía: UNIST, Inc.
Dirección: 4134 36th Street SE
Grand Rapids, MI 49512
Teléfono: (800) 253.5462 o bien (616) 949.0853
Fax: (616) 949.9503
Correo electrónico: salessupport@unist.com

1.4 Teléfono de Emergencias

Número de emergencias: (800) 253.5462
Horas de Operación: De Lunes a Viernes, 8:30 am - 5:00 pm

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

2.1 Clasificación de la Sustancia o Mezcla

Clasificación de Riesgos de Estados Unidos (29CFR 1910.1200-2012): Este producto no está clasificado como peligroso de acuerdo con el Estándar de Comunicación de Riesgos de OSHA.

Clasificación GHS/CLP DE LA EU (No 1272/2008): No está clasificada como una sustancia peligrosa.

Clasificación GHS:

Riesgo Físico: No está clasificada como una sustancia peligrosa.
Riesgo para la Salud: No está clasificada como una sustancia peligrosa.
Riesgo Ambiental: No está clasificada como una sustancia peligrosa.

2.2 Elementos de la Etiqueta

No se Requiere Etiquetado

Elemento de la Etiqueta GHS

Símbolo de Riesgo: No está clasificada como una sustancia peligrosa.
Palabra de Advertencia: No está clasificada como una sustancia peligrosa.
Frase de Riesgo: No está clasificada como una sustancia peligrosa.
Frase de Precaución: No está clasificada como una sustancia peligrosa.

2.3 Otros Riesgos

PBT: Este producto no está identificado como una sustancia o mezcla PBT.

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

3.1 Sustancia

| Nombre Químico | CAS# | Wt., % |
|---------------------------------------|------------|--------|
| Mezcla de ésteres / ésteres mezclados | Propiedad | >90% |
| Olefina sulfurizada registrada | Propiedad | <5% |
| Metilo de éster | 67784-80-9 | <2% |
| Adipato de diisotridecilo | 36401-35-4 | <2% |

No hay ingredientes peligrosos de acuerdo con los criterios de OSHA. No hay componentes que necesiten revelarse de acuerdo con las regulaciones aplicables.

Vea la Sección 16 para más información sobre la Clasificación UE y GHS.

SECCIÓN 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

4.1 Descripción de las Medidas de Primeros Auxilios

Contacto con los Ojos: Enjuague con agua templada abundante al menos durante 15 minutos. Busque atención médica en caso de irritación.
Contacto con la Piel: Lave con jabón y agua. Busque atención médica en caso de irritación.
Ingestión: Tome cantidades moderadas de agua o leche. No induzca el vómito. Contacte a un médico si se observan reacciones adversas.
Inhalación: Traslade al aire fresco. Obtenga atención médica si persiste la irritación.

4.2 Síntomas/Efectos más Importantes, tanto Agudos como Retardados:

Contacto con los Ojos: Puede haber irritación y enrojecimiento.
Contacto con la Piel: Puede haber irritación leve en la zona de contacto.
Ingestión: Puede haber dolor y enrojecimiento de la boca y la garganta.
Inhalación: Puede haber irritación de la garganta con una sensación de opresión en el pecho.

4.3 Indicación de Atención Médica Inmediata y Tratamiento Especial Requerido:

Tratamiento Inmediato/Especial: No es aplicable. No se requiere tratamiento inmediato.

SECCIÓN 5: MEDIDAS EN CASO DE INCENDIO

5.1 Medios de Extinción:

Use neblina/aspersión de agua, polvo químico seco, dióxido de carbono, espuma, arena/tierra, use aspersión de agua para enfriar los contenedores.

5.2 Riesgos Especiales originados por la Sustancia o Mezcla

Riesgos Inusuales de Incendio y Explosión:

No se considera inflamable pero arderá bajo condiciones de fuego. Durante la combustión, emite vapores tóxicos de dióxido de carbono/monóxido de carbono.

5.3 Acciones Especiales de Protección para Bomberos:

Procedimientos Especiales en Caso de Incendio:

Trátese como un incendio causado por aceite o grasa. No use chorro fuerte de agua. El material ardiendo puede flotar o salpicar el área circundante y difundir el fuego. Enfríe con agua los contenedores expuestos al fuego.

Equipo contra Incendios:

Como en todo incendio, use equipo de respiración autónoma de presión positiva y equipo de protección completo.

SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE ESCAPE ACCIDENTAL

6.1 Precauciones Personales, Equipo de Protección y Procedimientos de Emergencia

Precauciones Personales:

Refiérase a la sección 8 de la SDS para detalles de protección personal. Ponga los contenedores con fuga con el lado que tiene fuga hacia arriba para evitar que se escape el líquido.

6.2 Precauciones Ambientales

Precauciones Ambientales:

No descargue en drenajes o ríos. Contenga el derrame usando diques de contención. Reporte los derrames y escapes según se requiera a las autoridades pertinentes.

6.3 Métodos y Material para Contención y Limpieza

Derrames Pequeños:

Detenga el derrame en la fuente, haga un dique en el área de derrame para evitar que se disperse. Absorba el líquido con un material absorbente y póngalo en un contenedor de desechos. Lave el área con agua jabonosa caliente. Tenga precaución. El área de derrame será resbaladiza.

Derrames Grandes:

Detenga el derrame en la fuente, haga un dique en el área de derrame para evitar que se disperse. Bombee el líquido a un tanque de recuperación. Absorba el líquido restante con un material absorbente y póngalo en un contenedor de desechos. Lave los pisos con agua jabonosa caliente para evitar resbalones. Tenga precaución. El área de derrame será resbaladiza.

SECCIÓN 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

7.1 Precauciones para un Manejo Seguro

Requerimientos para el Manejo: Evite la formación de neblina. Use con la ventilación adecuada. Evite el contacto con los ojos. Use el equipo de protección personal recomendado. Lávese a conciencia después del manejo. Mantenga el producto lejos de calor, chispas y flamas. Mantenga los contenedores cerrados cuando no estén en uso. No use presión para vaciar los bidones. Si el material está caliente, tome sus precauciones contra quemaduras térmicas.

7.2 Condiciones para el Almacenamiento Seguro, Incluyendo Incompatibilidades

Empaque Adecuado: Tanques de gran volumen resistentes a la corrosión, IBC, bidones de acero. Almacene en un área seca lejos de calor o chispas y luz solar directa. Mantenga una buena ventilación en el área de almacenamiento.

Condiciones de Almacenamiento: Temperatura de almacenamiento +41°F (+5°C) a +104°F (+40°C). Almacene en contenedor cerrado, preferentemente como se entregó. Mantenga los contenedores cerrados cuando no estén en uso. La estabilidad de almacenamiento es de al menos 12 meses. Para el almacenamiento son adecuados los bidones de acero recubiertos o sin recubrir.

SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

8.1 Parámetros de Control:

| Nombre Químico | Límites de Exposición |
|-------------------|-----------------------|
| Mezcla de Ésteres | No están establecidos |

DNEL/PNEC: No hay datos disponibles

8.2 Controles de Ingeniería Apropriados

Medidas de Ingeniería: Debe minimizarse la exposición preferentemente con medidas técnicas en lugar de equipo de protección personal. Asegúrese de que haya suficiente ventilación del área.

8.3 Protección Individual

Medidas de Protección Respiratoria: No es necesaria en un uso normal. Una situación de emergencia donde exista el riesgo de exposición a neblina o vapores puede requerir el uso de protección respiratoria. Filtro de gas/vapor, tipo A: vapores orgánicos (EN141). Siga las regulaciones aplicables y las buenas prácticas de higiene industrial.

Protección de Manos/Piel: Se recomiendan guantes impermeables (por ejemplo, guantes de neopreno, PCV o hule). Use guantes de protección térmica recubiertos para manejar material caliente. Protección de los Ojos: Se recomiendan anteojos de seguridad para químicos de ser necesario para evitar el contacto con los ojos.

| | |
|--|--|
| Protección de los Ojos: | Se recomiendan anteojos de seguridad para químicos de ser necesario para evitar el contacto con los ojos. |
| Ropa de Protección: | Use un uniforme de trabajo o un traje tyvek de ser necesario para evitar la contaminación de la ropa personal. Use ropa de protección térmica al trabajar con material caliente. |
| Prácticas de Higiene en el Trabajo: | Quítese la ropa contaminada y lávela o póngala en una instalación de desechos aprobada. Lávese las manos con jabón y agua después de manejar el producto o ropa que contenga residuos. |

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información sobre Propiedades Físicas y Químicas Básicas

| | |
|---|--|
| Estado Físico: | Líquido de baja viscosidad |
| Viscosidad, 104°F (40°C) | Viscoso |
| Apariencia: | Amarillo |
| Olor: | Característica |
| Valor de pH: | No está determinado /no es aplicable |
| Punto de Inflamación: | (Copa Abierta): >400°F (COC), >200°C |
| Punto de congelación: | <23°F (<-5°C) |
| Punto de Ebullición: | >392°F (>200°C) |
| Autoinflamabilidad: | >752°F (>400°C) |
| Temperatura de Autoignición: | No está determinada |
| Intervalo de Exposición: | No es aplicable |
| Presión de Vapor: | <1 mmHg @ 77°F (25°C) |
| Densidad de Vapor: | Mayor a 1 |
| Gravedad Específica: | 0.93 @ 77°F (25°C) |
| Punto de Fusión: | No está determinado |
| Solubilidad en Agua: | Insoluble |
| También Solvente en: | Soluble en la mayoría de los solventes orgánicos |
| Velocidad de Evaporación: | Nil (nula) |
| Porcentaje de volatilidad: | No está determinado |
| Coefficiente de Partición, N-octanol/Agua: | No está determinado |
| Propiedades Explosivas: | Ninguna |
| Límites de Inflamabilidad: LEL: | No está determinado |
| Límites de Inflamabilidad: UEL: | No está determinado |
| Inflamabilidad (Sólido/Gas): | No es aplicable |
| Temperatura de Descomposición: | No está determinado |
| Propiedades de Oxidación: | Ninguna |

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

| | |
|---|--|
| 10.1 Reactividad: | No es reactivo. Estable bajo las condiciones de transporte y almacenamiento recomendadas. |
| 10.2 Estabilidad Química: | Estable bajo condiciones normales. |
| 10.3 Posibilidad de Reacciones Peligrosas: | No ocurrirán reacciones peligrosas bajo condiciones normales de transporte y almacenamiento. La reacción con oxidantes fuertes puede generar calor y causar incendios. |

10.4 Condiciones que se Deben Evitar: Mantenga lejos del calor, chispas, flamas y otras fuentes de ignición. Evite el contacto con ácidos.

10.5 Materiales Incompatibles

Materiales que se Deben Evitar: Agentes oxidantes fuertes, ácidos fuertes.

10.6 Productos de Descomposición Peligrosos:

Productos de Descomposición Peligrosos: Durante la combustión, emite vapores tóxicos de dióxido de carbono/monóxido de carbono. No hay productos de combustión cancerígenos.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1 Información sobre Efectos Toxicológicos

Valores de Toxicidad:

| Ruta | Especies | Prueba | Valor | Unidades |
|------|----------|--------|-------|----------|
| ORAL | RATA | LD50 | >5000 | mg/kg |

11.2 Síntomas/Rutas de Exposición

Contacto con la Piel: Puede haber irritación leve en la zona de contacto.

Absorción por la Piel: No hay evidencia de efectos adversos en la información disponible.

Ingestión: Puede haber dolor y enrojecimiento de la boca y la garganta. Puede causar molestia gastrointestinal si se ingiere en grandes cantidades.

Inhalación: Los vapores, neblinas o aerosoles que pueden formarse a temperaturas elevadas pueden ser irritantes para los ojos y las vías respiratorias.

Toxicidad Crónica: No se esperan efectos adversos.

Efectos Retardados/Inmediatos: No hay datos disponibles.

Corrosión/Irritación de la Piel: No se espera que sea irritante.

Daño/Irritación de los Ojos: Ligeramente irritante.

Sensibilización de la Piel: No se espera que sea sensibilizante.

Sensibilización respiratoria: No hay datos disponibles.

Mutagenicidad: No es mutagénico.

