



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

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

TEMA:

**“ANÁLISIS INTEGRAL DE LA INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE
MECANIZADO Y LUBRICANTES ECOEFICIENTES EN LA PRODUCTIVIDAD Y
CALIDAD SUPERFICIAL EN PROCESOS DE MECANIZADO SOSTENIBLE DE
ACEROS.”**

AUTORES: Fabián Patricio Celi Mariño

Melanie Doménica Núñez Núñez

TUTOR: Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, MSc.

AMBATO – ECUADOR

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico con el tema: **“ANÁLISIS INTEGRAL DE LA INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE MECANIZADO Y LUBRICANTES ECOEFICIENTES EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD SUPERFICIAL EN PROCESOS DE MECANIZADO SOSTENIBLE DE ACEROS”**, elaborado por el señor Fabián Patricio Celi Mariño, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0605308089, y la señorita Melanie Doménica Núñez Núñez portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 1805395124, estudiantes de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, agosto 2024



Ing. Diego Fernando Núñez Núñez, MSc.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Fabián Patricio Celi Mariño**, con C.I: 0605308089 y **Melanie Doménica Núñez Núñez**, con C.I: 1805395124, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS INTEGRAL DE LA INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE MECANIZADO Y LUBRICANTES ECOEFICIENTES EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD SUPERFICIAL EN PROCESOS DE MECANIZADO SOSTENIBLE DE ACEROS”**, así como los análisis estadísticos, gráficos, comparativas, guía de uso, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del Trabajo, a excepción de la referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2024



Fabian Patricio Celi Mariño

C.I. 0605308089

AUTOR



Melanie Doménica Núñez Núñez

C.I. 1805395124

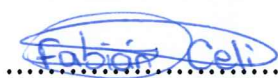
AUTOR

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, agosto 2024



Fabian Patricio Celi Mariño

C.I. 0605308089

AUTOR



Melanie Doménica Núñez Núñez

C.I. 1805395124

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por los estudiantes Fabián Patricio Celi Mariño y Melanie Doménica Núñez Núñez de la Carrera de Mecánica, bajo el tema: **“ANÁLISIS INTEGRAL DE LA INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE MECANIZADO Y LUBRICANTES ECOEFICIENTES EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD SUPERFICIAL EN PROCESOS DE MECANIZADO SOSTENIBLE DE ACEROS”**

Ambato, agosto 2024

Para constancia firman:



Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A la memoria de mi hermano Delpiero, cuya ausencia ha dejado un vacío irreparable en nuestras vidas, pero cuyo recuerdo vive en mi corazón como una fuente de inspiración y fortaleza.

A mis queridos padres Fabián y Mercedes, cuya inquebrantable fe en mí ha sido el pilar sobre el que he construido mis sueños. Su amor, apoyo y sacrificios constantes me han guiado en cada paso de este camino.

A mis amigos y compañeros de estudio, por los pequeños momentos compartidos, hicieron de esta travesía una de las experiencias más gratas e inolvidables.

A mis estimados docentes que fueron guía en este corto trayecto académico con su conocimiento y paciencia.

Humildemente dedico este trabajo a todas las personas que me han enseñado y dejado huellas en el corazón.

Fabián Celi

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Diego y Susana, cuya guía y bendiciones han iluminado cada paso de este camino, su ejemplo de perseverancia y dedicación ha sido mi mayor inspiración.

A mi esposo, Julio, por su constante apoyo, comprensión y por impulsarme a ser mejor cada día. Gracias por estar a mi lado en cada momento, brindándome fuerza y ánimo para seguir adelante.

A mi hijo Noah, quien aún está en mi vientre, pero ya ha sido una fuente inmensa de motivación y amor. Su llegada me ha dado el impulso final para culminar esta etapa tan importante.

A mis hermanos, Fernando, Jessenia y Raúl, y a mis sobrinos Emily, Alejandro, Sofía y Mathias por su cariño y apoyo constante. Siempre hemos estado juntos en las buenas y en las malas, y su esfuerzo ha sido un ejemplo para seguir. Además, a mis cuñados Maritza y Mauricio, quienes se han preocupado por mi futuro y me han dado apoyo en todo momento.

Finalmente, a todos los docentes que, con su dedicación y sabiduría, han dejado una huella imborrable en mi formación profesional. Gracias por enseñarme a soñar y a luchar por mis metas.

Melanie Núñez

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar cada desafío que se presentó en el camino.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por inculcarme los valores del esfuerzo y la dedicación. Sin su respaldo, este logro no habría sido posible.

A la memoria de mi hermano, cuyo recuerdo me ha dado la fuerza y la motivación para seguir adelante en los momentos más difíciles.

A mi tutor de tesis, Diego Núñez, por su guía experta, paciencia y valiosos consejos a lo largo de este proceso. Su orientación ha sido fundamental para la culminación exitosa de este trabajo.

A mis amigos y compañeros de la Universidad Técnica de Ambato, por su colaboración y apoyo durante estos años de estudio.

Fabián Celi

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este importante viaje. En primer lugar, doy gracias a Dios, por guiar mi camino y bendecir cada paso que he dado. Sin su luz y guía, no hubiera sido posible alcanzar este logro.

A mis queridos padres, Diego y Susana, les debo todo. Gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y por creer en mí en todo momento. A mi amado esposo, Julio, gracias por ser mi roca, por impulsarme a ser mejor cada día y por su apoyo incansable. A mi pequeño Noah, mi mayor inspiración, gracias por darme la fuerza final para culminar mi vida universitaria.

Además, quiero agradecer a mis hermanos, Fernando, Jessenia y Raúl, quienes siempre han sido pilares fundamentales en mi vida. Un agradecimiento especial a mi hermano Fernando, quien ha sido como un segundo padre para mí. Su apoyo incondicional y ayuda en la realización de esta tesis han sido cruciales.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a todos los docentes que dejaron una huella en mi vida. Gracias por sus enseñanzas y por guiarme en el camino hacia convertirme en una profesional llena de sueños y metas. Su dedicación y sabiduría han sido una fuente de inspiración constante para mí.

Melanie Núñez

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
INDICE DE FIGURAS	xvii
INDICE DE TABLAS	xix
ABREVIATURA	xxvii
RESUMEN EJECUTIVO	xxviii
ABSTRACT	xxix
CAPITULO 1	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo general	12

1.2.2.	Objetivos específicos.....	12
1.3.	Hipótesis.....	13
1.3.1.	Señalamiento de las variables de la hipótesis.....	13
1.3.1.1.	Variable dependiente	13
1.3.1.2.	Variable independiente	13
1.4.	Fundamentación teórica	13
1.4.1.	Contacto entre la viruta y la herramienta	13
1.4.2.	Procesos de mecanizado por arranque de viruta	14
1.4.3.	Materiales y herramientas de corte.....	17
1.4.4.	Duración de la vida de la herramienta.....	18
1.4.5.	Mecanizado de alto rendimiento	20
1.4.6.	Fundamentos de la técnica MQL.....	21
1.4.7.	Estadística descriptiva	23
1.4.8.	Distribuciones de frecuencias.....	25
1.4.9.	Parámetros de centralización.....	25
1.4.10.	Medidas de dispersión absolutas	27
1.4.11.	Estadística inferencial.....	28
1.4.12.	RStudio:	28
1.4.13.	Análisis ANOVA.....	29
1.4.14.	Análisis correlacional	30
CAPITULO II	.....	31
2.	METODOLOGÍA.....	31
2.1.	Enfoque	31
2.2.	Alcance.....	31

2.3.	Tipo de investigación	32
2.3.1.	Bibliográfica.....	32
2.3.2.	Descriptiva	32
2.3.3.	Experimental	32
I.	Metodología para el análisis estadístico integral	35
II.	Metodología para la presentación de resultados estadísticos de la influencia de los parámetros de mecanizado y lubricantes.....	43
III.	Metodología para la validación de resultados	43
1.	Materiales	44
1.1.	Selección del material para el mecanizado.....	44
1.2.	Dimensiones de las probetas	45
1.3.	Selección del portaherramientas.....	45
1.3.1.	Selección de la plaquita de corte	47
1.3.2.	Aceite soluble	49
1.3.3.	Nanopartículas de Óxido de Titanio (TiO ₂).....	50
1.3.6.	Equipos.....	53
1.4.	Diseño de experimentos	58
1.4.1.	Integridad superficial.....	58
1.4.2.	Metodología para la evaluación de la rugosidad superficial	59
1.4.3.	Metodología para la evaluación de la productividad.....	60
1.5.	Cálculo de los parámetros de corte.....	62
1.5.1.	Velocidad de corte para fresado	62
1.5.2.	Velocidad de avance para fresado	62
1.5.3.	Velocidad de corte para torneado	63

1.5.4.	Velocidad de corte para torneado.....	63
1.5.5.	Cálculos de parámetros de corte para fresado	63
1.5.6.	Cálculo de parámetros de corte para torneado	65
1.6.	Operacionalización de variables.....	65
	Variable Independiente: Parámetros de mecanizado y lubricantes ecoeficientes.	65
1.6.1.	Variable Dependiente: Productividad y calidad superficial en los procesos de mecanizado de aceros.....	66
CAPITULO III		68
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
3.1.	Análisis estadístico de los parámetros de mecanizado	69
3.1.1.	Análisis ANOVA	69
3.2.	Influencia de los parámetros de corte en la rugosidad	161
3.2.1.	Influencia de radio de punta en la rugosidad.....	161
3.2.2.	Influencia la velocidad de avance en la rugosidad.	165
3.3.	Influencia de los parámetros de corte en la evolución del desgaste.	166
3.3.1.	Influencia de la velocidad de corte en la evolución del desgaste.	166
3.4.	Influencia de los lubricantes-refrigerantes en la rugosidad.....	186
3.4.1.	Influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante en la rugosidad.....	186
3.4.2.	Influencia del método híbrido y nanopartículas en la rugosidad.....	188
3.4.3.	Influencia de la concentración de nano partículas en la rugosidad.	189
3.4.4.	Influencia de la lubricación híbrida en la rugosidad.	191
3.4.5.	Influencia de los ángulos de incidencia del fluido y número de racores en la rugosidad.....	193
3.4.6.	Influencia de los líquidos iónicos en la rugosidad superficial.....	205
3.5.	Influencia del ángulo de incidencia y número de racores en el desgaste de flanco	206

3.5.1.	Influencia de los ángulos de incidencia en la evolución del desgaste.....	206
3.5.2.	Influencia del número de racores en la evolución del desgaste.	211
3.6.	Análisis.....	217
3.7.	Toma de datos	219
3.7.1.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 1 inserto 1 (Refrigeración con taladrina a 13 min) del AISI 304.....	220
3.7.2.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 1 inserto 2 (Refrigeración con taladrina a 13 min) del AISI 304.....	221
3.7.3.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 1 inserto 3 (Refrigeración con taladrina a 13 min) del AISI 304.....	222
3.7.4.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 1 inserto 4 (Refrigeración con taladrina a 13 min) del AISI 304.....	223
3.7.5.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ fluido criogénico a 34 min) del AISI 304	224
3.7.6.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 2 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ más fluido criogénico 34 min) del AISI 304.....	225
3.7.7.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 3 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ más fluido criogénico a 34 min) del AISI 304.....	226
3.7.8.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 4 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ más fluido criogénico a 34 min) del AISI 304.....	227
3.7.9.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ más fluido criogénico a 40 min) del AISI 304.....	228
3.7.10.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 2 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ más fluido criogénico a 40 min) del AISI 304.....	229
3.7.11.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 3 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ más fluido criogénico a 40 min) del AISI 304.....	230
3.7.12.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 4 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ más fluido criogénico a 40 min) del AISI 304.....	231
3.7.13.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 1 (Refrigeración con MQL a 26 min) del AISI 304.....	232

3.7.14.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 2 (Refrigeración con MQL a 26 min) del AISI 304	233
3.7.15.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 3 (Refrigeración con MQL a 26 min) del AISI 304	234
3.7.16.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 4 (Refrigeración con MQL a 26 min) del AISI 304	235
3.7.17.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 1 (Refrigeración con MQL a 30 min) del AISI 304	236
3.7.18.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 2 (Refrigeración con MQL a 30 min) del AISI 304	237
3.7.19.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 3 (Refrigeración con MQL a 30 min) del AISI 304	238
3.7.20.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 4 (Refrigeración con MQL a 24 min) del AISI 30	239
3.7.21.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL Al ₂ O ₃ más fluido criogénico a 18 min) del AISI 304	240
3.7.22.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 2 (Refrigeración con nano MQL Al ₂ O ₃ más fluido criogénico a 18 min) del AISI 304	241
3.7.23.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 3 (Refrigeración con nano MQL Al ₂ O ₃ más fluido criogénico a 18 min) del AISI 304	242
3.7.24.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 4 (Refrigeración con nano MQL Al ₂ O ₃ más fluido criogénico a 18 min) del AISI 304	243
3.7.25.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL Al ₂ O ₃ más fluido criogénico a 24 min) del AISI 304	244
3.7.26.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 2 (Refrigeración con nano MQL Al ₂ O ₃ más fluido criogénico a 24 min) del AISI 304	245
3.7.27.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 3 (Refrigeración con nano MQL Al ₂ O ₃ más fluido criogénico a 24 min) del AISI 304	246
3.7.28.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 4 (Refrigeración con nano MQL Al ₂ O ₃ más fluido criogénico a 24 min) del AISI 304	247
3.7.29.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 5 inserto 1 (Seco a 36 min) del AISI 304	248

3.7.30.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 6 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ al 0.5% a 24 min) del AISI 304.....	249
3.7.31.	Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 6 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL TiO ₂ al 0.5% a 35 min) del AISI 304.....	250
3.8.	Recomendaciones prácticas y estrategias óptimas para un mecanizado de alto rendimiento.	251
3.8.1.	Manual Técnico de Recomendaciones e Instalación para Mecanizado por MQL	251
3.8.2.	Manual Técnico: Implementación de Nanopartículas en Sistema MQL	260
3.8.3.	Manual Técnico: Implementación de CO ₂ en Sistema MQL	264
3.8.4.	Recomendaciones generales.....	270
3.9.	Contraste de resultados.....	270
3.9.1.	Comparación de contrastes de los ensayos realizados en la fresadora.....	270
3.9.2.	Comparación de contrastes de los ensayos realizados en el torno	278
3.9.3.	Cálculo de errores entre los tiempos de mecanizado	281
3.10.	Verificación de hipótesis	282
CAPITULO IV		290
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	290
4.1.	CONCLUSIONES	290
4.2.	RECOMENDACIONES	292
5.	BIBLIOGRAFIA	294
6.	ANEXOS	302

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tiempo de maquinado vs Desgaste de flanco (Sistema de inundación).....	7
Figura 2. Tiempo de maquinado vs Desgaste de flanco (Sistema MQL).....	8
Figura 3. Tiempo de maquinado vs Desgaste de flanco, a $V_c = 360$ m/min. (Inundación vs MQL).....	9
Figura 4. Tiempo de maquinado vs Desgaste de flanco, a $V_c = 200$ m/min. (Inundación vs MQL).....	9
Figura 5. Proceso de torneado.	14
Figura 6. Proceso de fresado.	15
Figura 7. Proceso de perforado.....	16
Figura 8. Proceso de rectificado.	16
Figura 9. Proceso de roscado.....	17
Figura 10. Explicación de la codificación de los trabajos de titulación sus probetas.	33
Figura 11. Diagrama de estructura de estadística.....	36
Figura 12. Orden del tratamiento de los datos de las tesis.	37
Figura 13. Matriz de RStudio con los datos extraídos de TTT02, lubricación en seco.	42
Figura 14. Dimensionamiento de la probeta para los ensayos en la fresadora CNC.	45
Figura 15. Dimensiones del portaherramientas de la fresadora.	46
Figura 16. Medidas del portaherramientas usada en torneado.	47
Figura 17. Inserto CNMG 120404 MF 2025 para los ensayos de torneado.....	48
Figura 18. Medidas del inserto para torneado CNMG 120404 MF.	49

Figura 19. Soluble OIL D para ensayos a inundación.....	50
Figura 20. Nano partículas de TiO_2	50
Figura 21. Nano partículas de Al_2O_3	51
Figura 22. Aceite UNIST COOLUBE 2210XP.	52
Figura 23. Fresadora "CNC TRAVIS M-1000" del laboratorio de Mecánica.	53
Figura 24. Torno HAAS ST10 del laboratorio de Mecánica.	54
Figura 25. Sistema de MQL.	55
Figura 26. Sistema criogénico trabajado en los ensayos de fresado..	56
Figura 27. Microscopio de barrido TESCAN del taller de mecánica.	57
Figura 28. Homogeneizador de los laboratorios de metalografía.	58
Figura 29. Gráfica de Taylor del método por inundación con el resultado obtenido.....	272
Figura 30. Gráfica de Taylor del método por Nanocriomecanizado TiO_2 con el resultado obtenido.....	274
Figura 31. Gráfica de Taylor del método por MQL con el resultado obtenido.....	276
Figura 32. Gráfica de Taylor del método por Nanocriomecanizado Al_2O_3 con el resultado obtenido.....	277
Figura 33. Gráfica de Taylor del método en seco con el resultado obtenido.	279
Figura 34. Gráfica de Taylor del método por MQL + 0.5% TiO_2 con el resultado obtenido.	280

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Codificación de los documentos de investigaciones previas.	33
Tabla 2. Extracción de datos del trabajo de investigación TTT02.	39
Tabla 3. Ejemplo de análisis ANOVA.	41
Tabla 4. Fórmulas de la matriz de RStudio.	42
Tabla 5. Cálculos para la obtención de la matriz.	42
Tabla 6. Propiedades químicas, físicas y mecánicas del acero inoxidable AISI 304.	44
Tabla 7. Medidas de la SEET12T3-DM YBG202.	47
Tabla 8. Propiedades de las nanopartículas de TiO ₂ en fase Anatasa.	50
Tabla 9. Propiedades de las nanopartículas de Al ₂ O ₃	51
Tabla 10. Características del UNIST COOLUBE 2210XP.	52
Tabla 11. Especificaciones de la máquina fresadora utilizada para los ensayos.	53
Tabla 12. Especificaciones del Torno HAAS ST10.	54
Tabla 13. Corridas de diseño experimental.	61
Tabla 14. Análisis ANOVA de la TTF01 en desgaste de flanco.	69
Tabla 15. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF01 en inundación.	70
Tabla 16. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF01 en MQL.	73
Tabla 17. Análisis ANOVA de la TTT02 en rugosidad superficial.	79
Tabla 18. Análisis ANOVA de la TTT02 en desgaste de flanco.	80

Tabla 19. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 en seco en la rugosidad superficial.	81
Tabla 20. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL en la rugosidad superficial.....	82
Tabla 21. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL con un 0.25% de concentración de nano partículas de TiO ₂ en la rugosidad superficial.....	83
Tabla 22. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL con un 0.5% de concentración de nano partículas de TiO ₂ en la rugosidad superficial.....	84
Tabla 23. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL con un 1% de concentración de nano partículas de TiO ₂ en la rugosidad superficial.....	85
Tabla 24. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 en seco en el desgaste de flanco.....	87
Tabla 25. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL con un 0.5% de concentración de nano partículas de TiO ₂ en el desgaste de flanco.....	92
Tabla 26. Análisis ANOVA de la TTT03 en rugosidad superficial.....	99
Tabla 27. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT03 en seco en la rugosidad superficial.	100
Tabla 28. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT03 en MQL con un 0.5% de concentración de nano partículas de TiO ₂ y enfriamiento criogénico de CO ₂ en la rugosidad superficial.	101
Tabla 29. Análisis ANOVA de la TTT04 en rugosidad superficial.....	102
Tabla 30. Análisis ANOVA de la TTT04 en desgaste de flanco.	103

Tabla 31. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT04 con método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO ₂ y enfriado criogénico CO ₂ en rugosidad superficial.....	103
Tabla 32. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT04 con método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO ₂ y enfriado criogénico CO ₂ en desgaste de flanco.	112
Tabla 33. Análisis ANOVA de la TTF05 en rugosidad superficial	123
Tabla 34. Análisis ANOVA de la TTF05 en desgaste de flanco.	123
Tabla 35. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 en seco en rugosidad superficial.	124
Tabla 36. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4.	125
Tabla 37. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6 en rugosidad superficial.	126
Tabla 38. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4 en desgaste de flanco.	126
Tabla 39. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6 en desgaste de flanco..	128
Tabla 40. Análisis ANOVA de la TTF06 en rugosidad superficial.	130
Tabla 41. Análisis ANOVA de la TTF06 en desgaste de flanco.	131
Tabla 42. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL en acero AISI 1018 en rugosidad superficial.....	133