Estado Carcinógeno: No hay datos disponibles. Ninguno de los componentes de este producto está listado como carcinógeno por OSHA, IARC, NTP, ACGIH o por la Directiva de Sustancias Peligrosas de La Unión Europea.

| | |
|---|---|
| Toxicidad para la Reproducción: | No hay datos disponibles. No se esperan efectos adversos. |
| STOT - Una Sola Exposición: | No hay datos disponibles. |
| STOT - Exposición Repetida: | No hay datos disponibles. |
| Riesgo de Exposición por Aspiración: | No hay datos disponibles. |

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

| | |
|---|--|
| <u>12.1 Toxicidad:</u> | No hay datos específicos disponibles. No se espera que sea tóxico para organismos acuáticos. |
| <u>12.2 Persistencia y Degradabilidad:</u> | El producto no se degrada fácilmente. |
| <u>12.3 Potencial Bioacumulativo:</u> | No hay potencial bioacumulativo. |
| <u>12.4 Movilidad en suelo:</u> | El producto es insoluble en agua. |
| <u>12.5 Resultados de la evaluación PBT y vPvB</u> | |
| Identificación PBT: | Este producto no está identificado como una sustancia PBT. |
| <u>12.6 Otros Efectos Adversos:</u> | Ecotoxicidad despreciable. |

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES PARA SU ELIMINACIÓN

13.1 Métodos de Tratamiento de Desechos

| | |
|------------------------------------|---|
| Operaciones de Eliminación: | Transfiera a un contenedor adecuado y use los servicios de una compañía especializada para su eliminación. Deseche de acuerdo con todas las leyes y regulaciones ambientales nacionales aplicables. |
| Eliminación del Empaque: | Use los servicios de una compañía especializada para su eliminación. |
| NB: | el usuario debe estar atento a la posible existencia de regulaciones regionales o nacionales con respecto a la eliminación. |
| Comentarios Generales: | Es responsabilidad del usuario de este producto caracterizar los desechos generados para determinar si éstos cumplen con la definición de residuos peligrosos. No se deshaga del producto a través de lavabos, drenajes o tirándolo directamente al medioambiente. Obtenga el permiso de las autoridades de control de contaminación antes de descargar a las plantas de tratamiento de aguas residuales. |
| Código de Residuos EWC: | EWC: 130208 otros aceites de motor, de transmisión mecánica y lubricantes. |

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

14.1 Transporte por Tierra (DOT/ADR/RID)

Número UN: No está clasificado como un bien peligroso bajo la regulación de transporte.
Nombre de Embarque Correcto UN: No es aplicable.
Clase de Riesgo de Transporte: No es peligroso.
Grupo de Empaque: No es aplicable.

14.2 Transporte por Mar (Código IMDG)

Número UN: No está clasificado como un bien peligroso bajo la regulación de transporte.
Nombre de Embarque Correcto UN: No es aplicable.
Clase de Riesgo de Transporte: No es peligroso.
Grupo de Empaque: No es aplicable.

14.3 Transporte por Aire (IATA)

Número UN: No está clasificado como un bien peligroso bajo la regulación de transporte.
Nombre de Embarque Correcto UN: No es aplicable.
Clase de Riesgo de Transporte: No es peligroso.
Grupo de Empaque: No es aplicable.

14.4 Transporte por Canales y Ríos (IATA)

Número UN: No está clasificado como un bien peligroso bajo la regulación de transporte.
Nombre de Embarque Correcto UN: No es aplicable.
Clase de Riesgo de Transporte: No es peligroso.
Grupo de Empaque: No es aplicable.

14.5 Transporte a Granel (Anexo II de MARPOL 73/78 y el Código IBC)

Nombre del Producto: No es aplicable.
Tipo de Barco: No es aplicable.
Categoría de Contaminación: No es aplicable.

14.6 Precauciones Especiales para el Usuario:

Ninguna

14.7 Transporte a Granel de Acuerdo con el Anexo II de MARPOL 73/78 y el Código IBC:

No es aplicable.

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGULADORA**15.1 Regulaciones/Legislación de Seguridad, Salud y Ambiente Específicas para la Sustancia o Mezcla**

Referencias (Leyes/Regulaciones): Las regulaciones sobre Generadores de aerosoles (Requerimientos EEC) (Enmienda) 1996. (S.I 1996 No. 2421). Regulación (EC) No 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo del 18 de diciembre de 2006 con respecto al Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas (REACH, por sus siglas en inglés) que establece una Agencia Europea de Sustancias Químicas, que enmienda la Directiva 1999/45/EC y revoca la regulación del Consejo (EEC) No 793/93 y la Regulación de la Comisión (EC) No 1488/94 así como la Directiva del Consejo 76/769/EEC y las Directivas de la Comisión 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC y 2000/21/EC, incluyendo enmiendas. Directiva de Sustancias Peligrosas 67/548/EEC. EH40/2005, Límites de exposición en el lugar de trabajo 2005, con enmiendas. La lista de residuos FLME 1254 Página 4 de 5. Regulaciones (Inglaterra) (Enmienda) 2005. (SI 2005 No. 895).

Símbolos: Ninguno.
Frases de Riesgo: Ninguno.
Frases de Seguridad: Ninguno.

No se requiere etiquetado de acuerdo con las regulaciones de la Unión Europea.

La Ley de Reautorización y Enmiendas de Superfund (SARA) de 1986 título III requiere la presentación de reportes anuales de sustancias químicas tóxicas que aparecen en 40 CFR 372 (SARA 313). Esta información debe ser incluida en todas las SDS que sean copiadas y distribuidas para este material. Los componentes presentes en el producto a un nivel en el que podrían requerir reporte bajo el estatuto son: Ninguno.

Proposición 65 de California: no se sabe que este producto contenga sustancias químicas reguladas por la Proposición 65.

15.2 Evaluación de Seguridad de Sustancias Químicas

Evaluación de Seguridad de Sustancias Químicas
Realizada: No
CSR Requerido: No

SECCIÓN 16: OTRA INFORMACIÓN**16.1 Otra Información:**

Esta hoja de datos de seguridad se preparó de acuerdo con la Regulación de la Comisión (UE) No. 453/2010.

Coolube® 2210XP es un aceite limpio para trabajo con metales, con propiedades superiores de lubricación. El producto está basado en aceites vegetales y ésteres naturales, y debe usarse sin diluir, por ejemplo, en aplicadores de lubricación mínima. Este producto (o componentes, si se trata de una mezcla) no fue encontrado como carcinógeno o carcinógeno potencial por IARC, no está listado en el tercer reporte anual NTP; ni está regulado por OSHA como carcinógeno.

Aviso Legal:

La información aquí contenida ha sido recogida de fuentes que la compañía considera de buena fe como dignas de confianza, y es precisa y confiable a nuestro leal saber y entender. Sin embargo, la compañía no puede dar garantía o declaración alguna con respecto a la exactitud o a la integridad de los datos, y no asume responsabilidad alguna por obligaciones o daños relacionados con los mismos o por aconsejarle con respecto a la protección de sus empleados, clientes u otros. Los usuarios deben hacer sus propias pruebas para determinar la aplicabilidad de dicha información o la idoneidad de todo producto de uso específico.

Clasificación HMIS:

Salud: 0
Inflamabilidad: 1
Riesgo Físico: 0

Clasificación NFPA:

Salud: 0
Incendio: 1
Reactividad: 0

Clases y Frases de Riesgo de la UE para Referencia (Vea las Secciones 2 y 3):

Ninguna.

ANEXO D

Titanium Oxide (TiO₂) Nanopowder / Nanoparticles

US Research Nanomaterials, Inc. www.us-nano.com

SAFTY DATA SHEET

Revised Date 1/19/2023

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

1.1 Product identifiers

Product name: Titanium Oxide (TiO₂) Powder
Titanium Oxide (TiO₂) CAS#: 13463-67-7

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Research

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company: [US Research Nanomaterials, Inc.](http://www.us-nano.com) 3302 Twig Leaf Lane
Houston, TX 77084
USA

Telephone: +1 832-460-3661 Fax: +1 281-492-8628

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : (832) 359-7887

2. HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture

GHS Classification in accordance with 29 CFR 1910 (OSHA HCS)
Eye irritation (Category 2A), H319
Specific target organ toxicity - single exposure (Category 3), Respiratory system, H335 For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

2.2 GHS Label elements, including precautionary statements

Pictogram



Signal word

Warning

Hazard statement(s)

H319 Causes serious eye irritation. H335 May cause respiratory irritation.

Precautionary statement(s)

P261 Avoid breathing dust/ fume/ gas/ mist/ vapours/ spray.

P264 Wash skin thoroughly after handling.

P271 Use only outdoors or in a well-ventilated area.

P280 Wear protective gloves/ eye protection/ face protection.
P304 + P340 IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.

P305 + P351 + P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.
P312 Call a POISON CENTER or doctor/ physician if you feel unwell.
P337 + P313 If eye irritation persists: Get medical advice/ attention.

P403 + P233 Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed. P405 Store locked up.
P501 Dispose of contents/ container to an approved waste disposal plant.

2.3 Hazards not otherwise classified (HNOC) or not covered by GHS None

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.1 Substances

Synonyms : Titanium Oxide (TiO₂) Powder Titanium Oxide (TiO₂) CAS#: 13463-67-7

Hazardous components

Component: Titanium Oxide (TiO₂) Powder Classification: Eye Irrit. 2A; STOT SE 3; H319, H335

Concentration:

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

4. FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

General advice

Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance. Move out of dangerous area.

If inhaled

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician. In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact

Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

The most important known symptoms and effects are described in the labeling (see section 2.2) and/or in section 11

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

no data available

5. FIREFIGHTING MEASURES 5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

The product is not flammable

5.3 Advice for firefighters

Wear self contained breathing apparatus for firefighting if necessary.

5.4 Further information

no data available

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Use personal protective equipment. Avoid dust formation. Avoid breathing vapors, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas. Avoid breathing dust. For personal protection see section 8.

6.2 Environmental precautions

Do not let product enter drains.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up

Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections

For disposal see section 13.

7. HANDLING AND STORAGE

7.1 Precautions for safe handling

Avoid contact with skin and eyes. Avoid formation of dust and aerosols. Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed. For precautions see section 2.2.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

7.3 Specific end use(s)

Apart from the uses mentioned in section 1.2 no other specific uses are stipulated

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

8.1 Control parameters

Components with workplace control parameters

Contains no substances with occupational exposure limit values.

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls

Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday.

Personal protective equipment

Eye/face protection

Safety glasses with side-shields conforming to EN166 Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection

For any handling steps where the substance is in particulate form or in a suspension with pure water where the substance is not solubilized, the gloves must be comprised of material that successfully passes ASTM F-1671. For any handling steps where the substance is part of a carrier liquid, other than the aqueous suspension noted in the previous paragraph, gloves must be comprised of material that successfully passes ASTM F-739 (continuous liquid contact method). Gloves must be changed before they show degradation and before the designated breakthrough time for the carrier liquid (as determined by the ASTM F-739 testing or by the manufacturer). Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

Body Protection

Impervious clothing, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection

The EPA mandates the use of full face respirators with minimum N100 grade cartridges if there is any risk of exposure to the dust. For nuisance exposures use type P95 (US) or type P1 (EU EN 143) particle respirator. For higher level protection use type OV/AG/P99 (US) or type ABEK-P2 (EU EN 143) respirator cartridges. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

Control of environmental exposure

Do not let product enter drains.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1 Information on basic physical and chemical properties

a) Appearance: Powder b) Odor: Odorless

c) Odor Threshold: no data available

d) pH: no data available

e) Melting point/freezing point: 1830 °C

f) Initial boiling point and boiling range: 2500 °C g) Flash point: no data available

h) Evaporation rate: no data available

i) Flammability (solid, gas): no data available

j) Upper/lower flammability or explosive limits: no data available k) Vapor pressure: no data available

l) Vapor density: no data available

m) Relative density: 4.23

n) Water solubility: insoluble

o) Partition coefficient - noctanol/water: no data available

p) Auto-ignition temperature: no data available

q) Decomposition temperature: no data available

r) Viscosity: no data available

s) Explosive properties: no data available

t) Oxidizing properties: no data available

9.2 Other safety information

no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

10.1 Reactivity

no data available

10.2 Chemical stability

Stable under recommended storage conditions.

10.3 Possibility of hazardous reactions

no data available

10.4 Conditions to avoid

no data available

10.5 Incompatible materials

Strong oxidizing agents

10.6 Hazardous decomposition products

Other decomposition products - no data available In the event of fire: see section 5

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on toxicological effects Acute toxicity

no data available

Inhalation: no data available

Dermal: no data available

Skin corrosion/irritation

no data available

Serious eye damage/eye irritation

no data available

Respiratory or skin sensitization

no data available

Germ cell mutagen city

no data available

Carcinogenicity

no data available

Reproductive toxicity

no data available

Specific target organ toxicity - single exposure

Inhalation - May cause respiratory irritation.

Specific target organ toxicity - repeated exposure

no data available

Aspiration hazard

no data available

Additional Information

RTECS: Not available

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

12.ECOLOGICAL INFORMATION

12.1 Toxicity

no data available

12.2 Persistence and degradability

no data available

12.3 Bioaccumulative potential

no data available

12.4 Mobility in soil

no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

PBT/vPvB assessment not available as chemical safety assessment not required/not conducted

12.6 Other adverse effects

no data available

| |
|---|
| <p>13.DISPOSAL CONSIDERATIONS</p> <p>13.1 Waste treatment methods Product Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. Contaminated packaging Dispose of as unused product.</p> |
| <p>14.TRANSPORT INFORMATION</p> <p>DOT (US) Not dangerous goods</p> <p>IMDG Not dangerous goods</p> <p>IATA Not dangerous goods</p> |
| <p>15.REGULATORY INFORMATION</p> <p>SARA 302 Components SARA 302: No chemicals in this material are subject to the reporting requirements of SARA Title III, Section 302. SARA 313 Components SARA 313: This material does not contain any chemical components with known CAS numbers that exceed the threshold (De Minimis) reporting levels established by SARA Title III, Section 313. SARA 311/312 Hazards</p> |
| <p>16.OTHER INFORMATION</p> <p>Full text of H-Statements referred to under sections 2 and 3.</p> <p>Eye Irrit. Eye irritation H319 Causes serious eye irritation. H335 May cause respiratory irritation. STOT SE Specific target organ toxicity - single exposure HMIS Rating Health hazard: 1 Flammability: 0 Physical Hazard 0</p> |

NFPA Rating

Health hazard: 1
Fire Hazard: 0
Reactivity Hazard: 0
Further information

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product.

Employers should use this information only as a supplement to other information gathered by them, and should make independent judgment of suitability of this information to ensure

proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

Alumina / Aluminum Oxide (Al₂O₃) Nanopowder

US Research Nanomaterials, Inc. www.us-nano.com

SAFETY DATA SHEET

Revised Date 12/15/2022

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

1.1 Product identifiers

Product name: Aluminum Oxide (Al₂O₃) Powder
Aluminum Oxide (Al₂O₃) CAS#: 1344-28-1

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Research

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company: [US Research Nanomaterials, Inc.](http://www.us-nano.com) 3302 Twig Leaf Lane
Houston, TX 77084
USA

Telephone: +1 832-460-3661 Fax: +1 281-492-8628

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : (832) 359-7887

2. HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture

GHS Classification in accordance with 29 CFR 1910 (OSHA HCS)

Eye irritation (Category 2A), H319

Respiratory system, H335

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

2.2 GHS Label elements, including precautionary statements

Pictogram



Signal word

Warning

Hazard statement(s)

H319 Causes serious eye irritation. H335 May cause respiratory irritation.

Precautionary statement(s)

P261 Avoid breathing dust/ fume/ gas/ mist/ vapors/ spray.

P264 Wash skin thoroughly after handling.

P271 Use only outdoors or in a well-ventilated area.

P280 Wear protective gloves/ eye protection/ face protection.

P304 + P340 IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.

P305 + P351 + P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.

P312 Call a POISON CENTER or doctor/ physician if you feel unwell.

P337 + P313 If eye irritation persists: Get medical advice/ attention.

P403 + P233 Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed. P405 Store locked up.

P501 Dispose of contents/ container to an approved waste disposal plant.

2.3 Hazards not otherwise classified (HNOC) or not covered by GHS None

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS 3.1 Substances

Aluminum Oxide (Al₂O₃) CAS#: 1344-28-1

Hazardous components

Component: Aluminum Oxide (Al₂O₃) Powder

Classification: Eye Irrit. 2A; STOT SE 3;

H319, H335

For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.

4. FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

General advice

Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance. Move out of dangerous area.

If inhaled

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician. In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact

Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

The most important known symptoms and effects are described in the labeling (see section 2.2) and/or in section 11

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

no data available

5. FIREFIGHTING MEASURES

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media

Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

The product is not flammable

5.3 Advice for firefighters

Wear self contained breathing apparatus for firefighting if necessary.

5.4 Further information

no data available

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Use personal protective equipment. Avoid dust formation. Avoid breathing vapors, mist or gas. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas. Avoid breathing dust. For personal protection see section 8.

6.2 Environmental precautions

Do not let product enter drains.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up

Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections

For disposal see section 13.

7. HANDLING AND STORAGE

7.1 Precautions for safe handling

Avoid contact with skin and eyes. Avoid formation of dust and aerosols. Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed. For precautions see section 2.2.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Keep container tightly closed in a dry and well-ventilated place.

7.3 Specific end use(s)

Apart from the uses mentioned in section 1.2 no other specific uses are stipulated

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

8.1 Control parameters

Components with workplace control parameters
Contains no substances with occupational exposure limit values.

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls
Handle in accordance with good industrial hygiene and safety practice. Wash hands before breaks and at the end of workday.
Personal protective equipment
Eye/face protection
Safety glasses with side-shields conforming to EN166 Use equipment for eye protection

tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection

For any handling steps where the substance is in particulate form or in a suspension with pure water where the substance is not solubilized, the gloves must be comprised of material that successfully passes ASTM F-1671. For any handling steps where the substance is part of a carrier liquid, other than the aqueous suspension noted in the previous paragraph, gloves must be comprised of material that successfully passes ASTM F-739 (continuous liquid contact method). Gloves must be changed before they show degradation and before the designated breakthrough time for the carrier liquid (as determined by the ASTM F-739 testing or by the manufacturer). Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

Body Protection

Impervious clothing, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection

The EPA mandates the use of full face respirators with minimum N100 grade cartridges if there is any risk of exposure to the dust. For nuisance exposures use type P95 (US) or type P1 (EU EN 143) particle respirator. For higher level protection use type OV/AG/P99 (US) or type ABEK-P2 (EU EN 143) respirator cartridges. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

Control of environmental exposure

Do not let product enter drains.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1 Information on basic physical and chemical properties

- a) Appearance: solid
- b) Odor: odorless
- c) Odor Threshold: no data available
- d) pH: no data available
- e) Melting point/freezing point: 2072 °C
- f) Initial boiling point and boiling range: 2977 °C
- g) Flash point: no data available
- h) Evaporation rate: no data available
- i) Flammability (solid, gas): no data available
- j) Upper/lower flammability or explosive limits: no data available k) Vapor pressure: no data available
- l) Vapor density: no data available
- m) Relative density: 3.9
- n) Water solubility: insoluble
- o) Partition coefficient - noctanol/water: no data available
- p) Auto-ignition temperature: no data available
- q) Decomposition temperature: no data available
- r) Viscosity: no data available
- s) Explosive properties: no data available
- t) Oxidizing properties: no data available

9.2 Other safety information

no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

10.1 Reactivity

no data available

10.2 Chemical stability

Stable under recommended storage conditions.

10.3 Possibility of hazardous reactions

no data available

10.4 Conditions to avoid

no data available

10.5 Incompatible materials

Strong oxidizing agents, Acids, Bases

10.6 Hazardous decomposition products

Other decomposition products - no data available In the event of fire: see section 5

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on toxicological effects Acute toxicity

no data available

Inhalation: no data available

Dermal: no data available

Skin corrosion/irritation

no data available

Serious eye damage/eye irritation

no data available

Respiratory or skin sensitization

no data available

Germ cell mutagenicity

no data available

Carcinogenicity

no data available

Reproductive toxicity

no data available

Specific target organ toxicity - single exposure

Inhalation - May cause respiratory irritation.

Specific target organ toxicity - repeated exposure

no data available

Aspiration hazard

no data available

Additional Information

RTECS: Not available

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

12.ECOLOGICAL INFORMATION 12.1 Toxicity

no data available

12.2 Persistence and degradability

no data available

12.3 Bioaccumulative potential

no data available

12.4 Mobility in soil

no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

PBT/vPvB assessment not available as chemical safety assessment not required/not conducted

12.6 Other adverse effects

no data available

13.DISPOSAL CONSIDERATIONS

13.1 Waste treatment methods

Product

Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material.

Contaminated packaging

Dispose of as unused product.

14.TRANSPORT INFORMATION

| |
|--|
| <p>DOT (US)</p> <p>Not dangerous goods</p> <p>IMDG</p> <p>Not dangerous goods</p> <p>IATA</p> <p>Not dangerous goods</p> |
| <p>15.REGULATORY INFORMATION</p> <p>SARA 302 Components</p> <p>SARA 302: No chemicals in this material are subject to the reporting requirements of SARA Title III, Section 302.</p> <p>SARA 313 Components</p> <p>SARA 313: This material does not contain any chemical components with known CAS numbers that exceed the threshold (De Minimis) reporting levels established by SARA Title III, Section 313. SARA 311/312 Hazards</p> |
| <p>16.OTHER INFORMATION</p> <p>Full text of H-Statements referred to under sections 2 and 3.</p> <p>Eye Irrit. Eye irritation H319 Causes serious eye irritation. H335 May cause respiratory irritation. STOT SE Specific target organ toxicity - single exposure HMIS Rating Health hazard: 1 Flammability: 0 Physical Hazard 0 NFPA Rating Health hazard: 1 Fire Hazard: 0</p> |

Reactivity Hazard: 0

Further information

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product.

Employers should use this information only as a supplement to other information gathered by them, and should make independent judgment of suitability of this information to ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

Nanoparticles Surfactant / Nanopowder Dispersant

US Research Nanomaterials, Inc.

www.us-nano.com

SAFTY DATA SHEET

Revised Date 5/5/2021

1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

1.1 Product identifiers

Product name Nanoparticles Surfactants / Nanopowder Dispersant

Product Number : US0010

The product is a mixture of following substances and the aromatic groups:

Nonylphenol (C₁₅H₂₄O) CAS#: 25154-52-3

Polyoxyalkylene amine derivative CAS#: 68511-96-6

polyethylene glycol (C₁₄H₂₂O(C₂H₄O)_n, (n = 9-10)) CAS#: 9002-93-1

Polyvinylpyrrolidone ((C₆H₉NO)_n, CAS#: 9003-39-8

Butyl ethanoate (C₆H₁₂O₂) CAS#: 123-86-4

Ethylene glycol monobutyl ether (C₆H₁₄O₂) CAS#: 111-76-2

1.2 Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Identified uses : Research

1.3 Details of the supplier of the safety data sheet

Company: [US Research Nanomaterials, Inc.](http://www.us-nano.com)

3302 Twig Leaf Lane

Houston, TX 77084

USA

Telephone: +1 832-460-3661

Fax: +1 281-492-8628

1.4 Emergency telephone number

Emergency Phone # : (832) 359-7887

2. HAZARDS IDENTIFICATION

2.1 Classification of the substance or mixture

This chemical is considered hazardous by the 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200)

2.2 GHS Label elements, including precautionary statements

Pictogram



Signal word

Warning

Hazard statement(s)

H336: May cause drowsiness or dizziness.

Precautionary statement(s)

P233: Keep container tightly closed.

P210: Keep away from heat/sparks/open flames/hot surfaces. - No smoking.

P240: Ground/Bond container and receiving equipment.

P241: Use explosion-proof-electrical/ventilating/lighting/.../equipment

P242: Use only non-sparking tools.

P243: Take precautionary measures against static discharge.

P271: Use only outdoors or in a well-ventilated area.

P280: Wear protective gloves/protective clothing/eye protection/face protection.

P261: Avoid breathing dust/fume/gas/mist/vapors/spray.

P264: Wash hands thoroughly after handling.

P304 + P340 IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.