Tabla 43. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ y enfriamiento criogénico de CO ₂ en acero AISI 1018 en rugosidad superficial.....	133
Tabla 44. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL en acero AISI 304 en la rugosidad superficial.....	134
Tabla 45. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de nanopartículas de Al ₂ O ₃ y enfriamiento criogénico de CO ₂ en acero AISI 304 en la rugosidad superficial....	135
Tabla 46. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL en acero AISI 1018 en desgaste de flanco.	136
Tabla 47. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ y enfriamiento criogénico de CO ₂ en acero AISI 1018 en desgaste de flanco.	138
Tabla 48. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL en acero AISI 304 en desgaste de flanco.	142
Tabla 49. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de nanopartículas de Al ₂ O ₃ y enfriamiento criogénico de CO ₂ en acero AISI 304 en desgaste de flanco.	145
Tabla 50. Análisis ANOVA de la TTT07 en rugosidad superficial.	149
Tabla 51. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT07 con método de lubricación MQL a distintos aceites en la rugosidad superficial.....	150
Tabla 52. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT07 con MQL a distintos aceites y enfriado criogénico CO ₂ en la rugosidad superficial.	151

Tabla 53. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT07 con MQL, con 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO ₂ y enfriado criogénico CO ₂ en la rugosidad superficial.	152
Tabla 54. Análisis ANOVA de la TTF08 en el desgaste de flanco.....	153
Tabla 55. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF08 por inundación en el desgaste de flanco.	154
Tabla 56. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF08 por el método de lubricación híbrido en el desgaste de flanco.	156
Tabla 57. Correlación de Pearson de la TTT02 en seco de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.	161
Tabla 58. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de lubricación MQL de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.	162
Tabla 59. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.25% de TiO ₂ de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.	163
Tabla 60. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO ₂ de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.	163
Tabla 61. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 1% de TiO ₂ de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.	164
Tabla 62. Correlación de Pearson de la TTT03 con método de lubricación seco de la influencia de la velocidad de avance en la rugosidad superficial.....	165
Tabla 63. Correlación de Pearson de la TTT03 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ de la influencia de la velocidad de avance en la rugosidad superficial.....	166

Tabla 64. Correlación de Pearson de la TTF01 con método de lubricación inundación de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.	166
Tabla 65. Correlación de Pearson de la TTF01 con método de lubricación MQL de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.	168
Tabla 66. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de mecanizado en seco de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco	170
Tabla 67. Correlación de Pearson de la TTT02 con lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco	173
Tabla 68. Correlación de Pearson de la TTF04 con lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco	176
Tabla 69. Correlación de Pearson de la TTT05 con lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4 de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.	183
Tabla 70. Correlación de Pearson de la TTT05 con lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6 de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.	185
Tabla 71. Correlación de Pearson de la TTT07 con método de lubricación MQL de la influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante en la rugosidad superficial.	186
Tabla 72. Correlación de Pearson de la TTT07 con método de lubricación MQL y método de enfriamiento criogénico por CO ₂ de la influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante en la rugosidad superficial.....	187
Tabla 73. Correlación de Pearson de la TTT07 con método de lubricación MQL con concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ y método de enfriamiento criogénico por CO ₂ de la influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante en la rugosidad superficial.	187
Tabla 74. Codificación para realizar el análisis correlacional de la TTT07.....	188

Tabla 75. Correlación de Pearson de la TTT07 del aceite SAE20W50 con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO ₂ y MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂	188
Tabla 76. Correlación de Pearson de la TTT07 del aceite de girasol con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO ₂ y MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂	188
Tabla 77. Correlación de Pearson de la TTT07 del aceite de oliva con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO ₂ y MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂	189
Tabla 78. Correlación de Pearson de la TTT02 a concentraciones de 0, 0.25, 0.5 y 1 por ciento de nanopartículas de TiO ₂ en el sistema MQL.	190
Tabla 79. Correlación de Pearson de la TTT02 a concentraciones de 0, 0.25, 0.5 y 1 por ciento de nanopartículas de TiO ₂ en el sistema MQL.	190
Tabla 80. Correlación de Pearson de la TTT02 a concentraciones de 0, 0.25, 0.5 y 1 por ciento de nanopartículas de TiO ₂ en el sistema MQL.	190
Tabla 81. Correlación de Pearson de la TTT02 a concentraciones de 0, 0.25, 0.5 y 1 por ciento de nanopartículas de TiO ₂ en el sistema MQL.	191
Tabla 82. Codificación para realizar el análisis correlacional de la TTF06.....	191
Tabla 83. Correlación de Pearson de la TTF06 de la influencia de la lubricación híbrida en la rugosidad.	192
Tabla 84. Correlación de Pearson de la TTF04 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ de la influencia del ángulo de influencia en la rugosidad superficial.	193
Tabla 85. Correlación de Pearson de la TTF04 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ de la influencia del número de racores en la rugosidad superficial	199
Tabla 86. Codificación para realizar el análisis correlacional de la TTF05.....	205

Tabla 87. Correlación de Pearson de la influencia de los líquidos iónicos en la rugosidad superficial.	205
Tabla 88. Correlación de Pearson de la TTF04 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ de la influencia del ángulo de incidencia en la evolución del desgaste de flanco	206
Tabla 89. Correlación de Pearson de la TTF04 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ de la influencia del número de racores en el desgaste de flanco.....	211
Tabla 90. Resumen de las correlaciones realizadas a los datos de rugosidad superficial en todos los trabajos de titulación trabajados.	284
Tabla 91. Resumen de las correlaciones realizadas a los datos de desgaste de flanco en todos los trabajos de titulación trabajados.	286
Tabla 92. Resultado de la incidencia de los parámetros de mecanizado, tipo de lubricación y fluidos iónicos en el mecanizado del acero AISI 304 y 1018, son todos aceros AISI 304 en caso de que no se especifique.....	218
Tabla 93. Resumen de los resultados obtenidos del mecanizado en la fresadora.	271
Tabla 94. Resumen de los resultados obtenidos del mecanizado en el torno.....	278
Tabla 95. Errores absolutos y relativos sobre el tiempo de mecanizado calculado vs el obtenido al fallo de la herramienta de corte.	281
Tabla 96. Resumen de resultados obtenidos del análisis ANOVA en rugosidad superficial.	282
Tabla 97. Resumen de resultados obtenidos del análisis ANOVA en desgaste de flanco.	283

ABREVIATURA

MQL = Cantidad mínima de lubricante.

Ra = Rugosidad superficial.

Vc = Velocidad de corte.

α = Valor de significancia.

H0 = Hipótesis nula.

H1 = Hipótesis alternativa.

Cryo+NMQL TiO₂ = Sistema de lubricación de mínima cantidad con nanopartículas de dióxido de titanio y enfriamiento con CO₂.

Cryo+NMQL Al₂O₃ = Sistema de lubricación de mínima cantidad con nanopartículas de alúmina y enfriamiento con CO₂.

Vf = Velocidad de avance.

Vb = Desgaste de flanco uniforme.

Vb máx = Desgaste de flanco máximo.

RESUMEN EJECUTIVO

Hay una discrepancia entre los métodos tradicionales de mecanizado y la necesidad urgente de implementar estrategias ecológicas y sostenibles en la industria del acero y mecanizado en Ecuador. Esta falta de alineación se muestra en la elección de lubricantes y la optimización de los parámetros de mecanizado, afectando la producción y calidad superficial de los productos. Alinear los procesos de mecanizado con principios de sostenibilidad es crucial para la eficiencia del sector y su contribución al crecimiento sostenible del país. El objetivo principal es evaluar la relación entre estas variables y determinar estrategias óptimas para el mecanizado sostenible de aceros.

La metodología empleada se basa en tres etapas: Se realizó el análisis correlacional de datos de investigaciones previas para identificar relaciones entre las variables de estudio. Se desarrolló las recomendaciones y estrategias para la implementación de refrigeración sostenible en procesos de mecanizado. Se validó experimentalmente las predicciones mediante ensayos específicos que permitieron comprobar las hipótesis planteadas. Los resultados obtenidos confirman la influencia significativa de los parámetros de mecanizado y lubricantes ecoeficientes en la productividad y calidad superficial del mecanizado de aceros. Se destaca el potencial de la lubricación mínima por cantidad (MQL) para prolongar la vida útil de la herramienta y reducir el impacto ambiental del proceso.

Como resultado se obtuvo que la velocidad de corte, velocidad de husillo, radio de punta, la concentración de nanopartículas, tipo de aceite lubricante, número de racores, ángulo de incidencia y método de refrigeración son variables que influenciaron en la calidad superficial de la parte mecanizada y el desgaste de flanco de las herramientas de corte.

Palabras Clave: Mecanizado sostenible, aceros, productividad, calidad superficial, parámetros de mecanizado, lubricantes ecoeficientes, MQL.

ABSTRACT

There is a discrepancy between traditional machining methods and the urgent need to implement ecological and sustainable strategies in the steel and machining industry in Ecuador. This misalignment is evident in the choice of lubricants and the optimization of machining parameters, affecting the production and surface quality of products. Aligning machining processes with sustainability principles is crucial for the sector's efficiency and its contribution to the country's sustainable growth. The primary objective is to evaluate the relationship between these variables and determine optimal strategies for sustainable machining of steels.

The methodology employed is based on three stages: A correlational analysis of data from previous research was conducted to identify relationships between the study variables. Recommendations and strategies for implementing sustainable cooling in machining processes were developed. Experimental validation of the predictions was carried out through specific tests that allowed the hypotheses to be verified. The results obtained confirm the significant influence of machining parameters and eco-efficient lubricants on the productivity and surface quality of steel machining. The potential of Minimum Quantity Lubrication (MQL) to prolong tool life and reduce the environmental impact of the process is highlighted.

The results indicated that cutting speed, spindle speed, tool nose radius, nanoparticle concentration, type of lubricating oil, number of nozzles, incidence angle, and cooling method are variables that influenced surface quality and flank wear.

Keywords: Sustainable machining, steels, productivity, surface quality, machining parameters, eco-efficient lubricants, MQL.

CAPITULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

El mecanizado desempeña un papel esencial en la industria del acero al permitir la fabricación de piezas con formas y dimensiones precisas para una variedad de aplicaciones. Según datos de la World Steel Association, en 2022 se produjeron 1.866 millones de toneladas de acero a nivel mundial, destacando así la importancia de esta industria. Esta etapa, fundamental en la cadena de valor del acero, transforma el material en bruto en productos finales utilizables según [1].

El mecanizado de aceros abarca una amplia gama de productos, incluidos componentes automotrices como motores, transmisiones y chasis, así como maquinaria industrial que incluye herramientas, dispositivos y componentes de precisión. Además, juega un papel importante en la industria aeroespacial al contribuir a la producción de fuselajes, componentes de motores y piezas estructurales. La producción se encuentra en una situación difícil de combinar eficiencia y calidad con la gestión ambiental. Esta premisa se traduce en la exploración de métodos que maximizan la capacidad del material y reducen su impacto ambiental, especialmente en la mecanización del acero. Por lo tanto, es fundamental investigar cómo los parámetros de fresado y torneado y el uso de lubricantes ecológicos afectan la productividad y la calidad de la superficie dentro del marco de una técnica de fresado y torneado sostenible según [2].

La civilización moderna se basa en el acero, la aleación de hierro y el carbono, el material es esencial para una amplia gama de aplicaciones debido a su resistencia, ductilidad y versatilidad, sin embargo, el acero en bruto, tal como se extrae de la tierra, no es adecuado para la mayoría de los usos. El mecanizado es un conjunto de técnicas que convierten el acero sin procesar en piezas con formas y dimensiones precisas, lo que da vida a los productos que sustentan nuestro mundo según [3].

La mecanización de aceros es una actividad común en la industria actual. Se estima que más del 80% de las piezas de acero utilizadas en la actualidad están mecanizadas. Esta cifra demuestra el papel crucial que juega este proceso en la cadena de valor del acero según [4].

- Componentes automotrices: Las partes principales de los vehículos modernos, desde los motores y transmisiones hasta los chasis y carrocerías, están hechas de piezas de acero mecanizadas a mano. Con una demanda estimada de más de 500 millones de toneladas de acero mecanizado a nivel mundial, la industria automotriz es uno de los mayores consumidores [1].
- Maquinaria Industrial: Los componentes de precisión mecanizados en acero son el corazón de la industria fabricante, desde herramientas eléctricas hasta maquinaria pesada. La calidad del mecanizado del acero es fundamental para la eficiencia y la durabilidad de las máquinas. Se estima que las piezas mecanizadas en acero representan el 70% de las máquinas industriales [1].
- Construcción: Vigas, perfiles y estructuras metálicas de acero mecanizado se utilizan para construir los rascacielos que dominan nuestras ciudades, los puentes que cruzan nuestros ríos y las vías férreas que atraviesan nuestros paisajes. Alrededor del 40% del acero producido a nivel mundial se utiliza en la industria de la construcción, y la mayor parte de este acero debe ser mecanizado para cumplir con los requisitos de diseño y construcción [4].
- Electrodomésticos: Los electrodomésticos que usamos todos los días, desde lavadoras y refrigeradores hasta estufas y hornos, tienen partes mecanizadas hechas de acero. El acero debe ser duradero, resistente al calor y dimensionalmente preciso para que estos dispositivos funcionen correctamente. Se estima que alrededor del 30% de los electrodomésticos contienen componentes mecanizados en acero [1].
- Industria Aeroespacial: Los componentes mecanizados en acero de alta resistencia y precisión son esenciales para los aviones que surcan el cielo, los satélites que orbitan la Tierra y las naves espaciales que exploran el cosmos. La industria aeroespacial requiere los más altos estándares de calidad y rendimiento, y el mecanizado del acero es esencial para lograr esto. Se estima que las piezas mecanizadas representan el 20% del acero utilizado en la industria aeroespacial [1].

En la industria manufacturera, el mecanizado de aceros es un proceso esencial para dar forma a piezas metálicas con precisión y precisión, sin embargo, debido a la fricción entre la herramienta y la pieza de trabajo, este proceso genera calor en la zona de corte, un exceso de

calor puede dañar la calidad de las piezas y la eficiencia del proceso, pero una cantidad moderada de calor puede ser beneficiosa para el mecanizado según [5].

El calor tiene efectos como:

- **Desgaste acelerado de herramientas:** el calor excesivo hace que las herramientas de corte se desgasten más rápido, lo que reduce su vida útil y aumenta los costos de producción. La pérdida del filo de la herramienta, la formación de cráteres y la erosión de su superficie son signos de este desgaste [6].
- **Deformaciones y grietas en el material:** el calor excesivo puede distorsionar y deformar el material, lo que afecta su precisión dimensional y calidad superficial. En condiciones extremas, el estrés térmico provocado por el calor puede causar grietas en la pieza de trabajo, comprometiendo su integridad estructural [7].
- **Deterioro de la calidad superficial:** el calor excesivo puede causar rugosidades y marcas indeseables en la superficie del artículo. Dependiendo del uso previsto de la pieza, estas marcas pueden ser funcionales o estéticas [6].

El mecanizado en torno y fresa es esencial en la industria manufacturera porque permite la creación de piezas con formas y dimensiones precisas para una variedad de industrias. Sin embargo, el calor y la fricción producidos durante el proceso de mecanizado pueden tener un impacto en la vida útil de las herramientas, la calidad superficial de las piezas y la eficiencia del proceso. Los lubricantes son esenciales para reducir la fricción, disipar el calor y mejorar el rendimiento del mecanizado en este contexto según [8].

El desarrollo de nuevos lubricantes para mecanizado, especialmente en torno y fresa, ha experimentado un avance significativo en los últimos años. Estos nuevos lubricantes tienen muchas ventajas sobre los lubricantes tradicionales, como:

- **Mayor capacidad de disipación de calor:** Los nuevos lubricantes están hechos para absorber y disipar el calor de manera más eficiente, reduciendo la temperatura en la zona de corte y protegiendo las herramientas y las piezas de trabajo. En comparación con un lubricante tradicional, un lubricante nanofluido a base de dióxido de carbono redujo la temperatura en la zona de corte en un 20%, según un estudio publicado en la revista "Tribology International" [9].
- **Mejor lubricación y reducción del desgaste:** los nuevos lubricantes incorporan aditivos especiales que mejoran la lubricación entre la herramienta y la pieza de trabajo, lo que

reduce el desgaste y prolonga la vida útil de las herramientas. Según una investigación publicada en el "Journal of Materials Processing Technology", un lubricante a base de grafeno redujo el desgaste de las herramientas de fresa en un 30% en comparación con un lubricante tradicional [10].

- Aumento de la calidad superficial: Los nuevos lubricantes reducen las rugosidades y mejoran el acabado final de las piezas mecanizadas. Según un estudio publicado en la revista "CIRP Annals", un lubricante a base de nanofluidos con una cantidad mínima de lubricante (MQL) disminuyó la rugosidad superficial en un 15% en comparación con un lubricante tradicional [11]

En el estudio [12] el objetivo principal fue determinar cómo la cantidad mínima de lubricante afecta el acabado superficial del fresado de acero inoxidable AISI 304. En este estudio se utilizó un eje de 1,5 pulgadas de diámetro y 40 mm de longitud para mecanizar un hexágono de cinco superficies. Se procesaron 24 ejes en total, produciendo 120 sondas. Utilizando aceite soluble y aceite vegetal como fluidos refrigerantes, se compararon las condiciones de lubricación de inundación con la cantidad mínima de lubricante (MQL). El estudio se llevó a cabo en un centro de mecanizado CNC de la marca KIA, modificando el sistema de mínima cantidad de lubricante de la marca Miquel pro-i de Dropsa. Se utilizaron portaherramientas e insertos de metal duro Sandvik Coromant y se seleccionaron parámetros de corte como velocidad de giro del husillo, velocidad de avance y profundidad de corte de acuerdo con las recomendaciones para este proceso.

Se utilizó un rugosímetro Mitutoyo SJ210 según la norma ISO 1997 para medir la rugosidad superficial (Ra) de las sondas mecanizadas. Los resultados mostraron una mejora del 29.37% en comparación con la lubricación por inundación en el mejor de los casos. Esto demuestra la eficiencia del sistema de mínima cantidad de lubricante en mejorar el acabado superficial del fresado de acero inoxidable AISI 304, lo que permite trabajar a velocidades máximas en el centro de mecanizado, el cual resulta en una producción más rápida y eficiente. La mejora se debe a la capacidad superior del MQL para reducir la fricción y la generación de calor en la región de corte, lo que a su vez minimiza el desgaste de la herramienta y la deformación de la pieza de trabajo.

Además, los hallazgos del estudio [12] indican que el flujo de suministro máximo recomendado por el fabricante (480 ml/h) resulta en el óptimo acabado superficial. Esto se explica por el hecho de que un flujo mayor garantiza una lubricación y disipación de calor más efectivas, mientras que un flujo menor no es adecuado para cubrir la zona de corte de manera eficiente. Por otra parte, se observó que disminuir la velocidad de giro del husillo y la velocidad de avance, junto con utilizar una profundidad de corte intermedia (0.2 mm o 0.3 mm), conduce a una mejora en el acabado superficial. Esta mejora se atribuye a la reducción en la generación de calor y fricción asociada con velocidades y profundidades de corte más bajas. Los resultados del estudio evidencian que el sistema MQL utilizando aceite vegetal exhibe un desempeño superior en cuanto a acabado superficial, consumo de lubricante y sostenibilidad en contraposición a la lubricación por inundación convencional.

En la investigación [13] se examinó cómo funciona el uso de un sistema de lubricación mínima con aceite vegetal durante el proceso de torneado de acero AISI 304 con insertos de metal duro bajo diferentes condiciones de mecanizado. Se llevaron a cabo pruebas similares modificando la lubricación utilizando un método de inundación de taladrina. El torneado se realizó en un torno convencional, con ajustes de velocidad para cumplir con las recomendaciones del fabricante para insertos de metal duro. La profundidad de corte máxima era de 4 mm. Los insertos de metal duro de Sandvik se eligieron específicamente para este propósito. Un sistema de mínima cantidad de lubricación se incorpora y funciona con el sistema de lubricación y refrigeración del torno actual sin necesidad de modificaciones adicionales. Posteriormente, se utilizó un microscopio de barrido en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato para examinar las cuchillas sujetas a diferentes parámetros. Se encontró que el uso del sistema con una cantidad mínima de lubricación y aceite vegetal redujo significativamente el desgaste.

En esta investigación el sistema de mínima cantidad de lubricación (MQL) con aceite vegetal se destaca por su notable capacidad para reducir el desgaste de las herramientas de corte de metal duro durante el torneado de acero inoxidable AISI 304. Según el estudio realizado [14], se evidenció que el MQL con aceite vegetal reduce el desgaste promedio del flanco de la herramienta en un impresionante 63% en comparación con la tradicional lubricación por inundación. Esta disminución en el desgaste se atribuye a varias ventajas inherentes al MQL: en primer lugar, su capacidad para disminuir la fricción y el calor en la zona de corte al

proporcionar una capa delgada de lubricante dirigida directamente a dicha área, minimizando así la fricción entre la herramienta y la pieza de trabajo, lo que a su vez reduce la generación de calor, un factor crucial en el desgaste de la herramienta. Además, el MQL mejora la evacuación de virutas de la zona de corte, lo que contribuye a reducir aún más la fricción y el desgaste. Por otro lado, el aceite vegetal utilizado en el MQL tiene propiedades antioxidantes que protegen la herramienta contra la oxidación, prolongando así su vida útil. Esta prolongación en la vida útil de las herramientas de corte se traduce en una reducción del 64.33% en la necesidad de reemplazo en comparación con la lubricación por inundación, lo que conlleva a una reducción de los costos de mecanizado. Además de sus beneficios técnicos y económicos, el MQL se presenta como una alternativa sostenible a la lubricación por inundación, ya que reduce significativamente el consumo de lubricante y ofrece una opción más ecológica y económica. El uso de aceite vegetal como lubricante en el MQL también se alinea con prácticas más respetuosas con el medio ambiente al ser una alternativa sostenible a los lubricantes convencionales a base de petróleo. La efectividad del sistema MQL se extiende a una amplia variedad de condiciones de mecanizado, lo que lo convierte en una opción versátil para el torneado de acero inoxidable AISI 304, independientemente de las velocidades de corte y profundidades de corte utilizadas. Por último, la facilidad de implementación y uso del sistema MQL lo hace altamente atractivo para su aplicación en tornos convencionales, ya que no requiere modificaciones significativas en el torno y puede integrarse fácilmente en los procesos de mecanizado existentes, lo que mejora la eficiencia y la rentabilidad en el taller de mecanizado.

El estudio [15] investigó la vida útil de una herramienta de corte durante el fresado frontal (desbaste) en una fresadora CNC de acero AISI 1018. Se discuten los parámetros de mecanizado, la formación de virutas, la geometría y calidad de los insertos, las propiedades del material mecanizado y los diversos tipos de lubricación utilizados en el mecanizado. Con este conocimiento de los parámetros de mecanizado, se seleccionó el tipo de inserto, lubricante y parámetros de corte apropiados para el material en función de sus características. Posteriormente, se llevó a cabo la experimentación necesaria para determinar las velocidades de corte y mantener constantes los valores de avance por diente, profundidad de corte y parámetros de lubricación por inundación y cantidad mínima de lubricación (MQL) para los sistemas. Se utilizó un microscopio electrónico de barrido para evaluar el desgaste del flanco.

Finalmente, se utilizó la ecuación de Taylor para analizar la relación entre la velocidad de corte y el tiempo de mecanizado. Esto permitió resultados importantes sobre el comportamiento del desgaste del inserto con varios sistemas de lubricación. Los resultados preliminares indican que el uso de aceite vegetal como lubricante mejora la lubricación y aumenta la vida útil de las herramientas de corte. Esto aumenta la eficiencia y la calidad de los componentes mecanizados. Además, el sistema de lubricación mínima (MQL) demostró ser efectivo. La vida útil de las herramientas se prolongó en un 32% a velocidades de corte de 360 m/min y en un 29,17% a velocidades de corte de 200 m/min. Al utilizar el sistema MQL para prolongar la vida útil de las herramientas, logrando una reducción significativa en los costos de producción. Esto es particularmente relevante para el sector del mecanizado.

En la Figura 1 expuesta en los resultados del estudio [15], se analiza el Tiempo de maquinado vs El desgaste de flanco, en el sistema de inundación:

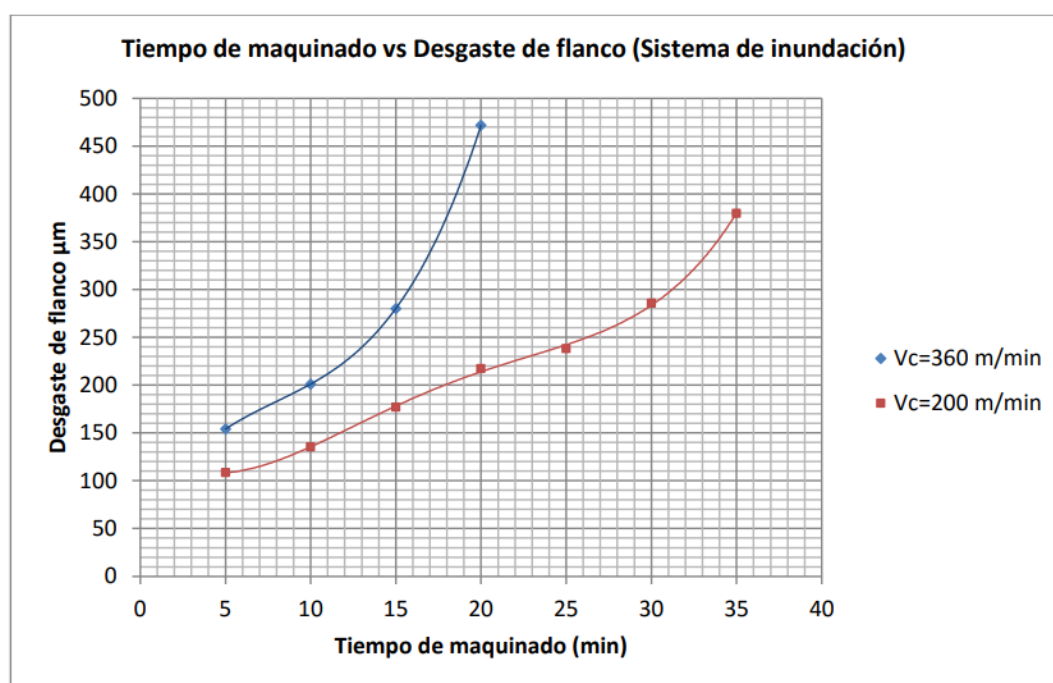


Figura 1. Tiempo de maquinado vs Desgaste de flanco (Sistema de inundación). Fuente: [15]

La tendencia ascendente del desgaste de flanco en función del tiempo de maquinado se evidencia en la Figura 1. Esto demuestra que el flanco de una herramienta de corte sufre un mayor desgaste a medida que permanece más tiempo expuesto a la fricción y el calor. La curva de desgaste de flanco para $V_c = 360$ m/min es más rápida que la curva para $V_c = 200$ m/min.

Esto significa que la herramienta se desgasta más rápidamente a mayor velocidad de corte. Esto se debe a que la energía de fricción y la generación de calor aumentan a mayores velocidades, lo que aumenta el desgaste en el flanco de la herramienta. La tendencia lineal de las curvas indica que el sistema de inundación proporciona una lubricación adecuada para la herramienta de corte, a pesar de que el desgaste del flanco aumenta con el tiempo de maquinado y la velocidad de corte. El desgaste se produce de manera gradual y predecible si no hay cambios bruscos en las curvas.

Por otra parte, en el estudio [15], analiza la gráfica del Tiempo de maquinado vs El desgaste de flanco como se observa en la Figura 2.

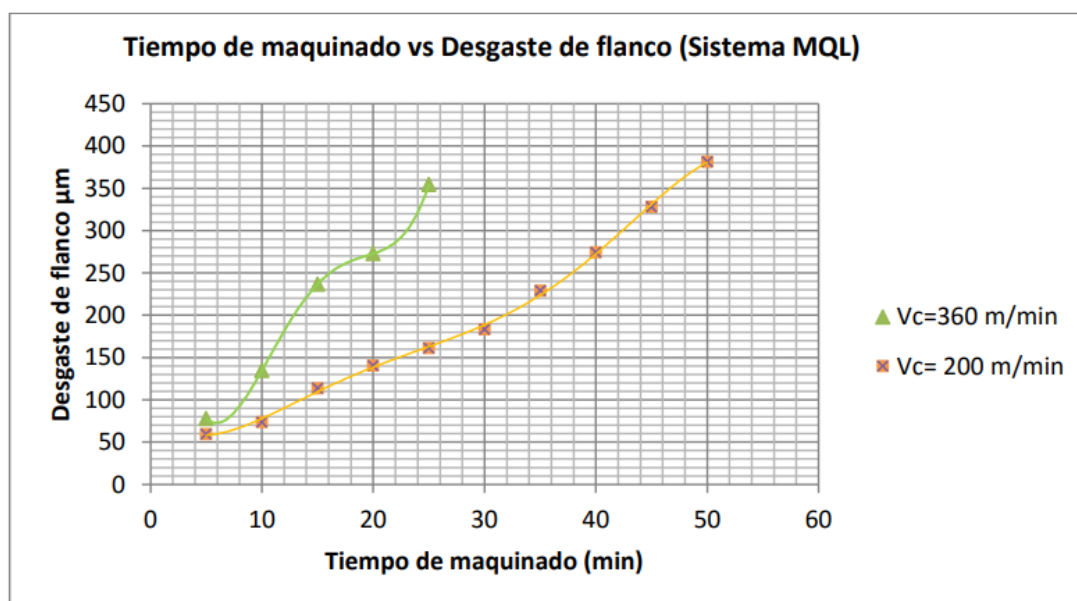


Figura 2. Tiempo de maquinado vs Desgaste de flanco (Sistema MQL). Fuente: [15]

Al igual que en el sistema de inundación, la tendencia demuestra que el flanco de una herramienta de corte sufre un mayor desgaste a medida que permanece más tiempo expuesto a la fricción y el calor. La tendencia lineal de las curvas indica que el sistema MQL proporciona una lubricación adecuada para la herramienta de corte, a pesar de que el desgaste del flanco aumenta con el tiempo de maquinado y la velocidad de corte. El desgaste se produce de manera gradual y predecible si no hay cambios bruscos en las curvas.

Además, en el estudio [15], se realiza la comparación de los dos sistemas de lubricación en las dos velocidades $V_c = 360$ m/min y 200 m/min, a continuación, se muestra la Figura 3 y Figura 4 respectivamente.

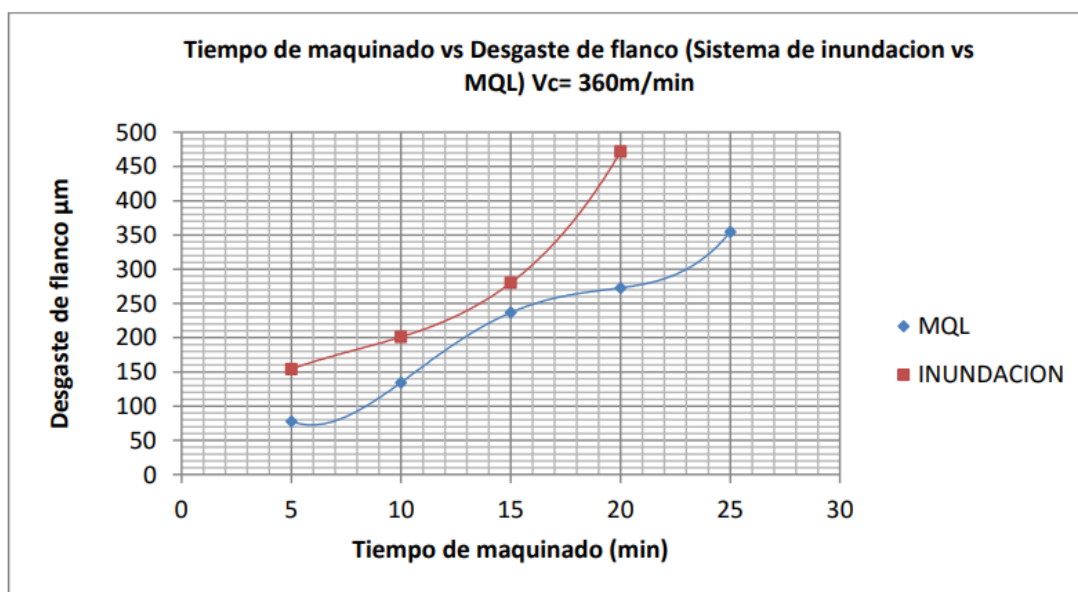


Figura 3. Tiempo de maquinado vs Desgaste de flanco, a $V_c = 360$ m/min. (Inundación vs MQL).

Fuente: [15]

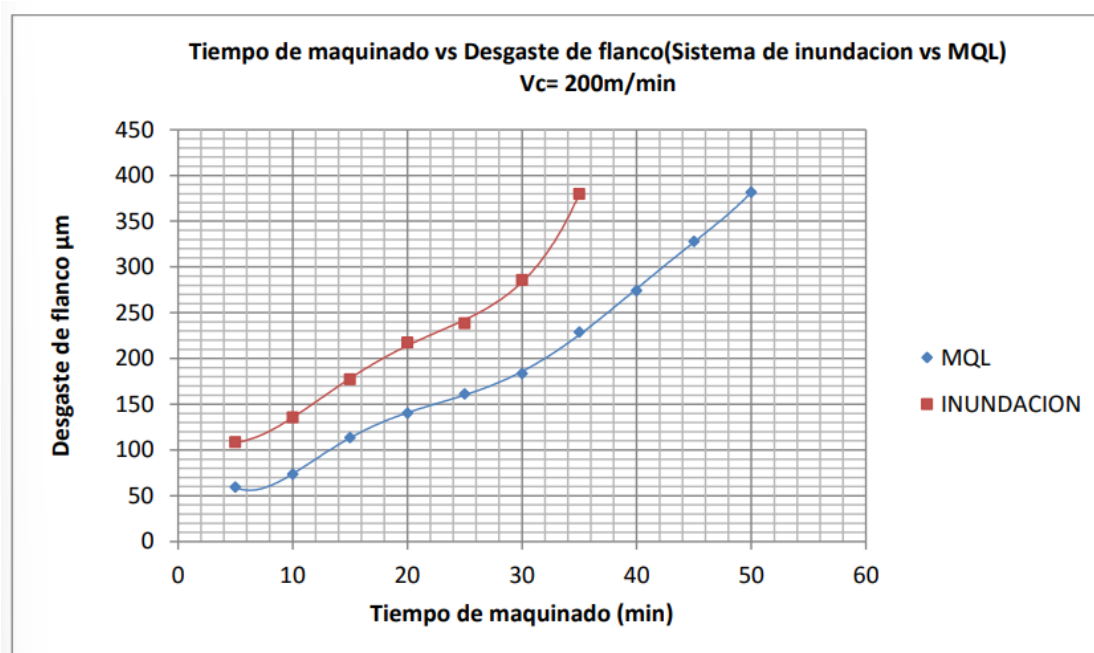


Figura 4. Tiempo de maquinado vs Desgaste de flanco, a $V_c = 200$ m/min. (Inundación vs MQL).

Fuente: [15]

Al comparar los resultados del sistema de inundación con los del sistema MQL, se observa que:

- El sistema MQL tiene menos desgaste de flanco que el sistema de inundación. Esto se debe a la película lubricante más fina y uniforme proporcionada por el sistema MQL, lo que reduce la fricción y el desgaste entre la herramienta y la pieza de trabajo.
- A mayor velocidad de corte, se observa una mayor diferencia en el desgaste de flanco. Esto demuestra que el sistema MQL es especialmente útil para el mecanizado a altas velocidades.

En el trabajo experimental [16], los sistemas de lubricación tienen una influencia sobre el acabado superficial en la punta de eje posterior del Nissan Patrol, en un proceso de maquinado en torno. El acero utilizado fue AISI 1045, que se torneó utilizando una variedad de configuraciones de parámetros de corte. Después, las piezas fueron sometidas a una serie de pruebas, como micrografía, espectrometría por chispa, rugosidad, dureza, medición de temperatura y análisis mediante elementos finitos. El objetivo era determinar el sistema de lubricación más efectivo y el tipo de ángulo de inserción que proporcionaría el mejor acabado. Los parámetros de los sistemas de lubricación se establecen de acuerdo con los catálogos de cada lubricante, incluidas las condiciones de lubricación sin lubricación, lubricación por inundación con taladrina y lubricación con aceite vegetal utilizando el sistema MQL. En los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica realizaron pruebas de dureza y micrografía, mientras que la Escuela Politécnica Nacional se realizó espectrometría por chispa. Estos análisis ayudaron a identificar el material utilizado en la punta del eje. Al finalizar el mecanizado de cada muestra, se utilizó una pistola láser para medir la temperatura resultante del proceso de maquinado y se evaluó la rugosidad de cada muestra en cinco puntos distintos. Se realizaron tres formas diferentes de lubricar y refrigerar el material y las herramientas durante el proceso de torneado: sin lubricante, lubricación por inundación y lubricación por mínima cantidad de lubricante. El acero AISI 1045 fue elegido para el eje posterior del Nissan Patrol después de pasar por una serie de pruebas, incluidas pruebas de dureza, análisis metalográfico y espectrometría por chispa. El ángulo del inserto, la velocidad de avance, la velocidad de giro del husillo y la profundidad de corte son los principales parámetros identificados para mejorar el acabado superficial durante el proceso de torneado del eje

posterior. Estos parámetros se derivaron del programa Coroguide de Sandvik, que indica que una velocidad adecuada tanto para el giro como para el avance, junto con un inserto de mayor ángulo y una profundidad mínima, producirán resultados favorables. Las mediciones se realizaron en las sondas mecanizadas con los tres sistemas de lubricación mencionados anteriormente utilizando un Rugosímetro Mitutoyo SJ210. Como resultado importante de todo el estudio se encontró que el sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) proporcionó un acabado superficial superior al de los demás sistemas.

En el año 2017, se realizó el estudio de investigación [17], utilizando etilenglicol como base, esta investigación utilizó el sistema de mínima cantidad de lubricante con aceite vegetal y nanopartículas de óxido de titanio en diferentes concentraciones ponderales. Además, se incluye el sistema MQL básico, así como un mecanizado sin refrigeración o lubricación. Después de realizar los ensayos con diferentes combinaciones de factores para el mecanizado de las piezas, se realizarán mediciones de rugosidad con un rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-210. A lo largo del tramo analizado, este dispositivo proporcionó mediciones promedio de cinco puntos. Durante el proceso de torneado de acero inoxidable AISI 304, se agregan nanopartículas de óxido de titanio (TiO_2) al lubricante. Esto mejora significativamente el acabado superficial. Las concentraciones de dióxido de titanio, particularmente al 0,5%, demostraron una notable disminución de la rugosidad superficial, lo que indica una mayor eficiencia en el proceso de mecanizado. Entre los métodos de lubricación y refrigeración examinados, el sistema de cantidad mínima de lubricante (MQL) en conjunto con el 0,5% de TiO_2 demuestra ser el más eficiente. En comparación con el mecanizado en seco y otros sistemas de lubricación, esta combinación proporcionó un acabado superficial superior, demostrando la eficacia de la nano lubricación en mejorar la calidad del acabado. En comparación con otros sistemas de lubricación, el uso de MQL con TiO_2 al 0.5% no solo mejoró el acabado superficial, sino que también prolongó la vida útil de la herramienta de corte. Esta prolongación se debe a la lubricación entre la herramienta y el material mecanizado, que reduce el desgaste de la herramienta y aumenta la productividad y la eficiencia del proceso de torneado de acero inoxidable AISI 304.

En la investigación [18], examinó cómo un método de lubricación híbrida afecta el acabado superficial y el desgaste de flanco durante el torneado en un torno convencional y en tornos CNC. El uso de CO_2 criogénico y un sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) con

nanopartículas de dióxido de titanio se combina en este método. Se utilizaron insertos de carburo de tungsteno con un radio de punta de 0,8 mm, variando los parámetros de mecanizado como la velocidad de corte y el avance, con valores recomendados y máximos para establecer combinaciones experimentales. La mitad de las combinaciones se llevó a cabo en seco, mientras que el sistema de refrigeración y lubricación híbrida propuesto se utilizó para la otra mitad.

Este sistema utiliza CO₂ líquido y gaseoso, así como un nano fluido hecho de aceite vegetal biodegradable y nanopartículas de dióxido de titanio al 0,5% en peso. Para reducir la fricción y las temperaturas de corte, la mezcla de fluido criogénico y nano fluido se dirige hacia la zona de contacto entre la pieza y la herramienta. La calidad superficial y el desgaste de los insertos se evaluó utilizando un rugosímetro para medir la rugosidad y un microscopio electrónico de barrido según la norma ISO 3685 para observar y medir el desgaste de los insertos, por lo tanto, este sistema resulta ser uno de los óptimos ya que en combinación de las nanopartículas y el CO₂ se obtiene una mejor conductividad del calor, según [19].

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Analizar de manera integral la relación entre influencia de parámetros de mecanizado y lubricantes ecoeficientes con la finalidad de evaluar la productividad y calidad superficial en procesos de mecanizado sostenible de aceros.

1.2.2. Objetivos específicos

- 1.2.2.1. Realizar un análisis correlacional para identificar las asociaciones preliminares entre parámetros de mecanizado, tipos de lubricantes y resultados de mecanizado enfocados en la vida útil de las herramientas y el acabado superficial mediante datos experimentales de investigaciones previas.
- 1.2.2.2. Integrar los resultados de los análisis para desarrollar recomendaciones prácticas y estrategias óptimas que permitan la implementación de alternativas de refrigeración sostenibles en entornos industriales que mejoren la eficiencia y sostenibilidad en la fabricación de aceros.

1.2.2.3. Comprobar experimentalmente las predicciones de vida útil de los insertos mediante ensayos específicos con parámetros de mecanizado y lubricantes ecoeficientes identificados como óptimos en los análisis previos.

1.3. HIPÓTESIS

El análisis de la influencia de los parámetros de mecanizado y lubricantes ecoeficientes permitirá mejorar la productividad y calidad superficial en el mecanizado de aceros.

1.3.1. Señalamiento de las variables de la hipótesis

1.3.1.1. Variable dependiente

Productividad y calidad superficial en los procesos de mecanizado en los aceros.

1.3.1.2. Variable independiente

Parámetros de mecanizado y lubricantes ecoeficientes.