P303+P361+P353: IF ON SKIN (or hair): Remove/Take off immediately all contaminated clothing. Rinse skin with water/shower.

P312 Call a POISON CENTER or doctor/ physician if you feel unwell.

P370+P378: In case of fire: refer to section 5 extinction.

2.3 Hazards not otherwise classified (HNOC) or not covered by GHS

None

3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

3.1 Substances

Nonylphenol (C₁₅H₂₄O) CAS#: 25154-52-3

Polyoxyalkylene amine derivative CAS#: 68511-96-6

polyethylene glycol (C₁₄H₂₂O(C₂H₄O)_n, (n = 9-10)) CAS#: 9002-93-1

Polyvinylpyrrolidone ((C₆H₉NO)_n, CAS#: 9003-39-8

Butyl ethanoate (C₆H₁₂O₂) CAS#: 123-86-4

Ethylene glycol monobutyl ether (C₆H₁₄O₂) CAS#: 111-76-2

4. FIRST AID MEASURES

4.1 Description of first aid measures

General advice

Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance. Move out of dangerous area.

If inhaled

If breathed in, move person into fresh air. If not breathing, give artificial respiration. Consult a physician.

In case of skin contact

Wash off with soap and plenty of water. Consult a physician.

In case of eye contact

Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.

If swallowed

Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.

4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

The most important known symptoms and effects are described in the labeling (see section 2.2) and/or in section 11

4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

no data available

5. FIREFIGHTING MEASURES

5.1 Extinguishing media

Suitable extinguishing media

Use water, CO₂, dry chemical, or foam for extinction.

5.2 Special hazards arising from the substance or mixture

Flammable. Risk of ignition. Dust can form an explosive mixture in air. Keep product and empty container away from heat and sources of ignition.

5.3 Advice for firefighters

Wear self contained breathing apparatus for firefighting if necessary.

5.4 Further information

no data available

6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures

Use personal protective equipment. Avoid dust formation. Ensure adequate ventilation. Evacuate personnel to safe areas. Avoid breathing dust. For personal protection see section 8.

6.2 Environmental precautions

Avoid release to the environment. See Section 12 for additional ecological information.

6.3 Methods and materials for containment and cleaning up

Pick up and arrange disposal without creating dust. Sweep up and shovel. Keep in suitable, closed containers for disposal.

6.4 Reference to other sections

For disposal see section 13.

7. HANDLING AND STORAGE

7.1 Precautions for safe handling

Avoid contact with skin and eyes. Avoid formation of dust and aerosols. Provide appropriate exhaust ventilation at places where dust is formed. Normal measures for preventive fire protection. For precautions see section 2.2.

7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities

Keep containers tightly closed in a dry, cool and well-ventilated place. Keep away from heat and sources of ignition. Flammables area.

7.3 Specific end use(s)

Apart from the uses mentioned in section 1.2 no other specific uses are stipulated

8. EXPOSURE CONTROLS/PERSONAL PROTECTION

8.1 Control parameters

This product does not contain any hazardous materials with occupational exposure limits established by the region specific regulatory bodies.

8.2 Exposure controls

Appropriate engineering controls

Ensure adequate ventilation, especially in confined areas. Use explosion-proof electrical/ventilating/lighting/equipment. Ensure that eyewash stations and safety showers are close to the workstation location.

Personal protective equipment

Eye/face protection

Safety glasses with side-shields conforming to EN166 Use equipment for eye protection tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or EN 166(EU).

Skin protection

For any handling steps where the substance is in particulate form or in a suspension with pure water where the substance is not solubilized, the gloves must be comprised of material that successfully passes ASTM F-1671. For any handling steps where the substance is part of a carrier liquid, other than the aqueous suspension noted in the previous paragraph, gloves must be comprised of material that successfully passes ASTM F-739 (continuous liquid contact method). Gloves must be changed before they show degradation and before the designated breakthrough time for the carrier liquid (as determined by the ASTM F-739 testing or by the manufacturer). Handle with gloves. Gloves must be inspected prior to use. Use proper glove removal technique (without touching glove's outer surface) to avoid skin contact with this product. Dispose of contaminated gloves after use in accordance with applicable laws and good laboratory practices. Wash and dry hands.

Body Protection

Impervious clothing, The type of protective equipment must be selected according to the concentration and amount of the dangerous substance at the specific workplace.

Respiratory protection

The EPA mandates the use of full face respirators with minimum N100 grade cartridges if there is any risk of exposure to the dust. For nuisance exposures use type P95 (US) or type P1 (EU EN 143) particle respirator. For higher level protection use type OV/AG/P99 (US) or type ABEK-P2 (EU EN 143) respirator cartridges. Use respirators and components tested and approved under appropriate government standards such as NIOSH (US) or CEN (EU).

Control of environmental exposure

Do not let product enter drains.

9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

9.1 Information on basic physical and chemical properties

- a) Appearance: liquid
- b) Odor: Odorless
- c) Odor Threshold:
- d) pH: no data available
- e) Melting point/freezing point: no data available
- f) Initial boiling point and boiling range: no data available
- g) Flash point: no data available
- h) Evaporation rate: no data available
- i) OSHA Flammability Class: no data available
- j) Upper/lower flammability or explosive limits: no data available
- k) Vapor pressure: no data available
- l) Vapor density (air = 1): no data available
- m) Relative density (water = 1): no data available
- n) Water solubility: soluble in water
- o) Partition coefficient - noctanol/water: no data available
- p) Auto-ignition temperature: no data available
- q) Decomposition temperature: no data available
- r) Viscosity: no data available

s) Explosive properties: no data available

9.2 Other safety information

no data available

10. STABILITY AND REACTIVITY

10.1 Reactivity

None known, based on information available.

10.2 Chemical stability

Moisture/oxygen sensitive.

10.3 Possibility of hazardous reactions

None under normal processing.

10.4 Conditions to avoid

Avoid heat, flames, sparks and other sources of ignition. Minimize contact with material. Avoid inhalation of material or combustion by-products. Keep out of water supplies and sewers. Do not store at elevated temperatures.

10.5 Incompatible materials

Strong acids, strong bases, strong oxidizers, nitrates

10.6 Hazardous decomposition products

Other decomposition products - no data available

In the event of fire: see section 5

11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

11.1 Information on toxicological effects

Acute toxicity

Acute oral toxicity LD50 rat: Not listed

Acute inhalation toxicity: Not listed

Acute dermal toxicity LD50 rabbit: Not listed

Skin corrosion/irritation

No information available

Serious eye damage/eye irritation

No information available

Respiratory or skin sensitization

No information available

Germ cell mutagenicity

no data available

Carcinogenicity

Not listed

Reproductive toxicity

no data available

Specific target organ toxicity - single exposure

no data available

Specific target organ toxicity - repeated exposure

no data available

Aspiration hazard

Product may be an aspiration hazard

Additional Information

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been

thoroughly investigated.

12. ECOLOGICAL INFORMATION

12.1 Ecotoxicity

Freshwater Fish: No information available

12.2 Persistence and degradability

No information available

12.3 Bioaccumulative potential

No information available

12.4 Mobility in soil

no data available

12.5 Results of PBT and vPvB assessment

PBT/vPvB assessment not available as chemical safety assessment not required/not conducted

12.6 Other adverse effects

Do not allow product to enter surface waters, wastewater or soil.

13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

13.1 Waste treatment methods

Product

Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material.

Contaminated packaging

14. TRANSPORT INFORMATION

US DOT Information

None

IMDG Information

None

IATA Information

None

15. REGULATORY INFORMATION

SARA 302 Components

SARA 302: No chemicals in this material are subject to the reporting requirements of SARA Title III, Section 302.

SARA 313 Components

SARA 313: This material does not contain any chemical components with known CAS numbers that exceed the threshold (De Minimis) reporting levels established by SARA Title III, Section 313.

SARA 311/312 Hazards

Acute Health Hazard

16. OTHER INFORMATION

Full text of H-Statements referred to under sections 2 and 3.

HMIS Rating

Health hazard: 1

Flammability: 1

Physical Hazard 0

NFPA Rating

Health hazard: 1

Fire Hazard: 1

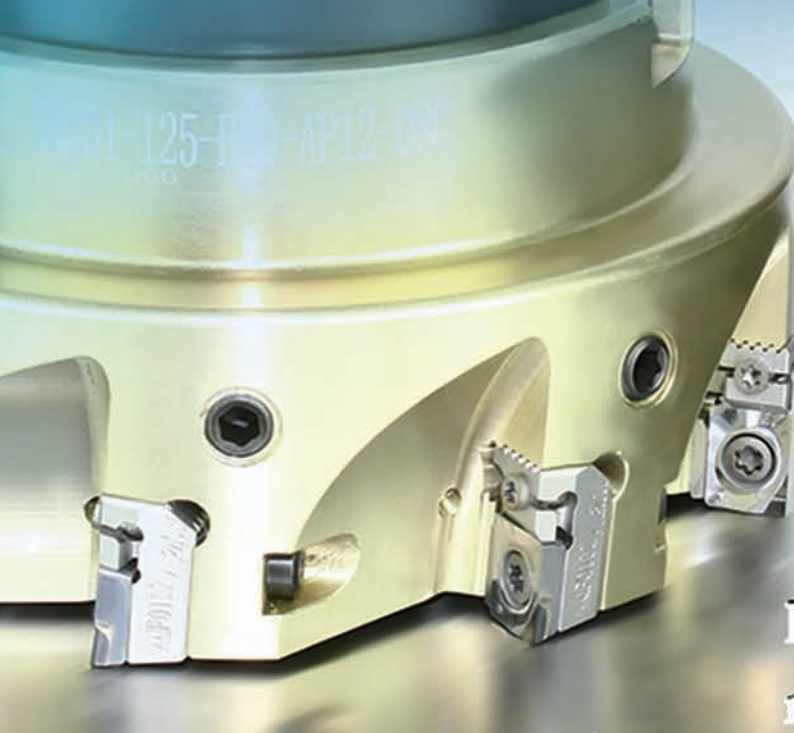
Reactivity Hazard: 0

Further information

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product.

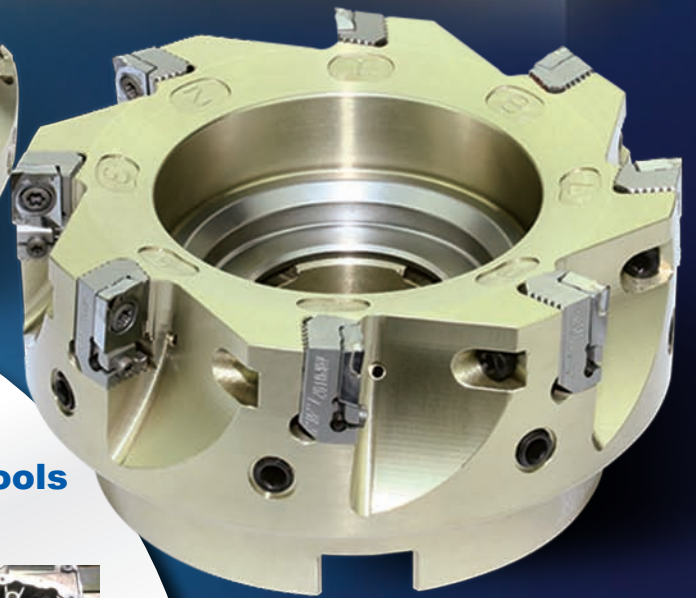
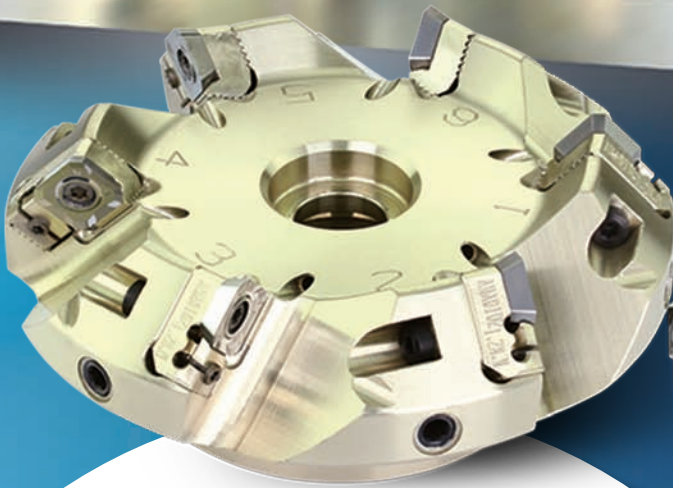
Employers should use this information only as a supplement to other information gathered by them, and should make independent judgment of suitability of this information to ensure proper use and protect the health and safety of employees. This information is furnished without warranty, and any use of the product not in conformance with this Safety Data Sheet, or in combination with any other product or process, is the responsibility of the user.

ANEXO E



AMA01 AMP01 Series

High-speed High-precision
milling tools



Machining case of AMP01 series high-speed high-precision milling tools

Area of machining: Bottom surface of cylinder housing

Machine: Machining center

Coolant: Internal

Workpiece material: Aluminum alloy (HB 110)

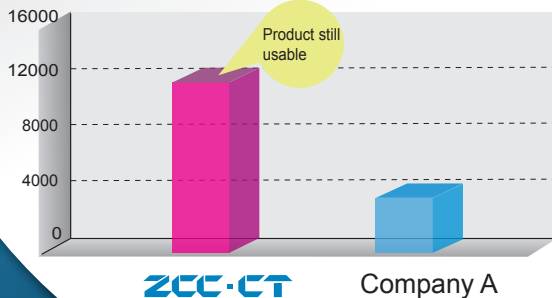
Operation: Face milling

Cutting data: $n=11141r/min$ $fz=0.1mm/z$



● Comparison of tool life

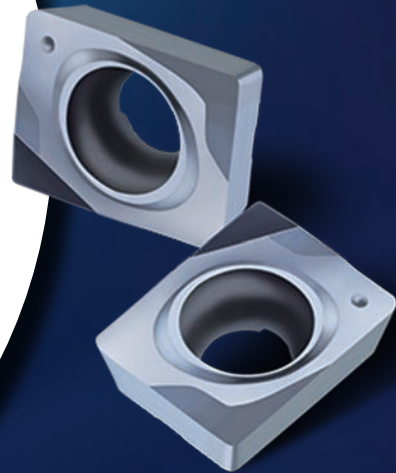
Number of workpiece machined(pieces)



Results::

ZCC-CT: 12000 pcs
(Still usable)

Product of company A: 3500 pcs

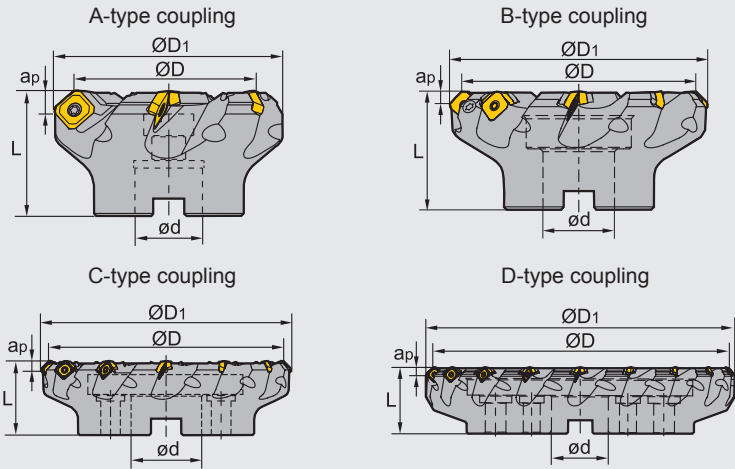


Face milling tools

Kr:45°



FMA01 P M K N S



Specification of tools

| Type | Stock | | Basic dimensions(mm) | | | | | Number of teeth Z | Type of coupling | Weight (kg) |
|-----------------------|-------|-----|----------------------|-----------------|----|------|-------------------|-------------------|------------------|-------------|
| | R | L | ØD | ØD ₁ | ød | L | ap _{max} | | | |
| FMA01 Coarse pitch | ▲ | △ | 50 | 61 | 22 | 40 | 6 | 4 | A | 0.3 |
| | ▲ | △ | 63 | 74 | 22 | 40 | 6 | 5 | A | 0.5 |
| | ▲ | △ | 80 | 91 | 27 | 50 | 6 | 6 | A | 1.2 |
| | ▲ | △ | 100 | 107 | 32 | 50 | 6 | 7 | B | 1.52 |
| | ▲ | △ | 125 | 136 | 40 | 63 | 6 | 8 | B | 2.6 |
| | ▲ | △ | 160 | 174 | 40 | 63 | 6 | 7 | B | 4.548 |
| | ▲ | △ | 160 | 170 | 40 | 63 | 6 | 10 | B | 4.92 |
| | ▲ | △ | 200 | 214 | 60 | 63 | 6 | 8 | C | 6.175 |
| | ▲ | △ | 200 | 210 | 60 | 63 | 6 | 12 | C | 7.6 |
| | ▲ | △ | 250 | 264 | 60 | 63 | 6 | 10 | C | 12.596 |
| | ▲ | △ | 250 | 260 | 60 | 63 | 6 | 14 | C | 13.5 |
| | ▲ | △ | 315 | 325 | 60 | 70 | 6 | 18 | D | 20.8 |
| | ▲ | △ | 100 | 120 | 32 | 63 | 10.4 | 4 | B | 2.22 |
| | ▲ | △ | 125 | 145 | 40 | 63 | 10.4 | 5 | B | 3.15 |
| | ▲ | △ | 160 | 180 | 40 | 63 | 10.4 | 6 | B | 5.01 |
| | ▲ | △ | 200 | 220 | 60 | 63 | 10.4 | 8 | C | 6.9 |
| ▲ | △ | 250 | 270 | 60 | 63 | 10.4 | 10 | C | 13.1 | |
| ▲ | △ | 315 | 335 | 60 | 80 | 10.4 | 12 | D | 24.5 | |

▲Stock available △Make-to-order

Spare parts

| Diameter ØD | Insert | Insert screw | Shim | Shim screw | Wrench | Wrench | |
|-------------|-------------|--------------|-------|------------|--------|--------|--|
| | | | | | | | |
| Ø50-Ø100 | SEET12□□-□□ | I60M3.5×10 | -- | -- | WT15IS | -- | |
| Ø50-Ø315 | SEET12□□-□□ | I60M3.5×12 | S13BS | SM5×7XA | WT15IS | WH35L | |
| Ø100-Ø315 | SEET18□□-□□ | I60M5×17 | S18BS | SM8×9XA | WT20IT | WH50L | |

Tools code key
B24-B25

Grade selection guide
B19-B23

Technical data
B234-B240

Indexable milling tools
Face milling tools

Chipbreaker selection for FMA01 milling inserts

| Classification | Function | For finishing | For semi-finishing | For roughing |
|----------------|----------|---------------|--------------------|--------------|
| P | | -DF | -DM | -DR |
| M, S | | -EF | -EM | |
| K | | -CF | -CM | -CR |
| N | | -LH | | |

Recommended cutting parameters

| Workpiece material | Hardness HB | Insert grade | Cutting parameters | | | | |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--|---------------|--------------|
| | | | V _c (m/min) | f _z (mm/z) | | | |
| | | | | -DF | -DM | -DR | |
| P | Low-carbon steel, Soft steel | YBM251 YBC301 | 270(220-350) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) | |
| | | YBG205 YB9320 | 270(200-360) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) | |
| | | YBG302 YBM253 | 230(170-350) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) | |
| | High-carbon steel, Alloy steel | 180-280 | YBM251 YBC302 YBC301 | 240 (200-320) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) |
| | | | YBG205 YB9320 | 240 (180-350) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) |
| | | | YBG302 YBM253 | 220 (150-330) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) |
| | Alloy tool steel | 280-350 | YBM251 YBM351 YBC301 | 220 (180-300) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) |
| | | | YBG205 YB9320 | 220 (170-340) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) |
| | | | YBG302 YBM253 | 190 (130-300) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) |
| M | Stainless steel | YBM251 YBG205 YB9320 YBG302 | 150 (120-240) | 0.15(0.1-0.2) | -EF -EM 0.2 (0.1-0.3) | | |
| | | | 160 (110-270) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | | |
| | | | 140 (100-250) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | | |
| K | Cast iron | YBG102 YBD152 | 210 (120-300) | 0.15(0.1-0.2) | -CF -CM -CR 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) | |
| | | | 240 (180-300) | 0.15(0.1-0.2) | 0.2 (0.1-0.3) | 0.3(0.2-0.4) | |
| N | Al alloy steel | YD101 YD201 | 300- | -LH 0.25 (0.1-0.4) | | | |
| | | | 300- | 0.25 (0.1-0.4) | | | |
| S | High-temperature alloy | YBG102 YBS303 | 50(20-60) | -EF -EM 0.1 (0.1-0.2) | 0.15 (0.1-0.3) | | |
| | | | 100(60-120) | 0.1 (0.1-0.2) | 0.15 (0.1-0.25) | | |

Indexable milling tools
Face milling tools

ANEXO F

SAE 1018**Eje de transmisión - tolerancias h10-h11****GENERALIDADES:** Acero de bajo contenido de carbono.**ANÁLISIS TÍPICO %**

| | C | Mn | P | S |
|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| SAE 1018 | 0.15-0.20 | 0.60-0.90 | 0.040 | 0.050 |

PROPIEDADES MECÁNICAS

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2 ") o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7", 8", 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

| Propiedad: Laminado en Frío | |
|---|---------|
| Esfuerzo de cedencia, kg/mm ² | min. 31 |
| Resistencia a la tracción, kg/mm ² | 51-71 |
| Elongación, A5 | 20% |
| Reducción de área, Z | 57% |
| Dureza | 163 HB |

APLICACIONES

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

MEDIDAS EN STOCK:**REDONDO**

| Díámetro (pulg) | Peso (kg/m) |
|------------------------|--------------------|
| 1/4 | 0,2 |
| 5/16 | 0,4 |
| 3/8 | 0,6 |
| 1/2 | 1,0 |
| 5/8 | 1,6 |
| 3/4 | 2,2 |
| 7/8 | 3,0 |
| 1 | 4,0 |
| 1 1/8 | 5,0 |
| 1 1/4 | 6,2 |
| 1 3/8 | 7,5 |
| 1 1/2 | 8,9 |
| 1 3/4 | 12,2 |
| 2 | 15,9 |
| 2 1/4 | 20,1 |
| 2 1/2 | 24,9 |
| 2 3/4 | 30,1 |
| 3 | 35,8 |
| 3 1/4 | 42,0 |
| 3 1/2 | 48,7 |
| 4 | 63,6 |
| 4 1/2 | 80,5 |
| 5 | 99,4 |
| 5 1/2 | 120,3 |
| 6 | 143,2 |
| 7 | 194,9 |
| 8 | 254,6 |

IVAN BOHMAN C.A. maneja las siguientes calidades de acero inoxidable:

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 mín. (Kg/mm ²) | Elongación % | Dureza HB (max) | W. Nr | AF NOR | European Designation | 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 | Z8C17 | X6Cr 17 | 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.