1.4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.4.1. Contacto entre la viruta y la herramienta

Un proceso tecnológico muy presente en la industria actual es la formación de viruta. Aunque esta forma de fabricar objetos tiene su origen en tiempos antiguos, la Revolución Industrial en Europa en el siglo XVIII destacó la importancia de este proceso de fabricación y marcó un cambio inevitable hacia la necesidad estratégica de desarrollar cada vez más la tecnología de las máquinas. herramientas propias de este proceso. A pesar de que se ha estudiado durante muchos siglos, el proceso de mecanizado sigue siendo un desafío para toda la comunidad científica en la actualidad. Durante los últimos años, se han realizado numerosos estudios exhaustivos sobre el proceso de formación de viruta. La interacción entre observaciones experimentales y estudios analíticos permitida. Para mejorar la comprensión de la evolución de las variables locales durante el proceso de arranque de material, la herramienta numérica puede presentar una excelente alternativa. [20]

1.4.2. Procesos de mecanizado por arranque de viruta

Los procesos de mecanizado por arranque de viruta son técnicas de manufactura que implican la remoción de material de una pieza mediante el uso de herramientas de corte. Estos procesos son fundamentales en la industria manufacturera para dar forma, dimensionar y terminar componentes metálicos, según [21].

1.4.2.1. Torneado

El torneado es un proceso de mecanizado por arranque de viruta que se utiliza principalmente para la creación de superficies cilíndricas, cónicas o de revolución en piezas de trabajo, en este proceso, la pieza de trabajo gira sobre su eje mientras una herramienta de corte se desplaza linealmente para retirar material y dar forma a la pieza. Las herramientas de corte utilizadas en el torneado suelen ser insertos de carburo de tungsteno, cerámica o materiales de corte de alta velocidad, que pueden soportar las altas temperaturas y fuerzas involucradas en el proceso, los parámetros críticos en el torneado incluyen la velocidad de corte, el avance, la profundidad de corte y la velocidad de avance, que deben ser controlados cuidadosamente para lograr acabados precisos y dimensiones exactas, entre las operaciones comunes de torneado se encuentran el torneado exterior para dar forma a superficies exteriores, el torneado interior para crear agujeros cilíndricos y el roscado para la formación de roscas, la Figura 5 muestra el proceso de torneado con ayuda de un contrapunto según [5].



Figura 5. Proceso de torneado. Fuente: [22]

1.4.2.2.Fresado

El fresado es un proceso de mecanizado por arranque de viruta que implica el uso de una herramienta rotativa con múltiples filos de corte para retirar material de una pieza de trabajo. Esta herramienta, llamada fresa, se monta en un husillo que gira a alta velocidad mientras se avanza la pieza de trabajo en una dirección controlada. El fresado se utiliza para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la creación de superficies planas, ranuras, engranajes y perfiles complejos, las herramientas de fresado están hechas de materiales como metal duro, acero de alta velocidad o cerámica, y los parámetros críticos en el fresado incluyen la velocidad de corte, la velocidad de avance, la profundidad de corte y el tipo de fresado utilizado, como el circular, frontal, lateral o helicoidal, se observa en la Figura 6 el proceso de fresado según [5].



Figura 6. Proceso de fresado. Fuente: [23]

1.4.2.3.Perforación

La perforación es un proceso de mecanizado por arranque de viruta que se utiliza para crear agujeros en una pieza de trabajo, en este proceso, una herramienta de corte rotativa, llamada broca, se presiona contra la pieza de trabajo para eliminar material y formar un agujero, las brocas utilizadas en la perforación pueden ser de diferentes tipos, como brocas helicoidales, brocas de centro o brocas escalonadas, dependiendo de la geometría del agujero requerido. Los parámetros críticos en la perforación incluyen la velocidad de corte, la velocidad de avance y el tipo de refrigeración utilizada para evitar el sobrecalentamiento de la herramienta y la pieza de trabajo, las operaciones comunes de perforación incluyen el taladrado estándar, el taladrado profundo y el taladrado de avance rápido, en la Figura 7 se observa el proceso de perforado y como la viruta es expulsada por la geometría de la broca según [24].



Figura 7. Proceso de perforado. Fuente: [25]

1.4.2.4.Rectificado

El rectificado es un proceso de mecanizado por arranque de viruta utilizado para obtener tolerancias dimensionales y acabados superficiales muy precisos en piezas metálicas. En este proceso, una muela abrasiva gira a alta velocidad y se presiona contra la pieza de trabajo para eliminar material y mejorar su precisión dimensional y calidad superficial. Las muelas abrasivas utilizadas en el rectificado pueden ser de diferentes materiales, como corindón, carburo de silicio o diamante, dependiendo de la aplicación específica. Los parámetros críticos en el rectificado incluyen la velocidad periférica de la muela, la velocidad de avance, la profundidad de pasada y el tipo de refrigeración utilizada para evitar el sobrecalentamiento de la pieza de trabajo, en la Figura 8, se observa el proceso de rectificado con esmeril según [26].



Figura 8. Proceso de rectificado. Fuente: [26]

1.4.2.5. Roscado

El roscado es un proceso de mecanizado por arranque de viruta utilizado para crear roscas en piezas de trabajo cilíndricas, en este proceso, una herramienta de corte rotativa, como un macho o una terraja, se utiliza para cortar las crestas y valles de la rosca en la pieza de trabajo, los parámetros críticos en el roscado incluyen la velocidad de corte, el avance por revolución y la profundidad del paso, que deben ser controlados cuidadosamente para obtener roscas precisas y bien formadas, el roscado se puede realizar en piezas de trabajo tanto internas como externas, y existen diferentes tipos de roscado, como el roscado interno, el roscado externo, el roscado en frío y el roscado en caliente, la Figura 9 muestra el proceso de roscado según [27].



Figura 9. Proceso de roscado. Fuente: [27]

1.4.3. Materiales y herramientas de corte

En el ámbito de las herramientas de corte, se encuentran diversos tipos, entre ellos las herramientas integrales, las cuales presentan una variedad de formas geométricas como redondas, cuadradas y rectangulares. Estas herramientas están fabricadas con acero de alta dureza en sus extremos para garantizar un filo cortante excepcional. Además, poseen diferentes ángulos de ataque, conocidos como ángulos de incidencia, que se seleccionan según el tipo de mecanizado requerido. Las herramientas integrales son versátiles y pueden llevar a cabo diversos procesos necesarios en la producción de piezas mecánicas, tales como cilindrado, biselado, roscado, refrentado, tronzado, redondeo, entre otros según [17].

Por otro lado, se ha observado un avance significativo en herramientas de corte fabricadas con metal duro, conocidas como insertos intercambiables o plaquitas. Estos elementos representan

una notable mejora tecnológica en el mecanizado de metales. Las plaquitas pueden adoptar diversas formas geométricas y pueden tener múltiples filos con diferentes configuraciones de caras, lo que les otorga una gran versatilidad. Están construidas con una variedad de materiales que ofrecen excelentes combinaciones de propiedades mecánicas. Si bien existen varias combinaciones de metales base para las plaquitas de metal duro, en general están compuestas principalmente por diferentes tipos de carburos y cerámicas. Esta diversidad en los materiales permite adaptar las plaquitas a diferentes condiciones de mecanizado, lo que resulta en un rendimiento óptimo en una amplia variedad de aplicaciones industriales según [17].

La exigencia de precisión en los procesos de torneado demanda el uso de herramientas modulares de alta exactitud, las cuales se fundamentan en sistemas estandarizados. Entre estas herramientas se encuentran las cuchillas de corte, fabricadas con diversos materiales duros y que presentan una variedad de ángulos de afilado. Otro tipo común de herramientas de corte son las plaquitas, las cuales son elementos de corte elaborados con materiales de alta dureza y que poseen una amplia gama de formas y ángulos para adaptarse a diferentes tipos de trabajos. Estas plaquitas son ampliamente utilizadas en la industria debido a su versatilidad y eficacia en la realización de operaciones de torneado. [18]

1.4.4. Duración de la vida de la herramienta

La durabilidad y efectividad de una herramienta se determina por la calidad de su desempeño. La detección de fallas durante su uso es un indicador claro de que su ciclo de vida está llegando a su fin. En el ámbito del mecanizado, la longevidad de las herramientas de corte se convierte en un factor crítico, ya que influye directamente en la calidad y acabado de las piezas mecanizadas. El desgaste es uno de los fenómenos más comunes que afecta a las herramientas de corte de metal duro durante el proceso de torneado. Este desgaste se manifiesta inicialmente por la pérdida gradual del filo de corte principal y secundario, debido a las condiciones adversas que se generan en el contacto entre la herramienta y el material, incluyendo altas temperaturas y fuerzas variables. [28]

El desgaste de la herramienta de corte ocasiona una disminución en la precisión del proceso, lo que se traduce en un aumento en los costos de producción. Por esta razón, las empresas especializadas en la fabricación de herramientas de metal duro han llevado a cabo numerosos

estudios para identificar las fallas más comunes. Entre estas fallas se encuentran la fractura, que ocurre cuando los parámetros de corte no son adecuadamente calculados, provocando fuerzas excesivas que pueden resultar en la fractura del inserto. La falla por temperatura es otra preocupación, ya que el exceso de calor puede causar ablandamiento o deformación plástica en el filo de corte, lo que afecta las tolerancias de mecanizado. Además, el desgaste gradual es una de las formas más comunes de deterioro, resultado del uso prolongado de la herramienta, donde el filo pierde su forma y eficacia original para realizar las operaciones destinadas. [17]

El desgaste de las herramientas de corte es un problema que puede ocasionar efectos no deseados durante el proceso de mecanizado de piezas. Estos efectos incluyen una menor precisión dimensional de las piezas mecanizadas, posibles daños en dichas piezas, una disminución en la calidad superficial y un aumento en las vibraciones durante el proceso, entre otros aspectos. La vida útil de una herramienta se define como el tiempo en el cual ésta mantiene sus características geométricas y propiedades originales. Este parámetro está estrechamente relacionado con el desgaste y tiene impactos significativos en aspectos económicos, ambientales, energéticos y funcionales del proceso de mecanizado[18]

El desgaste de las herramientas de corte se produce de manera progresiva, aunque pueden ocurrir fallas instantáneas bajo condiciones extremas. Es crucial entender los diferentes mecanismos que influyen en el desgaste para controlarlo y extender la vida útil de la herramienta. Algunos de estos mecanismos incluyen el desgaste de incidencia, que es abrasivo y se produce por el contacto directo con el material de la pieza; el desgaste químico, que ocurre debido a reacciones químicas entre los materiales de la herramienta y la pieza, especialmente en materiales de bajo carbono como el acero inoxidable y el aluminio; el desgaste adhesivo, provocado por la soldadura de la viruta y la herramienta debido a la presión ejercida durante el mecanizado; el desgaste térmico, que se produce por altas temperaturas de corte o cambios bruscos de temperatura debido a una lubricación deficiente; y el desgaste mecánico, resultado de una sobrecarga en la resistencia mecánica, causada por profundidades de corte excesivas, inclusiones de partículas abrasivas o vibraciones durante el proceso. Estos mecanismos de desgaste deben ser comprendidos y controlados para maximizar la eficiencia y durabilidad de las herramientas de corte en aplicaciones de mecanizado.[13]

Durante el proceso de mecanizado, la herramienta de corte experimenta un desgaste notable en sus filos de ataque, debido a las altas temperaturas y la exposición a diversos fluidos. Esta situación puede ocasionar pérdidas económicas al afectar la precisión de las piezas maquinadas. Después de un estudio detallado, se ha determinado que la herramienta puede fallar de las siguientes maneras según [29]:

- Fractura: Esta falla se produce cuando la fuerza de corte ejercida en la punta de la herramienta es excesiva, resultando en una fractura súbita.
- Temperatura: Ocurre cuando la temperatura de corte supera la capacidad del material de la herramienta, provocando ablandamiento, deformación plástica y pérdida del filo en el borde.
- Desgaste progresivo: La pérdida gradual del filo de corte conlleva a la deformación de la herramienta, reducción en la eficiencia del corte y un aumento en el desgaste, lo que puede culminar en una fractura o fallo debido a la temperatura.
- El desgaste de cráter se origina cuando la viruta se desliza sobre la superficie del inserto, generando altos niveles de esfuerzo y temperatura que contribuyen a su desgaste.
- Por otro lado, el desgaste de flanco afecta al filo principal de la herramienta de corte y es causado principalmente por la fricción entre la herramienta y la superficie de la pieza mecanizada. Este desgaste puede ser tanto adhesivo como abrasivo, y las altas temperaturas resultantes pueden alterar las propiedades tanto del material como de la herramienta, impactando en la calidad superficial de la pieza. El desgaste de flanco se evalúa mediante la medida del ancho de la banda de desgaste, V_b , también conocida como banda de desgaste. Esta medida es comúnmente utilizada para monitorear el desgaste de la herramienta. Según la norma ASME B94.55M, el filo principal de corte se divide en tres regiones para llevar a cabo mediciones precisas del desgaste.

1.4.5. Mecanizado de alto rendimiento

El mecanizado de alto rendimiento para tornos y fresas implica el uso de técnicas y herramientas avanzadas que permiten aumentar la productividad y la eficiencia en los procesos de fabricación. Una de las áreas de innovación en este campo es el desarrollo y la utilización de nuevos lubricantes. Estos lubricantes están diseñados para proporcionar una mejor lubricación

y enfriamiento durante el proceso de mecanizado, lo que ayuda a reducir la fricción y el desgaste de las herramientas, así como a mejorar la calidad de las piezas mecanizadas.[28]

Algunos de los lubricantes más innovadores incluyen aceites y emulsiones especiales, lubricantes sólidos como el grafito y el disulfuro de molibdeno, así como lubricantes de base vegetal y sintética que ofrecen propiedades mejoradas en términos de biodegradabilidad, seguridad y rendimiento. [30]

La aplicación de estos nuevos lubricantes en el mecanizado de alto rendimiento puede resultar en una mayor velocidad de corte, una mayor precisión dimensional, una mejor calidad superficial de las piezas y una reducción del tiempo de ciclo, lo que se traduce en una mayor competitividad y rentabilidad para las empresas de fabricación. [30]

1.4.6. Fundamentos de la técnica MQL

El sistema de mínima cantidad de lubricación (MQL) es una innovadora técnica utilizada en el mecanizado de metales, que implica la aplicación directa de un aceite a base de fluidos de corte biodegradables y no perjudiciales para el medio ambiente y para los operadores de las máquinas herramienta. [17]

Este sistema se caracteriza por tres métodos principales según [31]:

- Un primer método implica la aplicación de una mínima cantidad de lubricante a baja presión, que varía entre 0.5 y 10 litros por hora. En este enfoque, el aceite vegetal se mezcla con aire a presión y se dirige al punto de corte. Sin embargo, este método puede ser difícil de controlar y puede generar nubosidades debido a la atomización del aceite, aunque estas nubosidades no son tóxicas, pueden resultar molestas en el entorno de trabajo.
- Otro método utiliza un enfoque intermitente, donde el aceite se suministra al punto de corte mediante bombas sin necesidad de aire comprimido. Sin embargo, debido a que se utilizan bombas hidráulicas, la dosis de fluido no es tan reducida, por lo que este método se limita a procesos de mecanizado intermitentes. Aunque no utiliza aire comprimido, no genera nubosidades en el entorno de trabajo.

- El método más efectivo y representativo implica el transporte del aceite mediante una bomba hasta una boquilla, donde se combina con aire comprimido y se atomiza. Este método evita la generación de nubosidades en el entorno de trabajo y, combinado con aceites biodegradables y no tóxicos, representa una nueva era en el mecanizado por desbaste y arranque de viruta.

El uso del sistema de lubricación por cantidades mínimas (MQL) presenta diversas ventajas según [32]:

- Incremento en la productividad, con una reducción del tiempo de mecanizado que puede oscilar entre un 20% y un 70% debido a los valores de corte más altos.
- Reducción del desgaste de las herramientas, con un aumento de hasta un 300% en su vida útil.
- Mejora en la calidad superficial de las piezas mecanizadas.
- Proceso casi seco, lo que significa que hay mínimas pérdidas por arrastre.
- Beneficios ecológicos, al no generar problemas en la eliminación de residuos y evitar la contaminación del agua.

El sistema de lubricación por cantidades mínimas (MQL) se adapta a la forma del contenedor que lo contiene y debe ser dirigido a través de los conductos de transporte hasta el punto de aplicación, ya que es un sistema dinámico. En este método de lubricación, una corriente de aire transporta gotas de aceite de menos de 1 micrómetro de tamaño, que lubrican la zona de contacto entre la pieza y la herramienta. Estas gotas, al tener una inercia y velocidad de caída muy bajas, pueden aplicarse eficientemente sobre el filo de corte. En términos de refrigeración, el aerosol generado por el sistema MQL disipa el calor generado mediante convección y evaporación del aceite contenido en dicho aerosol. Además de enfriar, este aerosol reduce el rozamiento en las superficies de contacto, gracias al diminuto tamaño de las gotas de aceite que pueden actuar entre la herramienta, la pieza y la viruta según [33].

Existen tres tipos principales de sistemas MQL, dependiendo del fluido de corte utilizado según [15]:

- Los sistemas de pulverización a baja presión, donde el fluido de corte se mezcla con aire a baja presión y se aplica en forma de mezcla en la zona de contacto. El caudal de fluido varía entre 10 y 1000 ml/h.
- Los sistemas de inyección sin aire, que emplean bombas dosificadoras para suministrar una cantidad precisa de fluido de corte mediante pulsos. La dosificación puede variar entre 0,01 y 1 ml por ciclo.
- Los sistemas de pulverización a alta presión, donde el aire comprimido presuriza el depósito de lubricante y lo transporta a través de tubos hasta una boquilla donde se produce la mezcla. La cantidad de lubricante suministrada es extremadamente baja, entre 5 y 100 ml/h, y se pueden usar emulsiones acuosas, aunque se recomienda aceites de alta viscosidad.

1.4.7. Estadística descriptiva

Un conjunto de métodos numéricos y gráficos conocidos como estadísticas descriptivas se utilizan para caracterizar y examinar un conjunto de datos sin realizar ningún juicio o conclusión sobre la población a la que pertenecen los datos según [34], como se procesan datos de investigaciones previas, es necesario trabajar su comparación y procesamiento para determinar cuál de los parámetros de mecanizado es mayormente influyente en el acabado superficial.

Se utiliza la estadística cuando al realizar un estudio encontramos variabilidad en los datos que se obtiene como resultado de investigación o muestras obtenidas según [35], lo cual nos ayudará a analizar, comprender y caracterizar de mejor manera la información obtenida.

Primero se definen algunos conceptos fundamentales para empezar a comprender sobre estadística como son:

- Población: Todos los elementos de un conjunto de datos.
- Individuo: Cada uno de los elementos que conforma la población.
- Muestra: Un subconjunto de la población donde se obtienen los datos.
- Carácter estadístico o variable: propiedad considerada en cada individuo para realizar el estudio estadístico.

1.4.7.1. Tipos de variables

- Variables cualitativos: no toman valores numéricos, solo cualidades.
- Variables cuantitativas: Toman valores numéricos y miden cantidad, se denominan variables estadísticas.

1.4.7.2. Variables cualitativas

Se subdivide en dos tipos de variables, nominal y ordinal:

- Nominal: Su valor o denominación son nombres o códigos en los cuales no hay ningún tipo de relación entre ellos.
- Ordinal: Al igual que la nominal se denominan mediante nombres, pero si hay una relación entre ellos, esta relación es de tipo ordenado que pueden ir de mejor a peor o denotando jerarquías, niveles de satisfacción, tipos de calidad, etc.

1.4.7.3. Variables cuantitativas

Se subdivide en dos tipos de variables descritas a continuación:

- Discretas: Solo toman un valor finito o numerable, números enteros
- Continuas: Toman cualquier valor dentro de todos los números Reales de un cierto rango.

Para poder realizar un estudio estadístico se recogen los valores del carácter estadístico para cada individuo de la muestra. Esta información es recopilada en una tabla.

1.4.7.4. Tablas estadísticas

- Tablas de datos simple: Se incluyen todos los datos y las veces que aparecen cada uno de ellos.
- Tabla de datos agrupado en intervalos: Se incluyen intervalos que contienen a los datos, y para cada uno de estos intervalos, el número de datos que están en este.

1.4.8. Distribuciones de frecuencias

Son métodos que presentan de manera resumida la información según [34], la construcción de tablas de frecuencias es fácil, pero al trabajar con datos muy extensos se convierte en una tarea bastante laboriosa.

1.4.8.1. Relación entre variables

- Regresión lineal simple: Se utiliza una variable dependiente y una variable independiente, ambas de tipo cuantitativo
- Regresión lineal múltiple: Se utiliza una variable dependiente y dos o más variables independientes, todas de tipo cuantitativo.
- Regresión lineal logística: Se utiliza con una variable dependiente de tipo cualitativo y dos o más variables independientes que pueden ser cualitativas o cuantitativas.

1.4.9. Parámetros de centralización

Según [36], es importante aplicar los parámetros de centralización en ámbitos que sean fuera del aula de clases, al aplicar en un estudio de parámetros para mecanizado se pueden obtener análisis muy interesantes y asertivos.