TABLAS DE CORROSIÓN

Tabla de corrosión del acero inoxidable Tipo 304 y 316 frente a diferentes actores.

| SUSTANCIA | Temperatura | | Condición | Tipo | |
|-------------------------|-------------------------|----------|------------|-------------------|-----------------|
| | °C | °F | | 304 | 316 |
| Acetato de etilo | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Acetileno | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Acetona | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Ácido acético | Solución al 10% | 21 | 70 | Agitado | Muy resistente |
| | Vapor al 30% | - | - | Caliente | Mediano |
| | Vapor al 100% | - | - | Caliente | No resistente |
| Ácido benzoico | 21 | 70 | - | Muy resistente | Mediano |
| Ácido carbónico seco | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Ácido fosfórico | 10% | - | - | Agitado | Muy resistente |
| | 10% | - | - | Ebullición | Muy resistente |
| | 25% | - | - | Ebullición | Resistente |
| | 40% | - | - | Ebullición | Resistente |
| Ácido hidroclorehídrico | 21 | 70 | - | No resistente | Resistente |
| Ácido láctico | 5% | 21 | 70 | - | No resistente |
| | 10% | 21 | 70 | - | Muy resistente |
| | Concentrado | - | - | Ebullición | Muy resistente |
| Ácido muriático | 21 | 70 | - | Mediano | Resistente |
| Ácido nítrico | 5% | 21 | 70 | - | No resistente |
| | 5% | - | - | Ebullición | Muy resistente |
| | 65% | - | - | Ebullición | Muy resistente |
| | Concentrado | - | - | Ebullición | Resistente |
| | Concentrado | - | - | Vaporización | Resistente |
| Ácido nítrico al 5% | 21 | 70 | - | Poco resistente | Poco resistente |
| Ácido oxálico | 10% | 21 | 70 | - | Muy resistente |
| | 50% | - | - | Ebullición | Muy resistente |
| Ácido sulfúrico | 5% | 21 | 70 | - | Poco resistente |
| | 5% | - | - | Ebullición | Mediano |
| | 10% | 21 | 70 | - | No resistente |
| | 10% | - | - | Ebullición | Mediano |
| | 50% | 21 | 70 | - | No resistente |
| | 50% | - | - | Ebullición | Poco resistente |
| | Concentrado | 21 | 70 | - | No resistente |
| | Concentrado | - | - | Ebullición | Poco resistente |
| | Humeante | - | - | - | Muy resistente |
| | Agua clorinada saturada | 21 | 70 | - | Mediano |
| Agua de mar | 21 | 70 | - | Riesgo de pitting | |
| Agua oxigenada | 21 | 70 | - | Resistente | |
| Alcohol etílico | 21 | 70 | - | Muy resistente | |
| | - | - | Ebullición | Muy resistente | |
| Alcohol metílico | 21 | 70 | - | Muy resistente | |
| Amoniaco | En general | 21 - 100 | 70 - 212 | Ebullición | Muy resistente |
| | Anhidrido | 43+ | 109+ | Ventilado | Muy resistente |

| SUSTANCIA | | Temperatura | | Condición | Tipo | |
|------------------------------------|-----------------|-------------|------|------------|------------------|-----------------|
| | | °C | °F | | 304 | 316 |
| Atmósfera | Industrial | | | | Muy resistente * | Muy resistente* |
| | Marina | | | | Resistente ** | Resistente ** |
| | Rural | | | | Muy resistente | Muy resistente |
| Azúcar (jugo)(libre de SO2) | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Bencina (benzal) | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Bórax solución al 5% | | - | - | Caliente | Muy resistente | Muy resistente |
| Carbonato de calcio | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Carbonato de sodio | 5% | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| | 50% | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| Cerveza | Malta y mezclas | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| | 3.5% - 4.5% | 71 | 160 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloro | Gas | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| | Gas seco | 21 | 70 | - | Poco resistente | Mediano |
| | Gas húmedo | 100 | 212 | - | No resistente | No resistente |
| Clorobenzina | | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloroformo seco | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloruro de acético seco | | - | - | Caliente | Resistente | Resistente |
| Cloruro de aluminio | | 21 | 70 | - | Poco resistente | Mediano |
| Cloruro de bario 5% y saturado | | 21 | 70 | - | Resistente | Muy resistente |
| Cloruro de etileno | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloruro de etilo | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloruro de sodio | 2% | 21 | 70 | Ventilado | Muy resistente | Muy resistente |
| | Saturado | - | - | Ebullición | Resistente | Muy resistente |
| Cloruro férrico | 1% saturación | 21 | 70 | - | No resistente | No resistente |
| Cloruro ferroso | sol. saturada | 21 | 70 | - | No resistente | Mediano |
| Dicloroetano | Seco | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| Eter | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Flúor (gas) | | 21 | 70 | - | No resistente | No resistente |
| Frutas (jugo) | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Gasolina | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Hidróxido de sodio | 20% | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| | 30% | - | - | Ebullición | Resistente | Resistente |
| Jabón | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Leche | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Madera (pulpa) | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Monóxido de carbono | | 760 | 1400 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Nitrato de sodio | | 871 | 1600 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Nitrato férrico 5% destilado o gas | | - | - | - | Resistente | Muy resistente |
| Soda Caustica | | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Sulfato de aluminio | 10% | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| | Saturado | - | - | Ebullición | Resistente | Muy resistente |
| Sulfato de amonia | 5% | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| | 10% | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Sulfato de cobre | | - | - | Caliente | Resistente | Muy resistente |
| Sulfito de sodio | 25% | 100 | 212 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| | 50% | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Tinta | | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Vegetales (jugo) | | 21 | 70 | - | Resistente | Muy resistente |
| Vinagre | Inactivo | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| | Agitado | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| | Caliente | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Vino | | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Whisky Escocés | | 24 | 75 | - | Muy resistente | Muy resistente |

Nota: Esta es una guía a nivel informativo. En el caso de soluciones químicas, es preferible consultar más detalles, tomando en cuenta concentración y temperatura. IBCA no se hace responsable por aplicaciones no estudiadas a profundidad.

- * Decoloración con el tiempo.
- ** Decoloración o manchas con el tiempo.

| Sustancia | Temperatura (°C) | Temperatura (°F) | Condición | Tipo (304) | Tipo (316) |
|------------------------------------|------------------|------------------|------------|------------------|-----------------|
| Atmósfera Industrial | | | | Muy resistente * | Muy resistente* |
| Atmósfera Marina | | | | Resistente ** | Resistente ** |
| Atmósfera Rural | | | | Muy resistente | Muy resistente |
| Azúcar (jugo)(libre de SO2) | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Bencina (benzal) | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Bórax solución al 5% | - | - | Caliente | Muy resistente | Muy resistente |
| Carbonato de calcio | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Carbonato de sodio 5% | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| Carbonato de sodio 50% | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| Cerveza Malta y mezclas | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cerveza 3.5% - 4.5% | 71 | 160 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloro Gas | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloro Gas seco | 21 | 70 | - | Poco resistente | Mediano |
| Cloro Gas húmedo | 100 | 212 | - | No resistente | No resistente |
| Clorobenzina | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloroformo seco | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloruro de acético seco | - | - | Caliente | Resistente | Resistente |
| Cloruro de aluminio | 21 | 70 | - | Poco resistente | Mediano |
| Cloruro de bario 5% y saturado | 21 | 70 | - | Resistente | Muy resistente |
| Cloruro de etileno | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloruro de etilo | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloruro de sodio 2% | 21 | 70 | Ventilado | Muy resistente | Muy resistente |
| Cloruro de sodio Saturado | - | - | Ebullición | Resistente | Muy resistente |
| Cloruro férrico 1% saturación | 21 | 70 | - | No resistente | No resistente |
| Cloruro ferroso sol. saturada | 21 | 70 | - | No resistente | Mediano |
| Dicloroetano Seco | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| Eter | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Flúor (gas) | 21 | 70 | - | No resistente | No resistente |
| Frutas (jugo) | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Gasolina | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Hidróxido de sodio 20% | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| Hidróxido de sodio 30% | - | - | Ebullición | Resistente | Resistente |
| Jabón | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Leche | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Madera (pulpa) | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Monóxido de carbono | 760 | 1400 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Nitrato de sodio | 871 | 1600 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Nitrato férrico 5% destilado o gas | - | - | - | Resistente | Muy resistente |
| Soda Caustica | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Sulfato de aluminio 10% | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Sulfato de aluminio Saturado | - | - | Ebullición | Resistente | Muy resistente |
| Sulfato de amonia 5% | - | - | Ebullición | Muy resistente | Muy resistente |
| Sulfato de amonia 10% | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Sulfato de cobre | - | - | Caliente | Resistente | Muy resistente |
| Sulfito de sodio 25% | 100 | 212 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Sulfito de sodio 50% | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Tinta | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Vegetales (jugo) | 21 | 70 | - | Resistente | Muy resistente |
| Vinagre Inactivo | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Vinagre Agitado | 21 | 70 | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Vinagre Caliente | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Vino | - | - | - | Muy resistente | Muy resistente |
| Whisky Escocés | 24 | 75 | - | Muy resistente | Muy resistente |

ANEXO G

Código G para AISI 1018 – VP

% H₁,MX--,

N110 G0 G80

N120 T8 D8

N125 M6

N130 G1 X-250.95 Y0. F500

N135 S1360 M3

N140 Z20.

N150 Z10.

N160 G1 Z-1.5 F400.

N170 X247.8 F680.

N180 Z10. F400.

N190 G0 Z23.515

N200 X-250.95

N210 Z10.

N220 G1 Z-3.0 F400.

N230 X247.8 F680.

N240 Z10. F400.

N250 G0 Z22.03

N260 X-250.95

N270 Z10.

N280 G1 Z-4.5 F400.

N290 X247.8 F680.

N300 Z10. F400.

N310 G0 Z20.545

N320 X-250.95

N330 Z10.

N340 G1 Z-6.0 F400.

N350 X247.8 F680.

N360 Z10. F400.

N370 G0 Z19.061

N380 X-250.95

N390 Z10.

N400 G1 Z-7.5 F400.

N410 X247.8 F680.

N420 Z10. F400.

N430 G0 Z17.576

N440 X-250.95

N450 Z10.

N460 G1 Z-9.0 F400.

N470 X247.8 F680.

N480 Z10. F400.

N490 G0 Z16.091

N500 X-250.95

N510 Z10.

N520 G1 Z-10.5 F400.

N530 X247.8 F680.

N540 Z10. F400.

N550 G0 Z14.606

N560 X-250.95

N570 Z10.

N580 G1 Z-12.0 F400.

N590 X247.8 F680.

N600 Z10. F400.

N610 G0 Z13.121

N620 X-250.95

N630 Z10.

N640 G1 Z-13.5 F400.

N650 X247.8 F680.

N660 Z10. F400.

N670 G0 Z11.636
N680 X-250.95
N690 Z10.
N700 G1 Z-15.0 F400.
N710 X247.8 F680.
N720 Z10. F400.
N730 G0 Z10.152
N740 X-250.95
N750 Z10.
N760 G1 Z-16.5 F400.
N770 X247.8 F680.
N780 Z10. F400.
N790 G0 X-250.95
N800 G1 Z-18.0 F400.
N810 X247.8 F680.
N820 Z10. F400.
N830 G0 X-250.95
N840 G1 Z-19.5 F400.
N850 X247.8 F680.
N860 Z10. F400.
N870 G0 X-250.95
N880 G1 Z-21.0 F400.
N890 X247.8 F680.
N900 Z10. F400.
N910 G0 X-250.95
N920 G1 Z-22.5 F400.
N930 X247.8 F680.
N940 Z10. F400.
N950 G0 X-250.95
N960 G1 Z-24.0 F400.

N970 X247.8 F680.
N980 Z10. F400.
N990 G0 X-250.95
N1000 G1 Z-25.5 F400.
N1010 X247.8 F680.
N1020 Z10. F400.
N1030 G0 X-250.95
N1040 G1 Z-27.0 F400.
N1050 X247.8 F680.
N1060 Z10. F400.
N1070 G0 X-250.95
N1080 G1 Z-28.5 F400.
N1090 X247.8 F680.
N1100 Z10. F400.
N1110 G0 X-250.95
N1120 G1 Z-30.0 F400.
N1130 X247.8 F680.
N1140 Z10. F400.
N1150 G0 X-250.95
N1160 G1 Z-31.5 F400.
N1170 X247.8 F680.
N1180 Z10. F400.
N1190 G0 X-250.95
N1200 G1 Z-33.0 F400.
N1210 X247.8 F680.
N1220 Z10. F400.
N1230 G0 X-250.95
N1240 G1 Z-34.5 F400.
N1250 X247.8 F680.
N1260 Z10. F400.

N1270 G0 X-250.95
N1280 G1 Z-36.0 F400.
N1290 X247.8 F680.
N1300 Z10. F400.
N1310 G0 X-250.95
N1320 G1 Z-37.5 F400.
N1330 X247.8 F680.
N1340 Z10. F400.
N1350 G0 X-250.95
N1360 G1 Z-39.0 F400.
N1370 X247.8 F680.
N1380 Z10. F400.
N1390 G0 X-250.95
N1400 G1 Z-40.5 F400.
N1410 X247.8 F680.
N1420 Z10. F400.
N1430 G0 X-250.95
N1440 G1 Z-42.0 F400.
N1450 X247.8 F680.
N1460 Z10. F400.
N1470 G0 X-250.95
N1480 G1 Z-43.5 F400.
N1490 X247.8 F680.
N1500 Z10. F400.
N1510 G0 X-250.95
N1520 G1 Z-45.0 F400.
N1530 X247.8 F680.
N1540 Z10. F400.
N1550 G0 X-250.95
N1560 G1 Z-47.5 F400.