1.4.9.1. Medidas características

Son utilizadas para describir la información de una muestra según [34], estas medidas resumen la información según tres parámetros como son: donde se encuentran los datos, dispersión de datos y si su distribución se asemeja a la campana de gauss, por lo que se consideran tres tipos de medidas: medidas de posición, dispersión y de forma.

1.4.9.2. Medidas de posición

Estas medidas indican los valores que rodean los datos estudiados según [34], se pueden distinguir medidas de tendencia central y no central.

1.4.9.3. Medidas de tendencia central

Los valores que nos genera rondan cerca de los datos que se están analizando, las medidas de tendencia central son:

Moda: Es el dato con mayor frecuencia absoluta. El valor o valores que ocurren con mayor frecuencia se utilizan como la moda para variables discretas o cualitativas según [34]. Esto sugiere que la moda podría no ser única. El intervalo modal es el intervalo con la frecuencia más alta para datos cuantitativos continuos. Se utiliza "Mo" para indicar la moda.

El intervalo modal con la frecuencia más alta se puede encontrar si los datos están agrupados.

Mediana: Es el dato central de todos los datos ordenados, si se encuentran dos datos como posición central, la mediana será la semisuma de los dos datos. Si los datos de la muestra están ordenados de menor a mayor, el valor en el cual se encuentran el 50% de los casos se llama mediana según [35]. Como resultado, la mediana deja la mitad de las observaciones por encima y la otra mitad por debajo de su valor. Por lo tanto, la mediana será el dato central si la muestra tiene un número impar de datos (n impar). La mediana, en caso de que el tamaño de la muestra n sea par, es la media de los dos datos centrales. La mediana es una medida robusta en comparación con la media porque la presencia de valores atípicos tiene menos impacto en su valor. Se considera que hay valores atípicos en una muestra si los valores de la media y la mediana difieren significativamente.

El intervalo cuya frecuencia relativa acumulada en el extremo inferior es menor que $1/2$ y en el extremo superior es mayor que $1/2$ se conoce como intervalo mediano cuando la variable está representada en una tabla de frecuencias.

Media aritmética: Es el valor promedio de un conjunto de datos definido como:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

- Toma medidas entre el mínimo y el máximo:

$$\min\{x_1, \dots, x_n\} \leq \bar{x} \leq \max\{x_1, \dots, x_n\}$$

- La media aritmética es lineal. Si se consideran datos de $y_i = ax_i + b$, la media de los datos se obtendrá de $\bar{y} = a\bar{x} + b$
- La media de las desviaciones con respecto a la media es cero:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0 \quad (2)$$

- La media de los cuadrados de las desviaciones con respecto a una constante es mínima para la media:

$$\bar{x} = \arg \min \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - a)^2 \quad (3)$$

1.4.9.4. Medidas de tendencia no central

Todas las medidas de tendencia no central son los cuartiles, deciles y percentiles.

Cuartiles: La muestra se divide en cuatro partes iguales mediante los cuartiles Q1, Q2 y Q3, con el 25 % de los datos por debajo de Q1, otro 25 % entre Q1 y Q2, y el restante 25 % por encima de Q3. La construcción de deciles ($d_1, \dots, d_9$, dividiendo la muestra en 10 partes iguales) y percentiles ($p_1, \dots, p_{99}$, dividiendo la muestra en 100 partes iguales) puede extenderse al concepto de dividir la muestra en partes iguales según [34].

1.4.10. Medidas de dispersión absolutas

Las medidas de posición o localización muestran el rango de valores en los que caen los datos, pero para describir los datos de manera más precisa, es necesario comprender la dispersión que muestran según [34]. Las medidas de dispersión absolutas más conocidas son la varianza muestral y la desviación estándar muestral, que son simplemente la varianza muestral elevada al cuadrado. Las medidas de dispersión absolutas dependen de las unidades en las que se miden las observaciones.

1.4.10.1. Varianza y desviación típica

Se calcula la varianza s^2 con la siguiente expresión:

$$s^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

Dado que la varianza se expresa en unidades cuadradas de los datos, no se puede comparar directamente con métricas de posición como la media. Se tiene en cuenta la desviación estándar para obtener una medida en las unidades de los datos.

1.4.11. Estadística inferencial

Es un tipo de análisis estadístico con una prueba de hipótesis, siendo esta un proceso para determinar si una afirmación sobre cierto parámetro de la población debe de ser rechazado o no basados en los datos que se tiene de la muestra, una hipótesis es una afirmación o declaración sobre un parámetro de la población según [37].

1.4.12. RStudio:

Es un lenguaje de programación dedicado al análisis de datos exploratorios, estadística y visualización de gráficos, es importante mencionar que RStudio reconoce mayúsculas y minúsculas, no se pueden poner espacios entre los nombres, se compone de una interfaz gráfica de cuatro elementos:

1. Consola. Se trabaja todo lo desechable, como cálculos simples que no son necesarios que se graben en el programa
2. Recursos de ayuda. Se pueden visualizar archivos y paquetes complementarios.
3. Entorno. Se graban todas las variables u objetos que se van creando.
4. Scripts. Es la parte esencial para el procesamiento de datos, son librerías que desbloquean diferentes funciones del programa.

Hay dos métodos para poder trabajar en el programa:

- Desde la consola, son análisis simples que posteriormente se van a exportar.
- Desde el script, son análisis con la facilidad de compartir y ejecutar el programa tal cual se ejecutó en la computadora de origen del programa (más ideal para la creación de una tesis).

Con la ayuda de RStudio se puede decidir rápidamente si una hipótesis nula es rechazada o no, mediante el valor P, siendo una medida de evidencia que se obtiene información a través de la muestra que nos proporciona información acerca de la hipótesis nula, nos da el valor de probabilidad de cometer un error, hay criterios de rechazo de hipótesis que comparan el Valor P y el nivel de significancia α :

- Si el Valor $Pr \leq \alpha$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.
- Si el Valor $Pr > \alpha$ se acepta la hipótesis nula.

Hay tres niveles de valores de significancia:

- $\alpha = 10\%$ o $\alpha = 0.10$
- $\alpha = 5\%$ o $\alpha = 0.05$
- $\alpha = 1\%$ o $\alpha = 0.01$

Según [38], se toma un valor de confiabilidad del 95% es decir un valor de significancia de 0.05 para el procesamiento de este tipo de datos experimentales.

1.4.13. Análisis ANOVA

Según [39], el análisis ANOVA es un análisis de una varianza o factor que se utiliza cuando se requiere comparar la media de tres grupos o más, se utilizan datos categorizados con un factor o tratamiento, hay requerimientos para poder aplicar el análisis ANOVA como:

- Las poblaciones deben tener distribuciones que deben ser aproximadamente normales
- Las poblaciones deben tener la misma varianza o desviación estándar.
- Las muestras deben ser aleatorias simples, pero de datos cuantitativos.
- Las muestras deben ser independientes.
- Las muestras deben venir de poblaciones que se encuentren categorizadas de una sola manera.

Para su análisis es necesario plantear dos hipótesis que son:

- La hipótesis nula (H_0)
- Hipótesis alternativa (H_1)

1.4.14. Análisis correlacional

La investigación correlacional se enfoca en la obtención de explicaciones mediante el estudio existente entre variables según [40], este tipo de investigación no realiza ninguna manipulación de datos y determina la medida en que una variable modifica a la otra en magnitud y sentido, se evalúa este coeficiente de correlación entre 1 y -1, si los valores se aproximan a 1 indican un correlación positiva, es decir, mientras una variable aumenta la otra también aumenta, mientras que por el contrario si los valores se aproximan a -1 las variables tienen una correlación negativa, es decir, si una variable aumenta la otra tiene a disminuir y cuando estos valores se acercan a 0 significa que no hay una correlación existente entre las variables estudiadas.

CAPITULO II

2. METODOLOGÍA

Previo a declarar la propuesta metodológica para desarrollar este trabajo investigativo, es necesario **identificar, compilar, integrar, comparar y sintetizar** los resultados obtenidos en investigaciones previas realizadas en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato enfocada principalmente en la línea de investigación del mecanizado ecoeficiente usando diferentes técnicas de lubricación y refrigeración en procesos de torneado y fresado del acero y su influencia en la productividad del proceso.

Para ello es necesario comentar que esta temática en la carrera comienza su línea de investigación desde el año 2016 hasta la actualidad, con la realización de trabajos de titulación de grado y posgrado de diferente índole en el que cada avance ha ido sentando las bases para obtener los resultados que hoy en día se encuentran plasmados en dichos trabajos y en publicaciones de prestigio internacional.

Se observó en trabajos de titulación del repositorio de la Universidad Técnica de Ambato en ciertos aceros no existían datos suficientes para realizar su análisis estadístico, además en ciertos casos por la configuración de los parámetros de mecanizado al no ser adecuados para su procesamiento nuestro análisis se centró únicamente a los aceros AISI 304 y AISI 1018.

Para ello se presenta a continuación el **ENFOQUE, ALCANCE Y TIPO DE INVESTIGACION**

2.1. ENFOQUE

El enfoque de esta tesis esta centralizado en la evaluación integral de los factores que afectan a la productividad como a la calidad superficial en el mecanizado de aceros utilizando métodos sostenibles y lubricantes ecoeficientes.

2.2. ALCANCE

El alcance de la presente investigación consiste en la realización de un análisis integral de la influencia de los parámetros de mecanizado y los lubricantes ecoeficientes en la productividad

y calidad superficial en los procesos de torneado y fresado, explorando diferentes combinaciones de parámetros de mecanizado y lubricantes que afectan la eficiencia del proceso como la calidad de la superficie obtenida.

2.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

2.3.1. Bibliográfica

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de datos de estudios previos de aplicaciones similares a nivel nacional en los aceros inoxidable AISI 1018 y el acero inoxidable AISI 304.

2.3.2. Descriptiva

El estudio se llevó a cabo mediante mediciones del desgaste de herramientas para ciertos tipos de lubricación, tratando de que las condiciones de mecanizado sean las mismas para evitar sesgos en los resultados y así llevar a cabo la validación de datos en las curvas de la vida de la herramienta definida por la ecuación de Taylor.

2.3.3. Experimental

Para la realización de ensayos se cambió la variable de velocidad de corte y así observar su comportamiento al tiempo en el cual se cree que la herramienta debe llegar al fallo.

En este sentido, la metodología de este trabajo investigativo se propone bajo la siguiente cronología:

- A. *Identificación y codificación de las investigaciones desarrolladas en la Carrera de Ingeniería Mecánica relacionadas a esta temática (OBJETIVO ESPECIFICO 1)*
- B. *Identificación de las variables independientes de los estudios previos de mecanizado en torneado y fresado (tipo de proceso, tipo de herramienta, material a mecanizar, parámetros de mecanizado, tipos y condiciones de lubricantes/refrigerantes) (OBJETIVO ESPECIFICO 1)*
- C. *Identificación de las variables dependientes de los estudios previos de mecanizado en torneado y fresado (evolución del desgaste de la herramienta de corte, acabado superficial obtenido) (OBJETIVO ESPECIFICO 1)*
- D. *Recopilación, organización, categorización y tabulación de los datos y parámetros de investigaciones previas propias y de la literatura internacional (Tidy data) (OBJETIVO ESPECIFICO 1)*

- E. Evaluación de los resultados de las investigaciones previas propias y de la literatura internacional para analizar su influencia en los procesos de productividad del mecanizado (OBJETIVO ESPECIFICO 1)
- F. Creación de una lista de recomendaciones y estrategias óptimas en base a la correlación alcanzada por las variables del estudio (OBJETIVO ESPECIFICO 2)
- G. Validación de los análisis estadísticos y resultados, mediante un diseño de experimentos específicos que permita comprobar las hipótesis (OBJETIVO ESPECIFICO 3)

A continuación, se muestra en la Tabla 1 la identificación y codificación de las investigaciones desarrolladas en la Carrera de Ingeniería Mecánica donde se ha colocado como abreviatura detallada en la Figura 10.

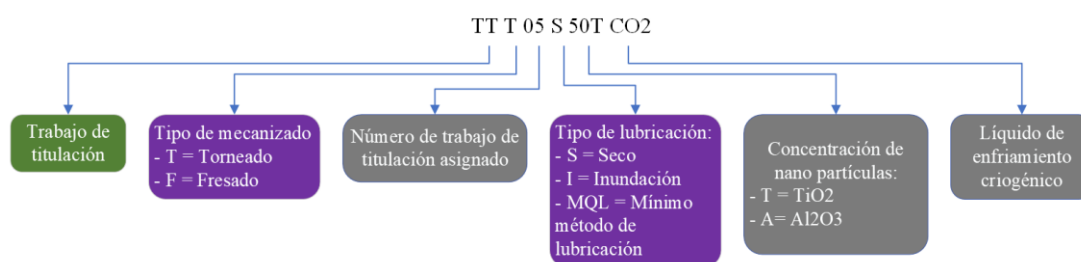


Figura 10. Explicación de la codificación de los trabajos de titulación sus probetas.

Tabla 1. Codificación de los documentos de investigaciones previas.

Cod	Año	Tutor	Autor	Tema	Referencia
TTF01	2016	Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez	Byron Marcelo Núñez Arellano	Estudio del efecto del sistema de mínima cantidad de lubricación (MQL) con aceite vegetal en la vida de las herramientas de corte de metal duro en el fresado del acero AISI 1018.	[41]
TTT02	2017	Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez	Carlos Rubén Morales Portero	“Efecto del nanolubricante (aceite lubricante+TiO ₂) en el acabado superficial del torneado del acero inoxidable AISI 304”	[17]

Cod	Año	Tutor	Autor	Tema	Referencia
TTT03	2020	Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez	Diego Mauricio Carranza Calero Leticia Abigail Mayorga Ases	“Evaluación del desgaste de las herramientas de corte y acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 mediante lubricación híbrida CO2 + nano TiO2”	[18]
TTT04	2021	Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez	Diego Armando Chadán Llumitasig	“Optimización del proceso de torneado del acero AISI 304 mediante el sistema de lubricación / enfriamiento con nano fluido criogénico”	[42]
TTT05	2021	Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez	Daniel Andrés Albán Ruiz Pablo Andrés Guamán Peñafiel	“Estudio del efecto de los líquidos iónicos (BMIMBF4) y (BMIMPF6) como aditivos en el aceite vegetal para el sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) en la vida útil de las herramientas de corte de metal duro y acabado superficial en el proceso de torneado del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI/SAE 4140”	[43]
TTF06	2024	Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez	Wilmer Alexander Llumitasig Tubón Adriel Santiago Ocaña Guzmán	“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)”	[42]

Cod	Año	Tutor	Autor	Tema	Referencia
TTT07	2024	Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez	Patricio Hernán Cajas Lema	“Estudio de aceites de corte alternativos para procesos de mecanizado criogénico”	[44]
TTF08	2024	Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez	Juan José González Jiménez	“Análisis comparativo de la evolución del desgaste de las herramientas de corte en procesos de fresado del acero AISI 304 lubricados mediante inundación y nanocriomecanizado”	[19]

I. Metodología para el análisis estadístico integral

Para poder realizar las evaluaciones a todos los datos obtenidos, se utilizó análisis estadísticos, como se muestra en la Figura 11 el esquema en el cual plasma de manera general el tipo de estadísticas, en nuestra investigación se utilizó la estadística inferencial ya que contamos con datos continuos cuantitativos y se desea llegar a conclusiones generalizadas partiendo desde lo particular.

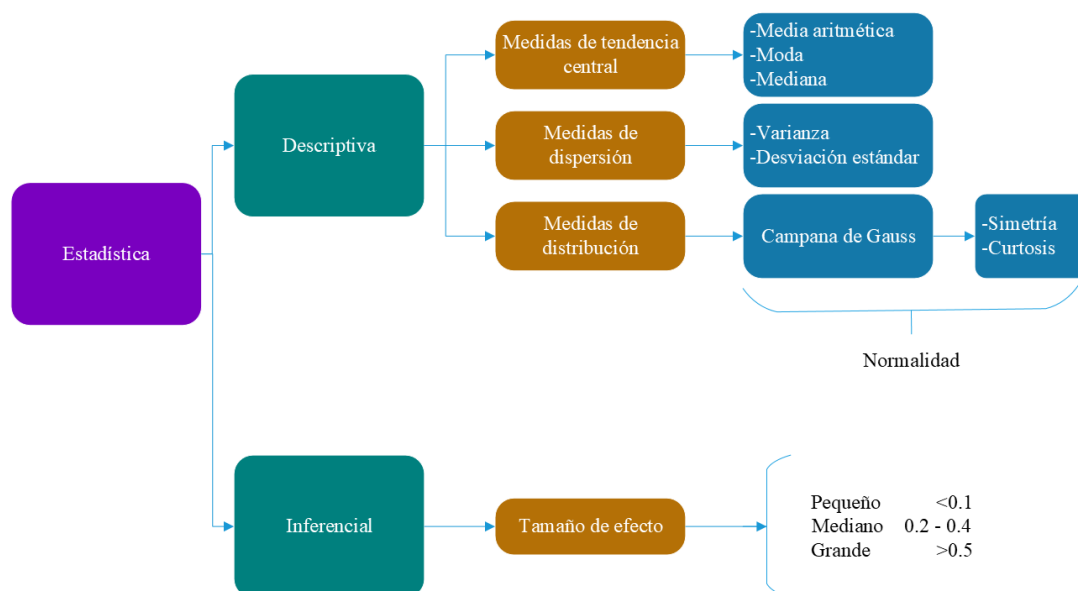


Figura 11. Diagrama de estructura de estadística.

La estadística se divide en dos ramas denominadas estadística descriptiva, que es aquella que organiza y comunica información numérica según [45] tiene como objetivo la recolección de la información de forma cualitativa o cuantitativa para poder llegar a una deducción a partir del análisis de datos, por lo que fue de mucha utilidad para el análisis integral de los parámetros de mecanizado, la estadística descriptiva a su vez está compuesta por tres medidas que ayudan a la comunicación de la información como son las medidas de tendencia central, medidas de dispersión y medidas de distribución.

La estadística inferencial es aquella que llega a obtener conclusiones de la población e infiere los comportamientos de la población estudiada a partir de una muestra según [46], se plantean dos hipótesis H_0 y H_1 , las cuales establece igualdad o desigualdad, se busca rechazar o aceptar respectivamente.

La Figura 12, muestra el camino y los tipos de análisis estadísticos realizados para determinar si las correlaciones tienen o no significancia para posteriormente realizar su cálculo.

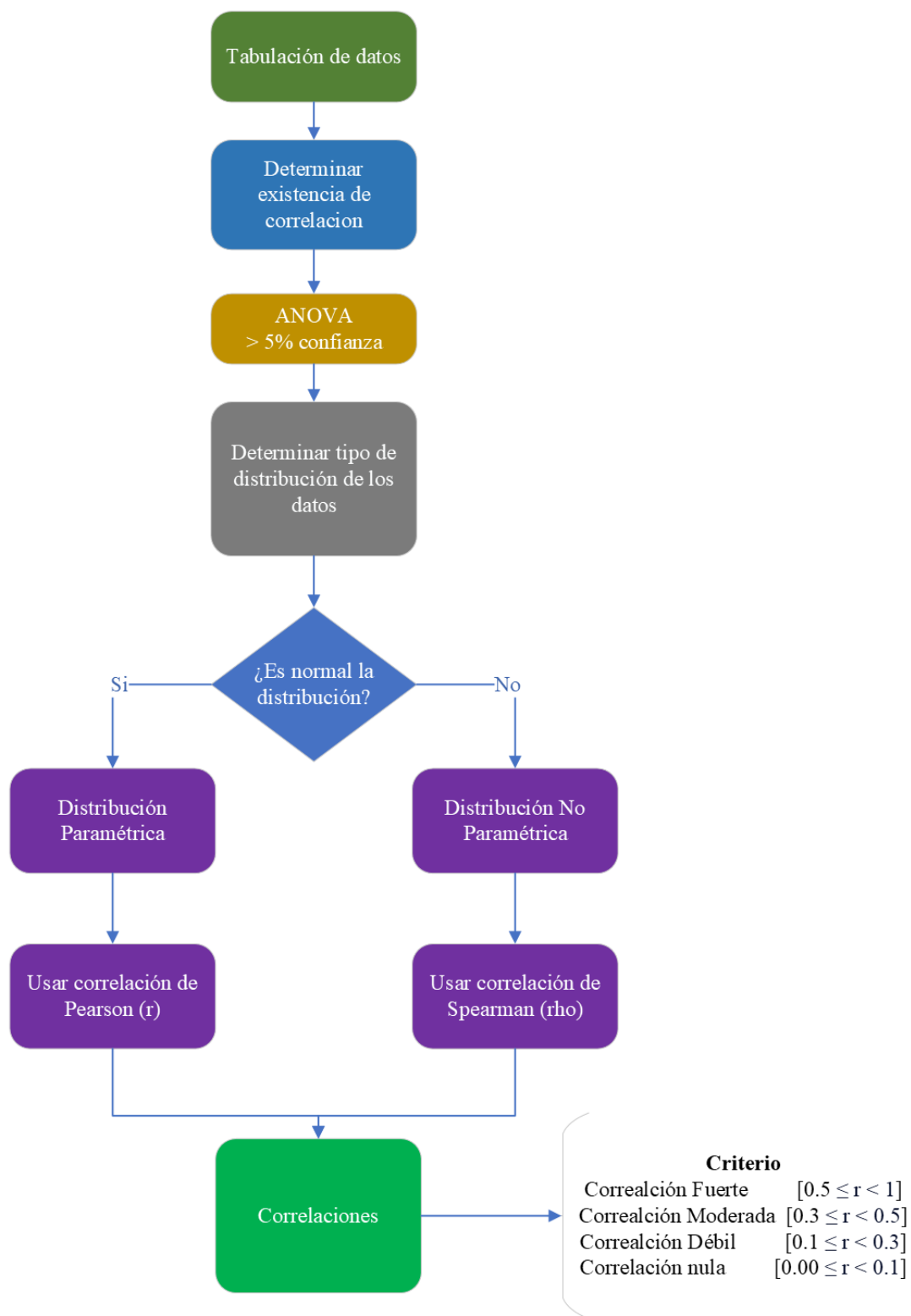


Figura 12. Orden del tratamiento de los datos de las tesis.