N1570 X247.8 F680.
N1580 Z10. F400.
N1590 G0 X-250.95
N1600 G1 Z-49.0 F400.
N1610 X247.8 F680.
N1620 Z10. F400.
N1630 G0 X-250.95
N1640 G1 Z-50.5 F400.
N1650 X247.8 F680.
N1660 Z10. F400.
N1670 Z30.
N1680 M5
N1710 M30
%

Código G para AISI 1018 - VMÁX

% H₁,MX--,

N110 G0 G80

N120 T8 D8

N125 M6

N130 G1 X-250.95 Y0. F500

N135 S1810 M3

N140 Z20.

N150 Z10.

N160 G1 Z-1.5 F400.

N170 X247.8 F920.

N180 Z10. F400.

N190 G0 Z23.515

N200 X-250.95

N210 Z10.

N220 G1 Z-3.0 F400.

N230 X247.8 F920.

N240 Z10. F400.

N250 G0 Z22.03

N260 X-250.95

N270 Z10.

N280 G1 Z-4.5 F400.

N290 X247.8 F920.

N300 Z10. F400.

N310 G0 Z20.545

N320 X-250.95

N330 Z10.

N340 G1 Z-6.0 F400.

N350 X247.8 F920.

N360 Z10. F400.

N370 G0 Z19.061

N380 X-250.95

N390 Z10.

N400 G1 Z-7.5 F400.

N410 X247.8 F920.

N420 Z10. F400.

N430 G0 Z17.576

N440 X-250.95

N450 Z10.

N460 G1 Z-9.0 F400.

N470 X247.8 F920.

N480 Z10. F400.

N490 G0 Z16.091

N500 X-250.95

N510 Z10.

N520 G1 Z-10.5 F400.

N530 X247.8 F920.

N540 Z10. F400.

N550 G0 Z14.606

N560 X-250.95

N570 Z10.

N580 G1 Z-12.0 F400.

N590 X247.8 F920.

N600 Z10. F400.

N610 G0 Z13.121

N620 X-250.95

N630 Z10.

N640 G1 Z-13.5 F400.

N650 X247.8 F920.

N660 Z10. F400.

N670 G0 Z11.636
N680 X-250.95
N690 Z10.
N700 G1 Z-15.0 F400.
N710 X247.8 F920.
N720 Z10. F400.
N730 G0 Z10.152
N740 X-250.95
N750 Z10.
N760 G1 Z-16.5 F400.
N770 X247.8 F920.
N780 Z10. F400.
N790 G0 X-250.95
N800 G1 Z-18.0 F400.
N810 X247.8 F920.
N820 Z10. F400.
N830 G0 X-250.95
N840 G1 Z-19.5 F400.
N850 X247.8 F920.
N860 Z10. F400.
N870 G0 X-250.95
N880 G1 Z-21.0 F400.
N890 X247.8 F920.
N900 Z10. F400.
N910 G0 X-250.95
N920 G1 Z-22.5 F400.
N930 X247.8 F920.
N940 Z10. F400.
N950 G0 X-250.95
N960 G1 Z-24.0 F400.

N970 X247.8 F920.
N980 Z10. F400.
N990 G0 X-250.95
N1000 G1 Z-25.5 F400.
N1010 X247.8 F920.
N1020 Z10. F400.
N1030 G0 X-250.95
N1040 G1 Z-27.0 F400.
N1050 X247.8 F920.
N1060 Z10. F400.
N1070 G0 X-250.95
N1080 G1 Z-28.5 F400.
N1090 X247.8 F920.
N1100 Z10. F400.
N1110 G0 X-250.95
N1120 G1 Z-30.0 F400.
N1130 X247.8 F920.
N1140 Z10. F400.
N1150 G0 X-250.95
N1160 G1 Z-31.5 F400.
N1170 X247.8 F920.
N1180 Z10. F400.
N1190 G0 X-250.95
N1200 G1 Z-33.0 F400.
N1210 X247.8 F920.
N1220 Z10. F400.
N1230 G0 X-250.95
N1240 G1 Z-34.5 F400.
N1250 X247.8 F920.
N1260 Z10. F400.

N1270 G0 X-250.95
N1280 G1 Z-36.0 F400.
N1290 X247.8 F920.
N1300 Z10. F400.
N1310 G0 X-250.95
N1320 G1 Z-37.5 F400.
N1330 X247.8 F920.
N1340 Z10. F400.
N1350 G0 X-250.95
N1360 G1 Z-39.0 F400.
N1370 X247.8 F920.
N1380 Z10. F400.
N1390 G0 X-250.95
N1400 G1 Z-40.5 F400.
N1410 X247.8 F920.
N1420 Z10. F400.
N1430 G0 X-250.95
N1440 G1 Z-42.0 F400.
N1450 X247.8 F920.
N1460 Z10. F400.
N1470 G0 X-250.95
N1480 G1 Z-43.5 F400.
N1490 X247.8 F920.
N1500 Z10. F400.
N1510 G0 X-250.95
N1520 G1 Z-45.0 F400.
N1530 X247.8 F920.
N1540 Z10. F400.
N1550 G0 X-250.95
N1560 G1 Z-46.5 F400.

N1570 X247.8 F920.
N1580 Z10. F400.
N1590 G0 X-250.95
N1600 G1 Z-48.0 F400.
N1610 X247.8 F920.
N1620 Z10. F400.
N1630 G0 X-250.95
N1640 G1 Z-49.5 F400.
N1650 X247.8 F920.
N1660 Z10. F400.
N1670 Z30.
N1680 M5
N1710 M30
%

Código G para AISI 304 – VP

% H₁,MX--,

N110 G0 G80

N120 T8 D8

N125 M6

N130 G1 X-230.95 Y0. F500

N135 S960 M3

N140 Z20.

N150 Z10.

N160 G1 Z-.5 F400.

N170 X227.8 F480.

N180 Z10. F400.

N190 G0 Z24.5

N200 X-230.95

N210 Z10.

N220 G1 Z-1. F400.

N230 X227.8 F480.

N240 Z10. F400.

N250 G0 Z24.

N260 X-230.95

N270 Z10.

N280 G1 Z-1.5 F400.

N290 X227.8 F480.

N300 Z10. F400.

N310 G0 Z23.5

N320 X-230.95

N330 Z10.

N340 G1 Z-2. F400.

N350 X227.8 F480.

N360 Z10. F400.

N370 G0 Z23.

N380 X-230.95

N390 Z10.

N400 G1 Z-2.5 F400.

N410 X227.8 F480.

N420 Z10. F400.

N430 G0 Z22.5

N440 X-230.95

N450 Z10.

N460 G1 Z-3. F400.

N470 X227.8 F480.

N480 Z10. F400.

N490 G0 Z22.

N500 X-230.95

N510 Z10.

N520 G1 Z-3.5 F400.

N530 X227.8 F480.

N540 Z10. F400.

N550 G0 Z21.5

N560 X-230.95

N570 Z10.

N580 G1 Z-4. F400.

N590 X227.8 F480.

N600 Z10. F400.

N610 G0 Z21.

N620 X-230.95

N630 Z10.

N640 G1 Z-4.5 F400.

N650 X227.8 F480.

N660 Z10. F400.

N670 G0 Z20.5
N680 X-230.95
N690 Z10.
N700 G1 Z-5. F400.
N710 X227.8 F480.
N720 Z10. F400.
N730 G0 Z20.
N740 X-230.95
N750 Z10.
N760 G1 Z-5.5 F400.
N770 X227.8 F480.
N780 Z10. F400.
N790 G0 Z19.5
N800 X-230.95
N810 Z10.
N820 G1 Z-6. F400.
N830 X227.8 F480.
N840 Z10. F400.
N850 G0 Z19.
N860 X-230.95
N870 Z10.
N880 G1 Z-6.5 F400.
N890 X227.8 F480.
N900 Z10. F400.
N910 G0 Z18.5
N920 X-230.95
N930 Z10.
N940 G1 Z-7. F400.
N950 X227.8 F480.
N960 Z10. F400.
N970 G0 Z18.
N980 X-230.95
N990 Z10.
N1000 G1 Z-7.5 F400.
N1010 X227.8 F480.
N1020 Z10. F400.
N1030 G0 Z17.5
N1040 X-230.95
N1050 Z10.
N1060 G1 Z-8. F400.
N1070 X227.8 F480.
N1080 Z10. F400.
N1090 G0 Z17.
N1100 X-230.95
N1110 Z10.
N1120 G1 Z-8.5 F400.
N1130 X227.8 F480.
N1140 Z10. F400.
N1150 G0 Z16.5
N1160 X-230.95
N1170 Z10.
N1180 G1 Z-9. F400.
N1190 X227.8 F480.
N1200 Z10. F400.
N1210 G0 Z16.
N1220 X-230.95
N1230 Z10.
N1240 G1 Z-9.5 F400.
N1250 X227.8 F480.
N1260 Z10. F400.

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| N1270 G0 Z15.5 | N1570 G0 Z13. |
| N1280 X-230.95 | N1580 X-230.95 |
| N1290 Z10. | N1590 Z10. |
| N1300 G1 Z-10. F400. | N1600 G1 Z-12.5 F400. |
| N1310 X227.8 F480. | N1610 X227.8 F480. |
| N1320 Z10. F400. | N1620 Z10. F400. |
| N1330 G0 Z15. | N1630 G0 Z12.5 |
| N1340 X-230.95 | N1640 X-230.95 |
| N1350 Z10. | N1650 Z10. |
| N1360 G1 Z-10.5 F400. | N1660 G1 Z-13. F400. |
| N1370 X227.8 F480. | N1670 X227.8 F480. |
| N1380 Z10. F400. | N1680 Z10. F400. |
| N1390 G0 Z14.5 | N1690 G0 Z12. |
| N1400 X-230.95 | N1700 X-230.95 |
| N1410 Z10. | N1710 Z10. |
| N1420 G1 Z-11. F400. | N1720 G1 Z-13.5 F400. |
| N1430 X227.8 F480. | N1730 X227.8 F480. |
| N1440 Z10. F400. | N1740 Z10. F400. |
| N1450 G0 Z14. | N1750 G0 Z11.5 |
| N1460 X-230.95 | N1760 X-230.95 |
| N1470 Z10. | N1770 Z10. |
| N1480 G1 Z-11.5 F400. | N1780 G1 Z-14. F400. |
| N1490 X227.8 F480. | N1790 X227.8 F480. |
| N1500 Z10. F400. | N1800 Z10. F400. |
| N1510 G0 Z13.5 | N1810 G0 Z11. |
| N1520 X-230.95 | N1820 X-230.95 |
| N1530 Z10. | N1830 Z10. |
| N1540 G1 Z-12. F400. | N1840 G1 Z-14.5 F400. |
| N1550 X227.8 F480. | N1850 X227.8 F480. |
| N1560 Z10. F400. | N1860 Z10. F400. |

N1870 G0 Z10.5
N1880 X-230.95
N1890 Z10.
N1900 G1 Z-15. F400.
N1910 X227.8 F480.
N1920 Z10. F400.
N1930 G0 X-230.95
N1940 G1 Z-15.5 F400.
N1950 X227.8 F480.
N1960 Z10. F400.
N1970 G0 X-230.95
N1980 G1 Z-16. F400.
N1990 X227.8 F480.
N2000 Z10. F400.
N2010 G0 X-230.95
N2020 G1 Z-16.5 F400.
N2030 X227.8 F480.
N2040 Z10. F400.
N2050 G0 X-230.95
N2060 G1 Z-17. F400.
N2070 X227.8 F480.
N2080 Z10. F400.
N2090 G0 X-230.95
N2100 G1 Z-17.5 F400.
N2110 X227.8 F480.
N2120 Z10. F400.
N2130 G0 X-230.95
N2140 G1 Z-18. F400.
N2150 X227.8 F480.
N2160 Z10. F400.
N2170 G0 X-230.95
N2180 G1 Z-18.5 F400.
N2190 X227.8 F480.
N2200 Z10. F400.
N2210 G0 X-230.95
N2220 G1 Z-19. F400.
N2230 X227.8 F480.
N2240 Z10. F400.
N2250 G0 X-230.95
N2260 G1 Z-19.5 F400.
N2270 X227.8 F480.
N2280 Z10. F400.
N2290 G0 X-230.95
N2300 G1 Z-20. F400.
N2310 X227.8 F480.
N2320 Z10. F400.
N2330 G0 X-230.95
N2340 G1 Z-20.5 F400.
N2350 X227.8 F480.
N2360 Z10. F400.
N2370 G0 X-230.95
N2380 G1 Z-21. F400.
N2390 X227.8 F480.
N2400 Z10. F400.
N2410 G0 X-230.95
N2420 G1 Z-21.5 F400.
N2430 X227.8 F480.
N2440 Z10. F400.
N2450 G0 X-230.95
N2460 G1 Z-22. F400.