Para determinar la existencia de una correlación de los datos se realiza el análisis ANOVA de un factor, que según [47], es muy útil para cuando se necesita realizar la comparación en más de dos grupos, medidas repetidas o cuando características de los sujetos varían simultáneamente. La distribución normal o gaussiana es una distribución de probabilidad que según [48] la mayor parte de las mediciones u observaciones tienden a agruparse en el centro (media de los datos).

Las pruebas de normalidad según [49] nos ayudan a darle una mayor validación a los análisis estadísticos para llegar a una conclusión correcta, en las pruebas de normalidad, usamos las pruebas de Anderson Darling y Shapiro Wilk ya que trabajamos con un número superior a 3 y menor de 50 datos, también se realizaron gráficos “Q-Q (cuantil-cuantil) plots” los cuales permitieron observar la aproximación de los datos a una distribución normal ideal.

Se plantearon dos tipos de correlaciones que se realizaron luego de las pruebas de normalidad, según [50] la correlación de Pearson es un coeficiente estadístico utilizado en datos con distribución normal y el de Spearman es un estimador de distribuciones no paramétricas, en nuestro estudio únicamente se utilizó la correlación de Pearson ya que todas las muestras pertenecían a una distribución paramétrica.

Con el resultado de la correlación de Pearson se pudo determinar el grado de correlación según [51] hay 4 tipos de interpretaciones de resultados, las correlaciones nulas, débiles, moderadas y fuertes, como se muestran los valores en la Figura 12, estos valores son de correlaciones lineales con los que se pudieron establecer los parámetros más influyentes en el mecanizado del acero AISI 304

Para el procesamiento de datos se utilizó el programa RStudio, según [52] es un ambiente de desarrollo integrado con soporte en múltiples plataformas que incluye dos lenguajes de programación, el R y Python, es un programa open source de mucha utilidad para el procesamiento de datos estadísticos, en el programa para la programación se utilizaron las siguientes librerías:

- `library(readxl)`, sirvió para leer datos de un archivo de excel.
- `library(dplyr)`, ayudó para el filtrado de tipo de datos a tratar.
- `library(readxl)`, generar gráficos en 3D.

- library(scatterplot3d), realizar gráficos múltiples y clasificarlos.
- library(nortest), librería correspondiente para realizar la correlación de Anderson Darling.
- library(ggplot2), generar gráficos en 2D.
- library(GGally), generar gráficos múltiples y agruparlos en matrices con sus correlaciones.

Se incluyeron los cálculos a mano del Análisis ANOVA para comprender lo que el programa realiza.

Tomamos como referencia los datos basados en el trabajo de investigación TTT02, donde se obtiene la siguiente Tabla 2, mediante la extracción de datos de las fichas técnicas en el sistema de mecanizado en seco.

Tabla 2. Extracción de datos del trabajo de investigación TTT02.

Nº	Probeta	Rugosidad Media (Ra)
1	A001	1,994
2	A001	1,974
3	A001	1,985
4	A001	1,997
5	A001	1,865
6	A001	1,967
7	A001	1,856
8	A001	1,91
9	A002	2,182
10	A002	2,184
11	A002	2,19
12	A002	2,188
13	A002	2,23
14	A002	2,194
15	A002	2,178
16	A002	2,18
17	A003	1,732
18	A003	1,751
19	A003	1,74
20	A003	1,756
21	A003	1,765
22	A003	1,755

N°	Probeta	Rugosidad Media (Ra)
23	A003	1,76
24	A003	1,739
25	A004	1,307
26	A004	1,251
27	A004	1,276
28	A004	1,338
29	A004	1,287
30	A004	1,278
31	A004	1,255
32	A004	1,276

En la extracción de datos, se puede observar que contamos con 4 probetas en estudio y 32 mediciones de la rugosidad superficial media (Ra).

Como pasos previos al análisis ANOVA, es necesario calcular:

1. Media de las probetas

Sumatoria de todos los Ra obtenidos en cada probeta, dividido para el número de mediciones de Ra de cada probeta.

2. Media total

Sumatoria de todos los Ra obtenidos de todas las probetas en estudio, dividido para el número de mediciones totales de Ra.

3. Suma de cuadrados total (SC_t)

Suma de los cuadrados de las diferencias de cada dato respecto a la media total de las probetas.

4. Suma de cuadrados de las probetas SC_{pr})

Suma de los cuadrados de las diferencias de la media de cada probeta respecto a la media total.

5. Suma de cuadrados del error SC_e)

Suma de los cuadrados de las diferencias de cada dato con respecto a la media de la probeta.

A continuación, se presenta la Tabla 3, donde se muestran los pasos previos para el análisis ANOVA antes mencionados:

Tabla 3. Ejemplo de análisis ANOVA de la TTT02.

Nº	Probeta	Rugosidad Media (Ra)	Media de la probeta	Media total	Suma de cuadrados total	Suma de cuadrados de probetas	Suma de cuadrados del error
1	A001	1,994	1,9435	1,791875	0,0408545	0,02299	0,00255
2	A001	1,974	1,9435	1,791875	0,0331695	0,02299	0,00093
3	A001	1,985	1,9435	1,791875	0,0372973	0,02299	0,001722
4	A001	1,997	1,9435	1,791875	0,0420763	0,02299	0,002862
5	A001	1,865	1,9435	1,791875	0,0053473	0,02299	0,006162
6	A001	1,967	1,9435	1,791875	0,0306688	0,02299	0,000552
7	A001	1,856	1,9435	1,791875	0,004112	0,02299	0,007656
8	A001	1,91	1,9435	1,791875	0,0139535	0,02299	0,001122
9	A002	2,182	2,19075	1,791875	0,1521975	0,159101	7,66E-05
10	A002	2,184	2,19075	1,791875	0,153762	0,159101	4,56E-05
11	A002	2,19	2,19075	1,791875	0,1585035	0,159101	5,63E-07
12	A002	2,188	2,19075	1,791875	0,156915	0,159101	7,56E-06
13	A002	2,23	2,19075	1,791875	0,1919535	0,159101	0,001541
14	A002	2,194	2,19075	1,791875	0,1617045	0,159101	1,06E-05
15	A002	2,178	2,19075	1,791875	0,1490925	0,159101	0,000163
16	A002	2,18	2,19075	1,791875	0,150641	0,159101	0,000116
17	A003	1,732	1,74975	1,791875	0,003585	0,001775	0,000315
18	A003	1,751	1,74975	1,791875	0,0016708	0,001775	1,56E-06
19	A003	1,74	1,74975	1,791875	0,002691	0,001775	9,51E-05
20	A003	1,756	1,74975	1,791875	0,001287	0,001775	3,91E-05
21	A003	1,765	1,74975	1,791875	0,0007223	0,001775	0,000233
22	A003	1,755	1,74975	1,791875	0,0013598	0,001775	2,76E-05
23	A003	1,76	1,74975	1,791875	0,001016	0,001775	0,000105
24	A003	1,739	1,74975	1,791875	0,0027958	0,001775	0,000116
25	A004	1,307	1,2835	1,791875	0,2351038	0,258445	0,000552
26	A004	1,251	1,2835	1,791875	0,2925458	0,258445	0,001056
27	A004	1,276	1,2835	1,791875	0,266127	0,258445	5,63E-05
28	A004	1,338	1,2835	1,791875	0,2060025	0,258445	0,00297
29	A004	1,287	1,2835	1,791875	0,2548988	0,258445	1,22E-05
30	A004	1,278	1,2835	1,791875	0,2640675	0,258445	3,03E-05
31	A004	1,255	1,2835	1,791875	0,2882348	0,258445	0,000812
32	A004	1,276	1,2835	1,791875	0,266127	0,258445	5,63E-05
Suma total					3,5704835	3,538489	0,031995

Posteriormente, la Tabla 4 muestra las fórmulas necesarias para obtener la matriz que se muestra en RStudio.

Tabla 4. Fórmulas de la matriz de RStudio.

Viabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F valor
Probeta	SC_{pr}	$k - 1$	$CM_{pr} = \frac{SC_{pr}}{k - 1}$	$F = \frac{CM_{pr}}{CM_e}$
Error	SC_e	$N - k$	$CM_e = \frac{SC_e}{N - k}$	
Total	SC_t	$N - 1$		

Se procede a realizar los respectivos cálculos para la obtención de la matriz, teniendo:

- $k = 4$ (N° de probetas)
- $N = 32$ (N° datos)

Tabla 5. Cálculos para la obtención de la matriz.

Viabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F valor
Probeta	3.538489	3	1.179496	1032.22
Error	0.031995	28	0.001143	
Total	3.5704835	31		