N2470 X227.8 F480.
N2480 Z10. F400.
N2490 G0 X-230.95
N2500 G1 Z-22.5 F400.
N2510 X227.8 F480.
N2520 Z10. F400.
N2530 G0 X-230.95
N2540 G1 Z-23. F400.
N2550 X227.8 F480.
N2560 Z10. F400.
N2570 G0 X-230.95
N2580 G1 Z-23.5 F400.
N2590 X227.8 F480.
N2600 Z10. F400.
N2610 G0 X-230.95
N2620 G1 Z-24. F400.
N2630 X227.8 F480.
N2640 Z10. F400.
N2650 G0 X-230.95
N2660 G1 Z-24.5 F400.
N2670 X227.8 F480.
N2680 Z10. F400.
N2690 G0 X-230.95
N2700 G1 Z-25. F400.
N2710 X227.8 F480.
N2720 Z10. F400.
N2730 G0 X-230.95
N2740 G1 Z-25.5 F400.
N2750 X227.8 F480.
N2760 Z10. F400.

N2770 G0 X-230.95
N2780 G1 Z-26. F400.
N2790 X227.8 F480.
N2800 Z10. F400.
N2810 G0 X-230.95
N2820 G1 Z-26.5 F400.
N2830 X227.8 F480.
N2840 Z10. F400.
N2850 G0 X-230.95
N2860 G1 Z-27. F400.
N2870 X227.8 F480.
N2880 Z10. F400.
N2890 G0 X-230.95
N2900 G1 Z-27.5 F400.
N2910 X227.8 F480.
N2920 Z10. F400.
N2930 G0 X-230.95
N2940 G1 Z-28. F400.
N2950 X227.8 F480.
N2960 Z10. F400.
N2970 G0 X-230.95
N2980 G1 Z-28.5 F400.
N2990 X227.8 F480.
N3040 Z10. F400.
N3050 Z30.
N3060 M5
N3090 M30
%

Código G para AISI 304 VMÁX

% H₁,MX--,

N110 G0 G80

N120 T8 D8

N135 M6

N130 G1 X-190.95 Y0. F500

N135 S1360 M3

N150 Z15.

N160 G1 Z-.5 F400.

N170 X187.8 F680.

N180 Z10. F400.

N190 G0 Z24.5

N200 X-190.95

N210 Z10.

N220 G1 Z-1. F400.

N230 X187.8 F680.

N240 Z10. F400.

N250 G0 Z24.

N260 X-190.95

N270 Z10.

N280 G1 Z-1.5 F400.

N290 X187.8 F680.

N300 Z10. F400.

N310 G0 Z23.5

N320 X-190.95

N330 Z10.

N340 G1 Z-2. F400.

N350 X187.8 F680.

N360 Z10. F400.

N370 G0 Z23.

N380 X-190.95

N390 Z10.

N400 G1 Z-2.5 F400.

N410 X187.8 F680.

N420 Z10. F400.

N430 G0 Z22.5

N440 X-190.95

N450 Z10.

N460 G1 Z-3. F400.

N470 X187.8 F680.

N480 Z10. F400.

N490 G0 Z22.

N500 X-190.95

N510 Z10.

N520 G1 Z-3.5 F400.

N530 X187.8 F680.

N540 Z10. F400.

N550 G0 Z21.5

N560 X-190.95

N570 Z10.

N580 G1 Z-4. F400.

N590 X187.8 F680.

N600 Z10. F400.

N610 G0 Z21.

N620 X-190.95

N630 Z10.

N640 G1 Z-4.5 F400.

N650 X187.8 F680.

N660 Z10. F400.

N670 G0 Z20.5

N680 X-190.95
N690 Z10.
N700 G1 Z-5. F400.
N710 X187.8 F680.
N720 Z10. F400.
N730 G0 Z20.
N740 X-190.95
N750 Z10.
N760 G1 Z-5.5 F400.
N770 X187.8 F680.
N780 Z10. F400.
N790 G0 Z19.5
N800 X-190.95
N810 Z10.
N820 G1 Z-6. F400.
N830 X187.8 F680.
N840 Z10. F400.
N850 G0 Z19.
N860 X-190.95
N870 Z10.
N880 G1 Z-6.5 F400.
N890 X187.8 F680.
N900 Z10. F400.
N910 G0 Z18.5
N920 X-190.95
N930 Z10.
N940 G1 Z-7. F400.
N950 X187.8 F680.
N960 Z10. F400.
N970 G0 Z18.
N980 X-190.95
N990 Z10.
N1000 G1 Z-7.5 F400.
N1010 X187.8 F680.
N1020 Z10. F400.
N1030 G0 Z17.5
N1040 X-190.95
N1050 Z10.
N1060 G1 Z-8. F400.
N1070 X187.8 F680.
N1080 Z10. F400.
N1090 G0 Z17.
N1100 X-190.95
N1110 Z10.
N1120 G1 Z-8.5 F400.
N1130 X187.8 F680.
N1140 Z10. F400.
N1150 G0 Z16.5
N1160 X-190.95
N1170 Z10.
N1180 G1 Z-9. F400.
N1190 X187.8 F680.
N1200 Z10. F400.
N1210 G0 Z16.
N1220 X-190.95
N1230 Z10.
N1240 G1 Z-9.5 F400.
N1250 X187.8 F680.
N1260 Z10. F400.
N1270 G0 Z15.5

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| N1280 X-190.95 | N1580 X-190.95 |
| N1290 Z10. | N1590 Z10. |
| N1300 G1 Z-10. F400. | N1600 G1 Z-12.5 F400. |
| N1310 X187.8 F680. | N1610 X187.8 F680. |
| N1320 Z10. F400. | N1620 Z10. F400. |
| N1330 G0 Z15. | N1630 G0 Z12.5 |
| N1340 X-190.95 | N1640 X-190.95 |
| N1350 Z10. | N1650 Z10. |
| N1360 G1 Z-10.5 F400. | N1660 G1 Z-13. F400. |
| N1370 X187.8 F680. | N1670 X187.8 F680. |
| N1380 Z10. F400. | N1680 Z10. F400. |
| N1390 G0 Z14.5 | N1690 G0 Z12. |
| N1400 X-190.95 | N1700 X-190.95 |
| N1410 Z10. | N1710 Z10. |
| N1420 G1 Z-11. F400. | N1720 G1 Z-13.5 F400. |
| N1430 X187.8 F680. | N1730 X187.8 F680. |
| N1440 Z10. F400. | N1740 Z10. F400. |
| N1450 G0 Z14. | N1750 G0 Z11.5 |
| N1460 X-190.95 | N1760 X-190.95 |
| N1470 Z10. | N1770 Z10. |
| N1480 G1 Z-11.5 F400. | N1780 G1 Z-14. F400. |
| N1490 X187.8 F680. | N1790 X187.8 F680. |
| N1500 Z10. F400. | N1800 Z10. F400. |
| N1510 G0 Z13.5 | N1810 G0 Z11. |
| N1520 X-190.95 | N1820 X-190.95 |
| N1530 Z10. | N1830 Z10. |
| N1540 G1 Z-12. F400. | N1840 G1 Z-14.5 F400. |
| N1550 X187.8 F680. | N1850 X187.8 F680. |
| N1560 Z10. F400. | N1860 Z10. F400. |
| N1570 G0 Z13. | N1870 G0 Z10.5 |

N1880 X-190.95
N1890 Z10.
N1900 G1 Z-15. F400.
N1910 X187.8 F680.
N1920 Z10. F400.
N1930 G0 X-190.95
N1940 G1 Z-15.5 F400.
N1950 X187.8 F680.
N1960 Z10. F400.
N1970 G0 X-190.95
N1980 G1 Z-16. F400.
N1990 X187.8 F680.
N2000 Z10. F400.
N2010 G0 X-190.95
N2020 G1 Z-16.5 F400.
N2030 X187.8 F680.
N2040 Z10. F400.
N2050 G0 X-190.95
N2060 G1 Z-17. F400.
N2070 X187.8 F680.
N2080 Z10. F400.
N2090 G0 X-190.95
N2100 G1 Z-17.5 F400.
N2110 X187.8 F680.
N2120 Z10. F400.
N2130 G0 X-190.95
N2140 G1 Z-18. F400.
N2150 X187.8 F680.
N2160 Z10. F400.
N2170 G0 X-190.95
N2180 G1 Z-18.5 F400.
N2190 X187.8 F680.
N2200 Z10. F400.
N2210 G0 X-190.95
N2220 G1 Z-19. F400.
N2230 X187.8 F680.
N2240 Z10. F400.
N2250 G0 X-190.95
N2260 G1 Z-19.5 F400.
N2270 X187.8 F680.
N2280 Z10. F400.
N2290 G0 X-190.95
N2300 G1 Z-20. F400.
N2310 X187.8 F680.
N2320 Z10. F400.
N2330 G0 X-190.95
N2340 G1 Z-20.5 F400.
N2350 X187.8 F680.
N2360 Z10. F400.
N2370 G0 X-190.95
N2380 G1 Z-21. F400.
N2390 X187.8 F680.
N2400 Z10. F400.
N2410 G0 X-190.95
N2420 G1 Z-21.5 F400.
N2430 X187.8 F680.
N2440 Z10. F400.
N2450 G0 X-190.95
N2460 G1 Z-22. F400.
N2470 X187.8 F680.

N2480 Z10. F400.
N2490 G0 X-190.95
N2500 G1 Z-22.5 F400.
N2510 X187.8 F680.
N2520 Z10. F400.
N2530 G0 X-190.95
N2540 G1 Z-23. F400.
N2550 X187.8 F680.
N2560 Z10. F400.
N2570 G0 X-190.95
N2580 G1 Z-23.5 F400.
N2590 X187.8 F680.
N2600 Z10. F400.
N2610 G0 X-190.95
N2620 G1 Z-24. F400.
N2630 X187.8 F680.
N2640 Z10. F400.
N2650 G0 X-190.95
N2660 G1 Z-24.5 F400.
N2670 X187.8 F680.
N2680 Z10. F400.
N2690 G0 X-190.95
N2700 G1 Z-25. F400.
N2710 X187.8 F680.
N2720 Z10. F400.
N2730 G0 X-190.95
N2740 G1 Z-25.5 F400.
N2750 X187.8 F680.
N2760 Z10. F400.
N2770 G0 X-190.95
N2780 G1 Z-26. F400.
N2790 X187.8 F680.
N2800 Z10. F400.
N2810 G0 X-190.95
N2820 G1 Z-26.5 F400.
N2830 X187.8 F680.
N2840 Z10. F400.
N2850 G0 X-190.95
N2860 G1 Z-27. F400.
N2870 X187.8 F680.
N2880 Z10. F400.
N2890 G0 X-190.95
N2900 G1 Z-27.5 F400.
N2910 X187.8 F680.
N2920 Z10. F400.
N2930 G0 X-190.95
N2940 G1 Z-28. F400.
N2950 X187.8 F680.
N2960 Z10. F400.
N2970 G0 X-190.95
N2980 G1 Z-28.5 F400.
N2990 X187.8 F680.
N3000 Z10. F400.
N3010 G0 X-190.95
N3020 G1 Z-29. F400.
N3030 X187.8 F680.
N3040 Z10. F400.
N3060 M5
N3090 M30
%