A continuación, se presenta la matriz de RStudio y se comprueba con la Tabla 5, que se obtienen los mismos resultados.

```

      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Probeta...1  3  3.538  1.1795   1032 <2e-16 ***
Residuals  28  0.032  0.0011
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Figura 13. Matriz de RStudio con los datos extraídos de TTT02, lubricación en seco.

Luego de realizar el análisis ANOVA, se determina qué tipo de distribución de datos se obtiene, ya que según [49] las pruebas de normalidad más recomendadas para datos menores a 50 son

las de Anderson-Darling y Shapiro-Wilk además de utilizar un método gráfico para contrastar los resultados.

Finalmente, se anexan las fórmulas de correlación de Pearson o Spearman, según corresponda.

II. Metodología para la presentación de resultados estadísticos de la influencia de los parámetros de mecanizado y lubricantes

A continuación, se presenta, en resumen, el orden cronológico en el que se irán presentando los resultados en el CAPÍTULO III de este documento, relacionado con la influencia que se ha podido identificar entre los parámetros de mecanizado y los lubricantes con la rugosidad superficial de la parte mecanizada y el desgaste de las herramientas de corte, todo esto basados en un análisis estadístico integral.

- **Influencia de los parámetros de corte en la rugosidad superficial**
 1. Influencia de radio de punta de la herramienta de corte en la rugosidad.
 2. Influencia de la velocidad de avance en la rugosidad
- **Influencia de los parámetros de corte en la evolución del desgaste.**
 1. Influencia de la velocidad de corte en la evolución del desgaste.
- **Influencia de los lubricantes-refrigerantes en la rugosidad superficial.**
 1. Influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante en la rugosidad.
 2. Influencia del método híbrido y nanopartículas en la rugosidad.
 3. Influencia de la concentración de nano partículas en la rugosidad.
 4. Influencia de la lubricación híbrida en la rugosidad.
 5. Influencia de los ángulos de incidencia del fluido y número de racores en la rugosidad.
 6. Influencia de los líquidos iónicos en la rugosidad superficial.
- **Influencia del ángulo de incidencia y número de racores en el desgaste de flanco**
 1. Influencia de los ángulos de incidencia en la evolución del desgaste.
 2. Influencia del número de racores en la evolución del desgaste.

III. Metodología para la validación de resultados

A continuación, se describe varios aspectos relacionados con la preparación del proceso de mecanizado para la realización de los ensayos experimentales útiles en la validación de los resultados de proyección del desgaste.

1. Materiales

1.1. Selección del material para el mecanizado

En el libro “Cutting Tool Technology” [53], el capítulo 7 aborda el diseño de pruebas de maquinabilidad y programas de ensayo experimentales. Entre las diversas técnicas de 'ensayo rápido' mencionadas, se destaca el 'ensayo de desgaste acelerado de herramientas de corte'. Esta técnica consiste en aumentar la velocidad de corte para predecir de manera más rápida la vida útil de la herramienta. En esta investigación, se ha aplicado esta técnica a los ensayos seleccionados. Para evaluar la efectividad de esta metodología, se ha elegido el acero AISI 304 como material de ensayo para mecanizado. Este acero, debido a su tenacidad, ductilidad y tendencia al endurecimiento por trabajo en frío, representa un desafío considerable en el mecanizado. Al someter las herramientas a las condiciones más exigentes impuestas por la resistencia al desgaste del acero 304, podemos identificar con mayor precisión los mecanismos de desgaste y evaluar de forma más rápida y confiable la vida útil de las herramientas. Esto nos permite obtener resultados más confiables en un menor tiempo.

La composición química, propiedades físicas y mecánicas del acero AISI 304 se las presenta en la Tabla 6

Tabla 6. Propiedades químicas, físicas y mecánicas del acero inoxidable AISI 304. Fuente:[54]

Composición Química							
C	Si	Mn	Pmax	S	Cr	Ni	Mo
≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.015	18.0-20.0	8.0-10.5	-
Propiedades físicas y mecánicas							
Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	Resistencia a la cedencia (kg/mm ²)	Peso específico (kg/dm ³)	Elongación (%)		Dureza (HB)		
54-75	23	7.9	40-50		190		

1.2. Dimensiones de las probetas

Para los ensayos en la fresadora CNC se adquirieron 2 barras circulares de 3 in de diámetro y 300 mm de largo ya que barras de sección cuadrada no se encontraban en disponibilidad, se realizó un desbaste en cuatro lados para obtener la probeta deseada para los ensayos, considerando que la zona de sujeción de la prensa de entenalla y la barra es de 20 mm se obtuvieron un dimensionamiento final de 300x56x48 como se muestra en la Figura 14.

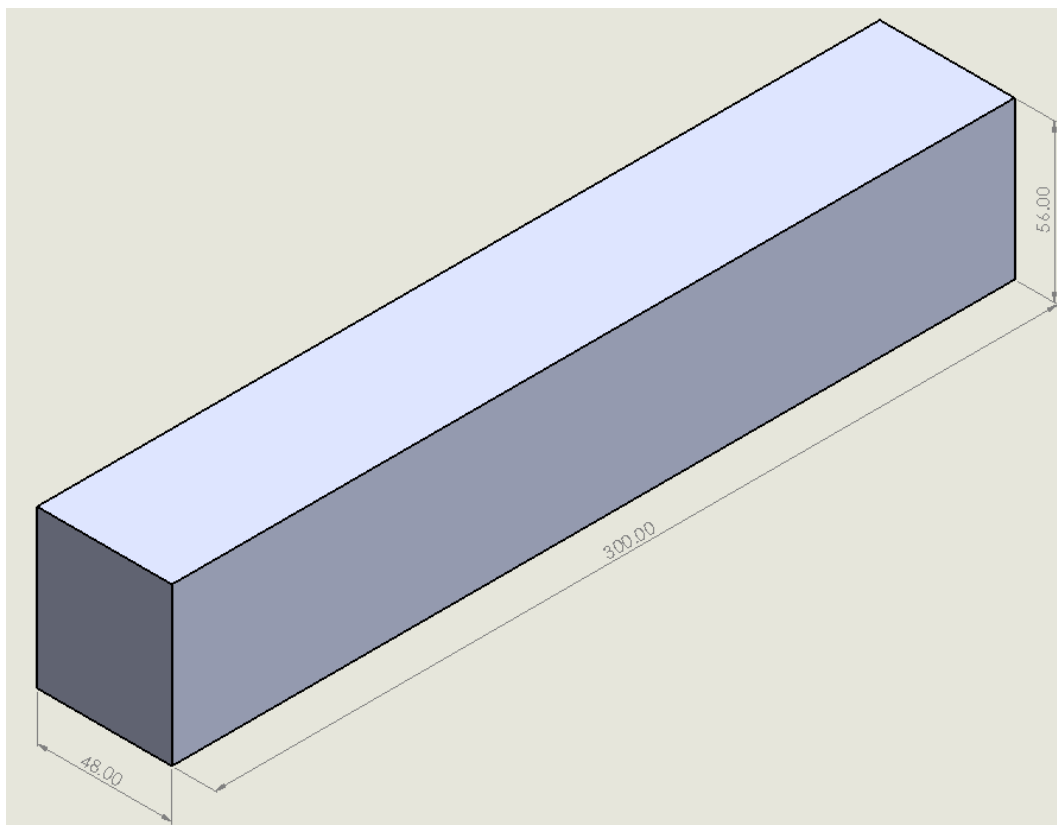


Figura 14. Dimensionamiento de la probeta para los ensayos en la fresadora CNC.

Para los ensayos del torno CNC se utilizaron barras de 2 in y de 1 $\frac{3}{4}$ in de diámetro de 150 y 180 mm de longitud respectivamente como se muestra en la Figura 14.

1.3. Selección del portaherramientas

Como los ensayos para fresado fueron de fresado frontal “FM” como se deseó contrastar los resultados de las tesis estudiadas es así como erepara contrastar los resultados de la TTF08 y

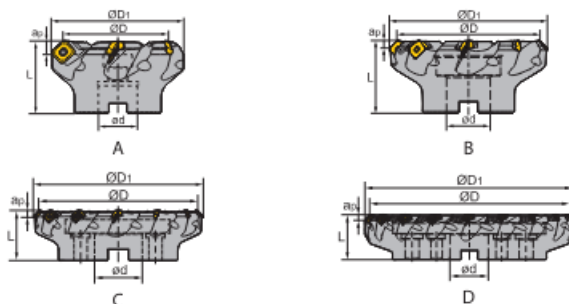
TTF06 se utilizó el portaherramientas FMA01-063-A22-SE12-05 las medidas del portaherramientas están en la Figura 15.

Face milling

FMA01 Kr: 45°



Fine pitch



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

Figura 15. Dimensiones del portaherramientas de la fresadora. Fuente: [54]

Para el torno se seleccionó el portaherramientas de la TTT02 la MCLNR-2020K12, las medidas del portaherramientas se encuentran

MCLN
95°

Technical drawing of the MCLN 95° tool holder. The drawing shows a side view with dimensions A, B, C, E, and F. The angle between the top surface and the side is 5°. The angle between the bottom surface and the side is 5° NEG. The drawing also shows a top view with dimensions A, B, C, E, and F.

Technical drawing of the MCLN 95° tool holder. The drawing shows a side view with dimensions A, B, C, and E. The angle between the top surface and the side is 5° NEG. The drawing also shows a top view with dimensions A, B, C, and E. The note "RIGHT HAND SHOWN LEFT HAND OPPOSITE" is present.

ORDER NO.		INSERT	DIMENSIONS						PARTS				WEIGHT (kg)		CODE NO.	
Righthand	Lefthand		A	B	C	E	F					Right	Left	Right	Left	
MCLNR-1616H12	MCLNL-1616H12	CNMG 12 04 08	16	16	100	30	20	SMC-432	LCS-617	CP50-22	CS7-6024	0.25	0.25	6005-001	6005-101	
MCLNR-2020K12	MCLNL-2020K12	CNMG 12 04 08	20	20	125	34	25	SMC-432	LCS-617	CP50-22	CS7-6030	0.45	0.45	6005-002	6005-102	
MCLNR-2525M12	MCLNL-2525M12	CNMG 12 04 08	25	25	150	34	32	SMC-432	LCS-617	CP50-22	CS7-6030	0.80	0.80	6005-003	6005-103	
MCLNR-3225P12	MCLNL-3225P12	CNMG 12 04 08	32	25	170	34	32	SMC-432	LCS-617	CP50-22	CS7-6030	1.20	1.20	6005-004	6005-104	

Figura 16. Medidas del portaherramientas usada en torneado. Fuente: [55]

1.3.1. Selección de la plaquita de corte

Para los insertos se seleccionaron los insertos de metal duro SEET12T3-DM YBG202 ya que la TTF08 y TTF06 lo utilizaron para el desarrollo de sus ensayos en fresado, la Tabla 7 muestra características de la plaquilla de corte.

Tabla 7. Medidas de la SEET12T3-DM YBG202. Fuente: [56]

Dimensiones de la SEET12T3-DM YBG202		
Cotas		
Cota	Unidades	Valor
Anchura de corte plano (BS)	Milímetros	2.55
Diámetro del orificio de fijación (D1)		4.1
Círculo inscrito (IC)		13.4
Longitud del filo de corte (L)		13.4
Altura de filo cortante (S)		3.97

Grosor de la plaquita de corte (S1)		3.97
Ángulo de incidencia normal, corte principal (AN)	Grados	20
Ángulo de incidencia normal, corte plano (AS)		29
Ángulo de esquina de plaquita de corte (EPSR)		90
Ángulo de ajuste del filo de corte principal (KRINS)		45

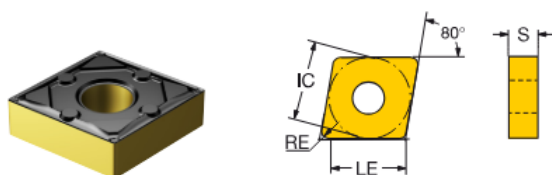
Para el torneado se seleccionó el mismo que la TTT02, el CNMG 120404 MF 2025, la Figura 17 muestra características y medidas del inserto utilizado siendo uno adecuado para un semiacabado y desbaste de aceros inoxidables austeníticos y dúplex.



Figura 17. Inserto CNMG 120404 MF 2025 para los ensayos de torneado.

Plaquita T-Max® P para torneado

Plaquita tipo C (Rómbica de 80°)



							CÓDIGO ISO	P					M					K		N		S									
			LE	S	RE	BS		1525	4305	4315	4325	4335	5015	1115	1125	2015	2025	2035	2220	3210	3225	4325	H13A	1125	H13A	1105	1115	1125	H13A	S05F	
Acabado	WF	09	9.3	3.18	0.40	0.5	CNMG 09 03 04-WF							★						★	☆										
			8.9	3.18	0.79	0.7	CNMG 09 03 08-WF			★				★						★	☆										
		12	12.5	4.76	0.40	0.5	CNMG 12 04 04-WF	☆		★	☆		☆	☆	★				★	☆	☆										
			12.1	4.76	0.79	0.8	CNMG 12 04 08-WF	☆	☆	★	☆		☆	☆	★				★	☆	☆										
			11.7	4.76	1.19	0.8	CNMG 12 04 12-WF	☆	☆	★	☆		☆	☆	★				★	☆	☆										
	PF	09	9.3	3.18	0.40		CNMG 09 03 04-PF			★	☆		☆									☆									
			8.9	3.18	0.79		CNMG 09 03 08-PF	☆		★	☆		☆								☆										
		12	12.5	4.76	0.40		CNMG 12 04 04-PF	☆		★	☆		☆								☆										
			12.1	4.76	0.79		CNMG 12 04 08-PF	☆	☆	★	☆		☆								☆										
			11.7	4.76	1.19		CNMG 12 04 12-PF	☆	☆	★	☆		☆								☆										
	KF	12	12.5	4.76	0.40		CNMG 12 04 04-KF													★	☆										
			12.1	4.76	0.79		CNMG 12 04 08-KF													★	☆										
			11.7	4.76	1.19		CNMG 12 04 12-KF													★	☆										
	MF	09	9.3	3.18	0.40		CNMG 09 03 04-MF						☆	☆		★											★	☆			
			8.9	3.18	0.79		CNMG 09 03 08-MF						☆	☆		★											★	☆			
		12	12.5	4.76	0.40		CNMG 12 04 04-MF						☆	☆	★	☆	☆	☆							★	☆	☆		☆		
		12.1	4.76	0.79		CNMG 12 04 08-MF						☆	☆	★	☆	☆	☆	☆							★	☆	☆		☆		
		11.7	4.76	1.19		CNMG 12 04 12-MF						☆	☆	★	☆	☆	☆	☆							★	☆	☆		☆		

Figura 18. Medidas del inserto para torneado CNMG 120404 MF. Fuente: [57]

1.3.2. Aceite soluble

Se utilizó el aceite Soluble OIL D de Chevron de la Figura 19, se mezcla a una proporción de 10:1 según [58] es la proporción de agua-aceite más adecuada para el mecanizado de aceros inoxidables y torneado.

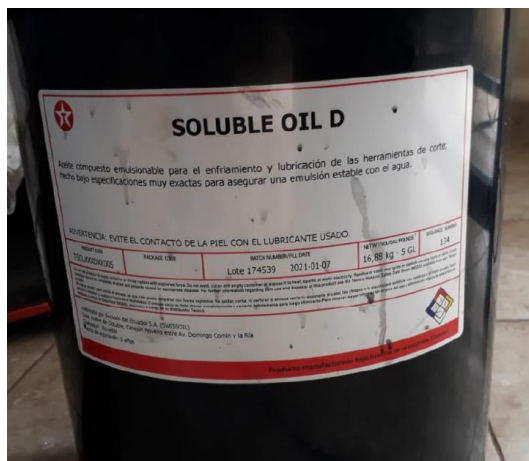


Figura 19. Soluble OIL D para ensayos a inundación. Fuente: [42]

1.3.3. Nanopartículas de Óxido de Titanio (TiO₂)

Las nano partículas de la Figura 20 fueron seleccionadas ya que la TTF08 las utilizó y se desea contrastar los resultados la Tabla 8 muestra características de las nanopartículas.



Figura 20. Nano partículas de TiO₂. Fuente:[42]

Tabla 8. Propiedades de las nanopartículas de TiO₂ en fase Anatasa. Fuente:[59]

Propiedades	Valor	Unidades
Pureza	99.9	%
Tamaño promedio (APS)	100	nm
Color	Blanco	-

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad aparente (Bulk Density)	0.65	g/cm ³
Densidad real (True Density)	3.9	g/cm ³
PH	6-6.5	-
Perdida por secado	4.17	%
Perdida por ignición	8.24	%

1.3.4. Nanopartículas de Alúmina (Al₂O₃)

Se seleccionaron las nano partículas de Al₂O₃ de la Figura 21 ya que la TTF06 las utilizó para los ensayos con el AISI 304, Tabla 9 muestra las propiedades de las nanopartículas de Al₂O₃.



Figura 21. Nano partículas de Al₂O₃. Fuente: [42]

Tabla 9. Propiedades de las nanopartículas de Al₂O₃. Fuente: [60]

Propiedades	Valor	Unidades
Pureza	99.9	%
Tamaño promedio (APS)	135	nm
Color	Blanco	-
Forma	romboédrica	-
Densidad real (True Density)	3.97	g/cm ³

Propiedades	Valor	Unidades
PH	6-6.5	-
Perdida por secado	4.17	%

1.3.5. Aceite lubricante

Siguiendo con las investigaciones de las TTF06 y TTF08 se utilizó el aceite “UNIST COOLUBE 2210XP” de la Figura 22, es un aceite especializado para el mecanizado, es biodegradable, una opción mucho más atractiva a la taladrina ya que no posee componentes volátiles o irritantes para el operario, según [61] es un aceite óptimo para mecanizar con materiales ferrosos, mejora la calidad de la viruta y no genera choque térmico, la Tabla 10 muestra características del aceite.



Figura 22. Aceite UNIST COOLUBE 2210XP. Fuente:[61]

Tabla 10. Características del UNIST COOLUBE 2210XP. Fuente:[61]

Especificación	Valor
Apariencia	Amarillo
Solubilidad	Insoluble
Punto de inflamación	>200°C

1.3.6. Equipos

1.3.6.1. Fresadora CNC

Los ensayos correspondientes a fresado se realizaron en la fresadora “CNC TRAVIS M-1000” de la Figura 23 del laboratorio de mecanizado de la Universidad Técnica de Ambato, sus características se muestran en la Tabla 11.



Figura 23. Fresadora "CNC TRAVIS M-1000" del laboratorio de Mecánica.

Tabla 11. Especificaciones de la máquina fresadora utilizada para los ensayos. Fuente: [19]

Descripción	Detalle		
	Descripción	Valor	Unidades
Dimensiones	2720X2180X2720		mm
Peso	4500		kg
Carga máxima de la mesa	800		kg
Cabezal	Tipo de fijación	Neumático	
	Cono de husillo	BT-40	
	Velocidad máxima	10000	rpm
Carreras de ejes	X	1020	mm
	Y	600	mm
	Z	610	mm

Potencia	Motor principal	25/15	HP
	Bomba de refrigerante	0.5	HP

1.3.6.2. Torno CNC

Se utilizó el torno “HAAS ST 10” de la Figura 24, ubicada en el laboratorio de mecanizado de mecanizado de la Carrera de Mecánica, sus características se encuentran en la Tabla 12.



Figura 24. Torno HAAS ST10 del laboratorio de Mecánica.

Tabla 12. Especificaciones del Torno HAAS ST10. Fuente: [62]

Descripción	Detalle		
	Descripción	Valor	Unidades
Dimensiones	3048X2108X1803		mm
Peso	3600		kg
Longitud máxima de torneado	356		mm
Diámetro máximo sobre bancada	641		mm
Diámetro máximo admitido sobre carro	413		mm
Longitud entre centros	355.6		mm

Diámetro interior del husillo	58.7	mm	
Número de torretas y herramientas	12	-	
Cabezal	Tipo de fijación	Neumático	
	Cono de husillo	BT-40	
	Velocidad máxima	6000	rpm
Carreras de ejes	X	200	mm
	Z	355	mm
Potencia	Motor husillo	11.2	kW

1.3.6.3. Sistema de aplicación MQL

El equipo utilizado es de la marca “DropsA” de la Figura 25, que a su máxima salida de caudal es de 480 ml/h y presión de salida de 2 bares, además de dos filtros uno para la entrada del líquido y otro a la salida a la manguera de dosificación de aire y aceite generando la dosificación de aspersión, la boquilla en los ensayos se la ubico a 30° y una distancia de 50mm de la zona de corte entre la herramienta y pieza de trabajo.



Figura 25. Sistema de MQL.

1.3.6.4. Sistema de aplicación criogénica por CO₂

El sistema utilizado está compuesto por tuberías de acero inoxidable y mangueras hidráulicas de 1500 psi en donde hay un subsistema de mezcla de fluido criogénico en los cuales hay accesorios como: un regulador de caudal, acoples rápido y en T, tanques de CO₂ de 10 y 20 kg y una válvula esférica.

El CO₂ líquido se lo trabajó girando el tanque de 10 kg a unos 180° con un flujo másico de aproximadamente 0.2 kg/min controlados por una válvula reguladora de caudal, mientras que el CO₂ gaseoso se trabajó con el tanque de 20kg, en donde se regulaba el caudal con una válvula esférica con un flujo másico de 0.45 kg/min a una presión aproximada de 60 bares que registraba el cilindro.

La mezcla de las dos fases del CO₂ llegaba al racor de salida, es una tubería de 6 mm de diámetro con una boquilla de 1.5 mm ubicado a 45° y 80 mm de la zona de contrato de la herramienta y pieza de trabajo, todo el esquema se lo replicó a la TTF08 como se muestra en la Figura 26.



Figura 26. Sistema criogénico trabajado en los ensayos de fresado. Fuente: [19].

1.3.6.5. Microscopio de barrido

Se utilizó el microscopio de barrido SEM de “TESCAN” ubicado en los laboratorios es la Figura 27 de mecanizado de la carrera de Mecánica, su funcionamiento consiste en la obtención de una imagen por medio de un haz de electrones a diferentes graduaciones, para la obtención de los resultados se trabajó con medidas que variaban entre 80 a 200 aumentos, una velocidad de $6\mu\text{s}/\text{pxl}$ y HV de 5 – 8kV.



Figura 27. Microscopio de barrido TESCAN del taller de mecánica.

1.3.6.6. Homogeneizador

Se utilizó el homogeneizador ubicado en los laboratorios de metalografía de la carrera de Mecánica que se muestra en la Figura 28 ya que el aceite UNIST COOLUBE 2210 es insoluble por lo que fue necesario el uso de un método no convencional para lograr suspender todas las nanopartículas de TiO_2 y Al_2O_3 , para lograr una correcta homogeneización se lo realizó a una velocidad 3500 rpm durante 90 min.



Figura 28. Homogeneizador de los laboratorios de metalografía.

1.3.6.7. Compresor

Se utilizó el compresor de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de 5 HP, su utilización fue necesario para el funcionamiento del MQL.

1.4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

1.4.1. Integridad superficial

La integridad superficial en el mecanizado se refiere a la calidad y condición de la capa superficial de una pieza después de haber sido sometida a un proceso de fabricación. No se trata únicamente de la rugosidad o acabado superficial, sino que abarca un conjunto más amplio de características que influyen en el comportamiento y vida útil de la pieza. Una buena integridad superficial prolonga la vida útil de las piezas, reduciendo los costos de mantenimiento y reemplazo según [63].

La rugosidad, como parte de la integridad superficial, tiene una influencia directa en la productividad, a continuación, se detalla los puntos

- Herramientas de corte: Una superficie rugosa aumenta la fricción entre la herramienta y la pieza, acelerando el desgaste de la herramienta y reduciendo la vida útil. Esto implica paradas más frecuentes para cambiar herramientas y, por lo tanto, menor productividad.
- Acabados superficiales adicionales: Si se requiere una superficie muy lisa, se necesitarán operaciones de acabado adicionales (pulido, rectificado), lo que aumenta el tiempo de ciclo y reduce la productividad.
- Calidad del producto: Una rugosidad excesiva puede afectar la funcionalidad de la pieza, como en el caso de componentes que requieren un ajuste preciso o una buena lubricación. Esto puede llevar a rechazos y reprocesos, disminuyendo la productividad.

1.4.2. Metodología para la evaluación de la rugosidad superficial

Es bien conocido, que la rugosidad superficial es uno de los parámetros más importantes a la hora de evaluar la calidad superficial de las superficies mecanizadas.

En esta investigación mediante métodos estadísticos se ha seleccionado investigaciones previas que cumplen con las condiciones mínimas necesarias para alcanzar este objetivo. Es importante destacar que los hallazgos deben en lo posible brindar la posibilidad de generalizar los resultados para otros casos de aplicación práctica, que es una fortaleza de este trabajo de investigación, por tal razón a continuación se muestra la Tabla 13 donde los siguientes trabajos investigativos reúnen las condiciones necesarias ya que presentan parámetros de corte homogéneos que permiten la evaluación estadística necesaria para obtener conclusiones valederas de la influencias de los diferentes parámetros del mecanizado en la rugosidad superficial

Tabla 13. Parámetros de mecanizado influyentes en la rugosidad superficial.

Tesis	INDEPENDIENTE										DEPENDIENTE
	V. de avance mm/min	V. de corte m/min	Radio de punta (mm)	N° racores	Ángulo de incidencia	Lubricación híbrida	índice de viscosidad	Concentración de nanopartículas	Lubricantes ecoeficientes	Líquidos iónicos	Rugosidad
TTT02		X	X					X	X		X
TTT03	X								X		X
TTT04		X		X	X				X		X
TTT05		X							X	X	X
TTF06						X			X		X
TTT07							X		X		X

1.4.3. Metodología para la evaluación de la productividad

Los autores de esta investigación han creído conveniente realizar esta distinción en cuanto a la evaluación estadística para verificar la influencia de los parámetros de corte y lubricantes ecoeficientes debido a que se trata de dos variables distintas como son la rugosidad superficial de la parte mecanizada y la productividad del proceso entendido como la mejora en la vida útil de la herramienta de corte y la disminución en el uso de lubricantes de corte. Es claro que ambas consecuencias del proceso están íntimamente ligadas, pero mientras más amplio es el estudio la generalización para casos prácticos de la industria resulta siendo más conveniente.

La literatura especializada no siempre evalúa, ambas variables del proceso al mismo tiempo debido a los altos costos que esto representa y ha sido una de las principales razones por las cuales en esta investigación la rugosidad superficial y el desgaste ha sido evaluado íntegramente desde los datos de investigaciones previas y todos los esfuerzos y recursos se han enfocado en validar la productividad del proceso (vida útil de la herramienta de corte y utilización de diferentes tipos de lubricantes ecoeficientes). En la Tabla 14, se muestran las variables independientes que fueron analizadas para verificar y comprobar como influyen dentro del desgaste de flanco, todas estas fueron extraídas de los experimentos ya realizados con anterioridad dentro del repositorio de la Universidad Técnica de Ambato.

Tabla 14. Parámetros de mecanizado influyentes en el desgaste de flanco.

Tesis	INDEPENDIENTE										DEPENDIENTE
	Velocidad de avance mm/min	Velocidad de corte m/min	Radio de punta	N° de racores	Angulo de incidencia	Lubricación híbrida	Índice de viscosidad	Concentración de nanopartículas	Lubricantes ecoeficientes	Líquidos iónicos	Vb
TTF01		x							x		x
TTT02		x	x					x	x		x
TTT04		x		x	x				x		x
TTT05		x							x	x	x
TTF08						x			x		x

Una vez analizado como influyen los parámetros de mecanizado dentro de la productividad y la calidad superficial, se han establecido los experimentos puntuales con factores de control similares a las TTF06, TTF08 y TTT02 ya que se necesitó contrastar resultados obtenidos en la curva de Taylor y determinar si se llega al fallo de la herramienta al tiempo proyectado, por lo que se partió desde las corridas del diseño experimental que se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Corridas de diseño experimental.

Fresado			
Experimento	Vc (m/min)	Profundidad de corte (mm)	Fluido de corte
1	230	0.3	Inundación
2	290	0.3	Cryo+NMQL TiO ₂
3	250	0.5	MQL
4	300	0.5	Cryo+NMQL Al ₂ O ₃
Torneado			
5	200	0.4	Seco
6	300	0.4	MQL

Se realizó una repetición por cada experimento.

1.5. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE CORTE

Para trabajar con 4 velocidades de corte V_c especificadas en la Tabla 15, se procedió al cálculo de las velocidades del husillo y el avance de la mesa correspondientes.

1.5.1. Velocidad de corte para fresado

La velocidad de corte se puede calcular con la ecuación (5).

$$V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right] \quad (5)$$

Donde:

D: Diámetro de la herramienta [mm]

n: velocidad angular del husillo [rpm]

1.5.2. Velocidad de avance para fresado

Es aquella donde la herramienta se desplaza a lo largo de la dirección de corte se utiliza la ecuación (6).

$$V_f = f_z * z_n * n = f_n * n \left[\frac{mm}{min} \right] \quad (6)$$

Donde:

f_z = avance por diente [mm/diente]

z_n =número dientes efectivos.

f_n = avance por revolución = $f_z * Z_n$ [mm/rev]

1.5.3. Velocidad de corte para torneado

La velocidad de corte se puede calcular con la ecuación (5).

Donde:

D: Diámetro del eje [mm]

n: velocidad angular del husillo [rpm]

Vc: velocidad de corte [m/min]

1.5.4. Velocidad de corte para torneado

Es aquella donde la herramienta se desplaza a lo largo de la dirección de corte se utiliza la ecuación (7).

$$V_f = f_n * n \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \quad (7)$$

Donde:

Vf= velocidad de avance [mm/min]

n= velocidad del husillo [rpm]

fn= avance por revolución = [mm/rev]

1.5.5. Cálculos de parámetros de corte para fresado

Los cálculos de la velocidad de husillo y avance de la mesa se lo realizaron despejando las variables de interés de las ecuaciones (5) y (6), con la consideración de un avance por diente (fz) de 0.1 para contraste de resultados con las TTF06 y TTF08, el número de dientes efectivo de la herramienta de corte son 5 y un diámetro de 63 mm.

Velocidad de husillo con $V_c = 230$ m/min

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi} = \frac{230 * 1000}{63 * \pi} = 1162.083 \approx 1160 \text{ rpm}$$

Velocidad de avance con $V_c = 230$ m/min

$$V_f = f_z * z_n * n = 0.1 * 5 * 1160 = 580 \text{ mm/min}$$

Velocidad de husillo con $V_c = 290$ m/min

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi} = \frac{290 * 1000}{63 * \pi} = 1465.235 \approx 1465 \text{ rpm}$$

Velocidad de avance con $V_c = 290$ m/min

$$V_f = f_z * z_n * n = 0.1 * 5 * 1465 = 732.5 \text{ mm/min}$$

Velocidad de husillo con $V_c = 250$ m/min

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi} = \frac{250 * 1000}{63 * \pi} = 1263.1344 \approx 1260 \text{ rpm}$$

Velocidad de avance con $V_c = 250$ m/min

$$V_f = f_z * z_n * n = 0.1 * 5 * 1260 = 630 \text{ mm/min}$$

Velocidad de husillo con $V_c = 300$ m/min

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi} = \frac{300 * 1000}{63 * \pi} = 1515.7613 \approx 1515 \text{ rpm}$$

Velocidad de avance con $V_c = 300$ m/min

$$V_f = f_z * z_n * n = 0.1 * 5 * 1515 = 757.5 \text{ mm/min}$$

1.5.6. Cálculo de parámetros de corte para torneado

Se utilizaron los valores del avance (f_n) de $f_n = 0.175$ mm/rev ya que la TTT02 la utilizó para la resolución de sus ensayos.

Velocidad de husillo con $V_c = 200$ m/min

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi} = \frac{200 * 1000}{50.8 * \pi} = 1253.188 \approx 1250 \text{ rpm}$$

Velocidad de avance con $V_c = 200$ m/min

$$V_f = f_n * n = 0.175 * 1250 = 218.75 \approx 220 \text{ mm/min}$$

Velocidad de husillo con $V_c = 300$ m/min

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi} = \frac{300 * 1000}{44.5 * \pi} = 2145.909 \approx 2100 \text{ rpm}$$

Velocidad de avance con $V_c = 300$ m/min

$$V_f = f_n * n = 0.175 * 2100 = 367.5 \approx 360 \text{ mm/min}$$

1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente: Parámetros de mecanizado y lubricantes ecoeficientes.

Definición de la variable	Categoría	Indicador	Técnicas e instrumentos
Los parámetros de mecanizado son variables de influencia en el acabado superficial y el desgaste de flanco existen diferentes niveles de influencia	Máquina herramienta	Velocidad de avance	

Definición de la variable	Categoría	Indicador	Técnicas e instrumentos
de un parámetro respecto de otro que con el análisis estadístico permitirán determinar cuál de ellos son los más influyentes en el mecanizado y su grado de impacto.	Herramienta de corte	Radio de punta	• Datos de investigaciones previas • Análisis estadísticos • Software de procesamiento de datos • Ensayos de laboratorio • Toma de datos
Los lubricantes ecoeficientes son aquellos que se degradan mucho más rápido respecto a la taladrina, además que no generan enfermedades al operario al momento de mecanizar, si índice de viscosidad tiene un alto impacto al momento de mecanizar.	Aceite lubricante	Índice de viscosidad	
		Líquidos iónicos	

1.6.1. Variable Dependiente: Productividad y calidad superficial en los procesos de mecanizado de aceros.

Definición de variable	Categoría	Indicador	Técnicas e instrumentos
A la rugosidad se la asocia con el acabado superficial, al objetivo de todo mecanizado es mantener un valor bajo para tener menos procesos de mecanizado	Rugosidad	Ra	• Datos de investigaciones previas • Análisis estadísticos

posteriores para optimizar la productividad				• Software de procesamiento de datos • Ensayos de laboratorio • Toma de datos
El desgaste de flanco es una traducción a la productividad, si se mejora el tiempo de vida útil, se reemplazará menos la herramienta y se optimizarán los procesos de maquinado, se utilizó la norma ISO 8688-1	Desgaste de flanco	AISI 304	Vb Vbmax	

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de la presentación de los resultados: Debido a la enorme cantidad de datos que han sido analizados, los autores hemos creído conveniente describir la forma en la que se presentan los resultados de la presente investigación en este capítulo para una mejor lectura de estos.

En primera instancia en el apartado 3.1. (Análisis estadístico de los parámetros de mecanizado) y los subapartados subsiguientes se presentan los resultados del análisis ANOVA de cada una de las investigaciones previas que se ha propuesto analizar con el propósito de determinar la existencia de una correlación entre los parámetros de mecanizado, lubricantes, rugosidad superficial y desgaste de flanco, donde, como se mencionó anteriormente si el valor de p es menor a 0.05 se acepta la hipótesis alternativa, caso contrario se acepta la hipótesis nula.

Luego, en el apartado 3.2 (Influencia de los parámetros de corte en la rugosidad) y los apartados subsiguientes se presenta la influencia del radio de punta y la velocidad de avance en la rugosidad superficial de la pieza de trabajo en diversas condiciones de lubricación.

Posteriormente, en el apartado 3.3 (Influencia de los parámetros de corte en la evolución del desgaste) y los apartados subsiguientes se presenta la influencia de la velocidad de corte en la evolución del desgaste de flanco de la herramienta de corte en diversas condiciones de lubricación.

En el apartado 3.4 (Influencia de los lubricantes-refrigerantes en la rugosidad superficial) y los apartados subsiguientes se presenta la influencia de: el índice de viscosidad del líquido lubricante, del método híbrido y nanopartículas, la concentración de nano partículas, la lubricación híbrida, los ángulos de incidencia del fluido y número de racores en la rugosidad y los líquidos iónicos en la rugosidad superficial de la pieza de trabajo en diversas condiciones de lubricación.

Finalmente, en el apartado 3.5 (Influencia del ángulo de incidencia y número de racores en el desgaste de flanco) y los apartados subsiguientes se presenta la influencia de la posición y

cantidad de mangueras lubricantes en la evolución del desgaste de flanco de la herramienta de corte en diversas condiciones de lubricación.

3.1. Análisis estadístico de los parámetros de mecanizado

3.1.1. Análisis ANOVA

3.1.1.1. ANOVA de la TTF01

La Tabla 16 muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTF01 en desgaste de flanco.

- Planteamos la hipótesis nula H_0 : El desgaste de flanco es la mismo sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H_1 : El desgaste de flanco es distinto al variar la probeta.

Tabla 16. Análisis ANOVA de la TTF01 en desgaste de flanco.

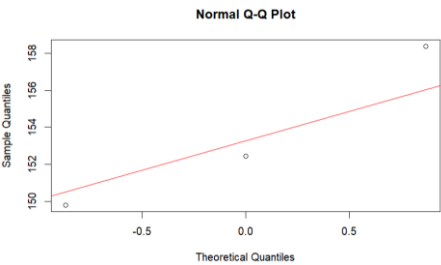
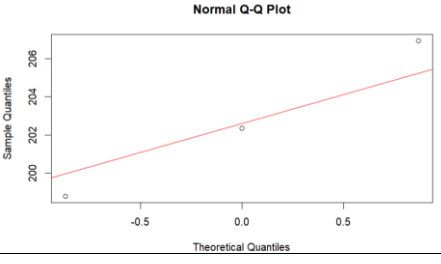
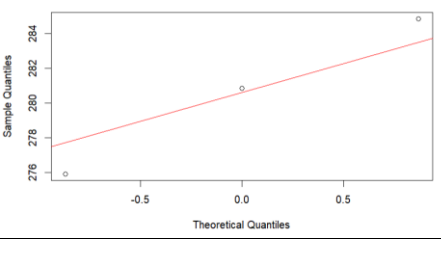
Análisis ANOVA – Desgaste de flanco				
Probeta	Resultado			
TTF01 I	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 10 340030 34003 292.6 <2e-16 *** Residuals 22 2556 116 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1
TTF01 MQL	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 14 466359 33311 4364 <2e-16 *** Residuals 30 229 8 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1

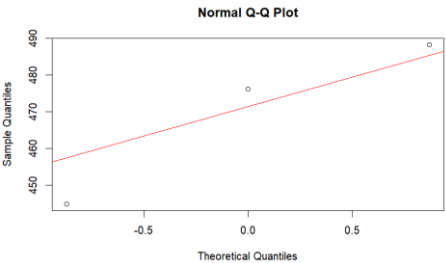
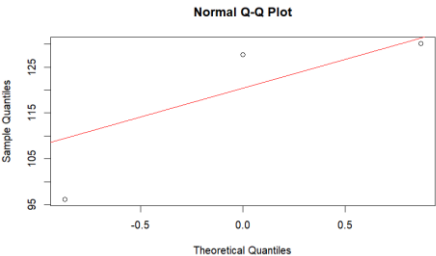
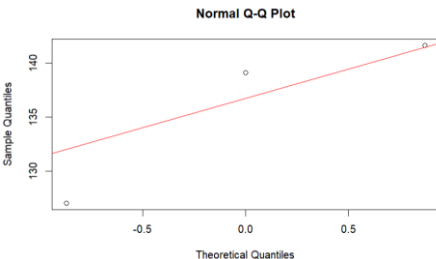
El tipo de distribución presentada en la Tabla 17 y en la Tabla 18, sirve para determinar el tipo de correlación a realizar, se realizaron por el método de Shapiro-Wilk siendo necesario plantear hipótesis para determinar la normalidad o no normalidad de los datos.

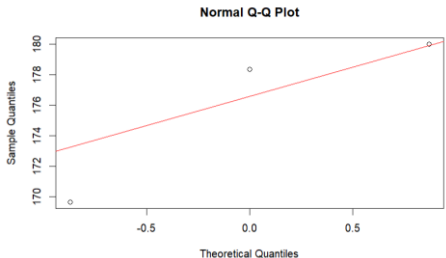
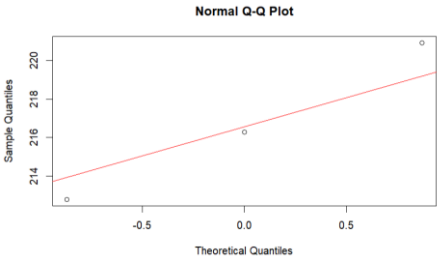
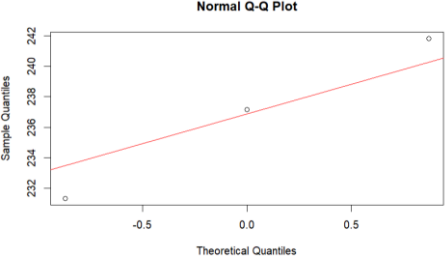
- H_0 = Los datos siguen una distribución normal.

- H1 = Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 17. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF01 en inundación.

TTF01 I Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación inundación.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-wilk normality test data: A001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.95392, p-value = 0.5868	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-wilk normality test data: A002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99491, p-value = 0.8636	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	
A003	
Shapiro-wilk normality test data: A003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99634, p-value = 0.8845	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	

TTF01 I Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación inundación.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
A004	
Shapiro-wilk normality test data: A004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.93781, p-value = 0.5186	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A004 corresponden a una distribución NORMAL	
A005	
Shapiro-wilk normality test data: A005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.80455, p-value = 0.1254	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A005 corresponden a una distribución NORMAL	
A006	
Shapiro-wilk normality test data: A006\$`Desgaste de flanco um` W = 0.87523, p-value = 0.3105	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A006 corresponden a una distribución NORMAL	
A007	

TTF01 I Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación inundación.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A007\$`Desgaste de flanco um` W = 0.86716, p-value = 0.2875	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A007 corresponden a una distribución NORMAL	
A008	
Shapiro-wilk normality test data: A008\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99347, p-value = 0.8455	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A008 corresponden a una distribución NORMAL	
A009	
Shapiro-wilk normality test data: A009\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99582, p-value = 0.8765	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A009 corresponden a una distribución NORMAL	
A010	

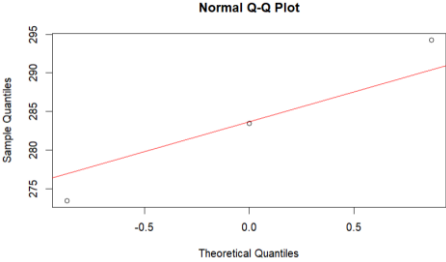
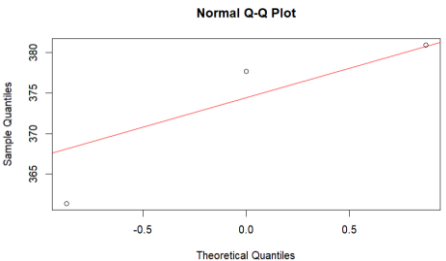
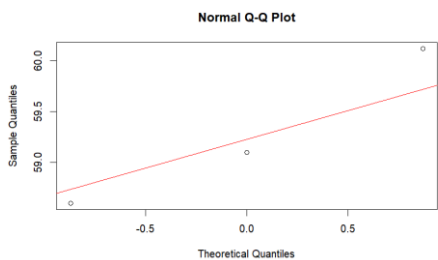
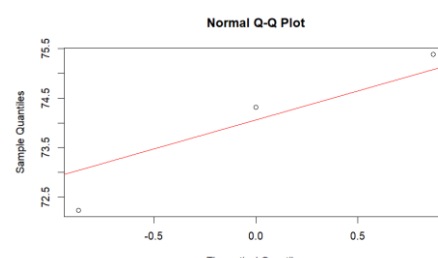
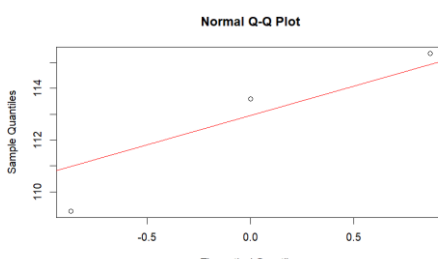
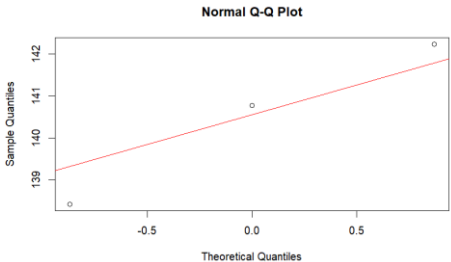
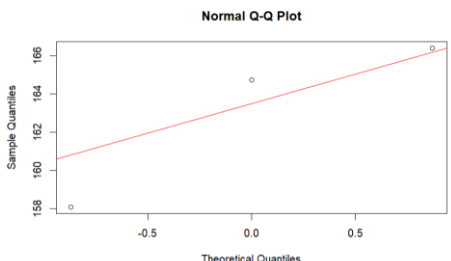
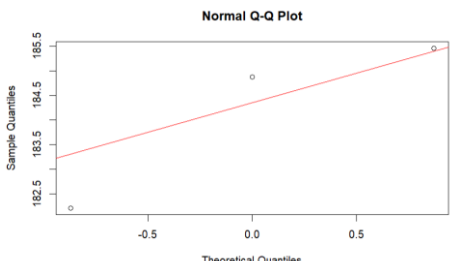
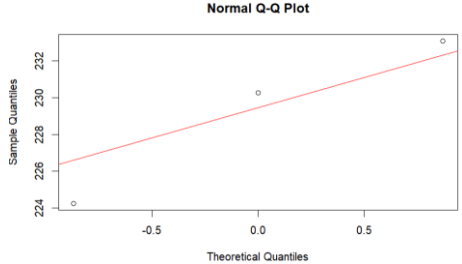
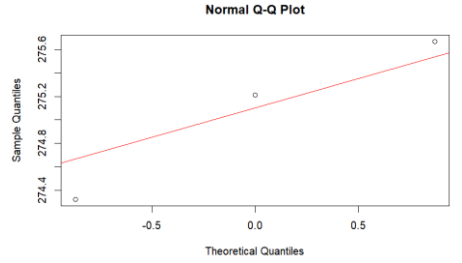
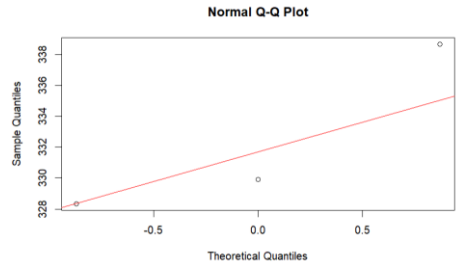
TTF01 I Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación inundación.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A010\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99959, p-value = 0.9614	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A010 corresponden a una distribución NORMAL	
A011	
Shapiro-wilk normality test data: A011\$`Desgaste de flanco um` W = 0.87148, p-value = 0.2997	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A011 corresponden a una distribución NORMAL	

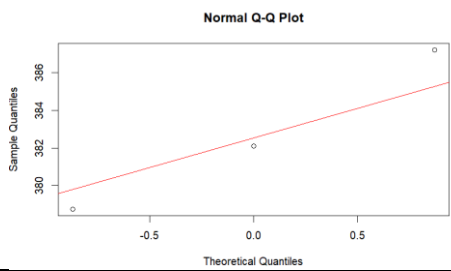
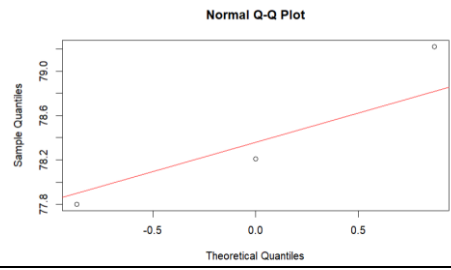
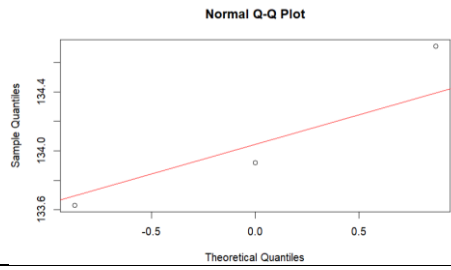
Tabla 18. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF01 en MQL.

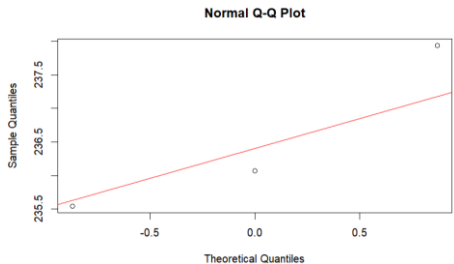
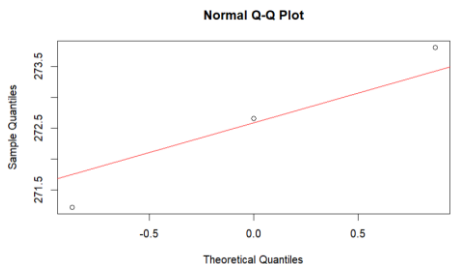
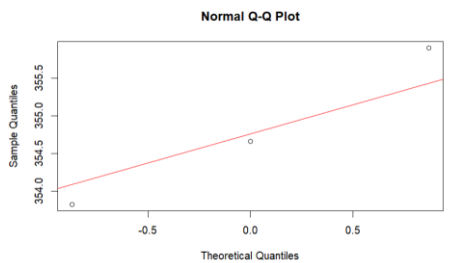
TTF01 MQL Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
B001	

TTF01 MQL Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: B001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.96245, p-value = 0.6276	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
B002	
Shapiro-wilk normality test data: B002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.96644, p-value = 0.6481	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B002 corresponden a una distribución NORMAL	
B003	
Shapiro-wilk normality test data: B003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.94373, p-value = 0.5426	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B003 corresponden a una distribución NORMAL	
B004	

TTF01 MQL Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98214, p-value = 0.744	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B004 corresponden a una distribución NORMAL	
B005	
Shapiro-wilk normality test data: B005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.89286, p-value = 0.3631	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B005 corresponden a una distribución NORMAL	
B006	
Shapiro-wilk normality test data: B006\$`Desgaste de flanco um` W = 0.88088, p-value = 0.327	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B006 corresponden a una distribución NORMAL	
B007	

TTF01 MQL Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: B007\$`Desgaste de flanco um` W = 0.95783, p-value = 0.605	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B007 corresponden a una distribución NORMAL	
B008	
Shapiro-Wilk normality test data: B008\$`Desgaste de flanco um` W = 0.96729, p-value = 0.6527	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B008 corresponden a una distribución NORMAL	
B009	
Shapiro-Wilk normality test data: B009\$`Desgaste de flanco um` W = 0.86097, p-value = 0.2702	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B009 corresponden a una distribución NORMAL	
B010	

TTF01 MQL Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B010\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98559, p-value = 0.7702	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B010 corresponden a una distribución NORMAL	
B011	
Shapiro-wilk normality test data: B011\$`Desgaste de flanco um` W = 0.94383, p-value = 0.543	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B011 corresponden a una distribución NORMAL	
B012	
Shapiro-wilk normality test data: B012\$`Desgaste de flanco um` W = 0.93332, p-value = 0.5012	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B012 corresponden a una distribución NORMAL	
B013	

TTF01 MQL Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: B013\$`Desgaste de flanco um` W = 0.90587, p-value = 0.4044	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B013 corresponden a una distribución NORMAL	
B014	
Shapiro-Wilk normality test data: B014\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99584, p-value = 0.8767	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B014 corresponden a una distribución NORMAL	
B015	
Shapiro-wilk normality test data: B015\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98782, p-value = 0.7888	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B015 corresponden a una distribución NORMAL	

3.1.1.2. ANOVA de la TTT02

La Tabla 19 muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTT02 en rugosidad superficial.

- Planteamos la hipótesis nula H_0 : La rugosidad superficial promedio es la misma sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H_1 : La rugosidad superficial promedio es distinta al variar la probeta.

Tabla 19. Análisis ANOVA de la TTT02 en rugosidad superficial.

Análisis ANOVA – Rugosidad superficial				
Probeta	Resultado			
TTT02S	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 3.538 1.1795 1032 <2e-16 *** Residuals 28 0.032 0.0011 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1
	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 3.716 1.2386 3497 <2e-16 *** Residuals 28 0.010 0.0004 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1
TTT02 MQL	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 11317261 3772420 63983 <2e-16 *** Residuals 28 1651 59 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1
	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 4.097 1.3656 8709 <2e-16 *** Residuals 28 0.004 0.0002 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1
TTT02 MQL 25	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 5.499 1.8331 10270 <2e-16 *** Residuals 28 0.005 0.0002 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1
	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 4.097 1.3656 8709 <2e-16 *** Residuals 28 0.004 0.0002 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1
TTT02 MQL 50	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 5.499 1.8331 10270 <2e-16 *** Residuals 28 0.005 0.0002 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1
	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 5.499 1.8331 10270 <2e-16 *** Residuals 28 0.005 0.0002 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1

Análisis ANOVA – Rugosidad superficial				
Probeta	Resultado			
100				

La Tabla 20 muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTT02 en desgaste de flanco.

- Planteamos la hipótesis nula H_0 : El desgaste de flanco es el mismo sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H_1 : El desgaste de flanco es distinto al variar la probeta.

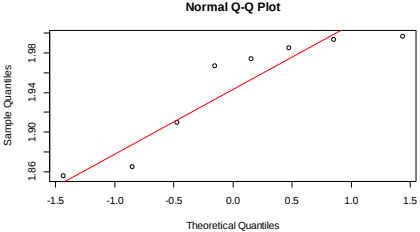
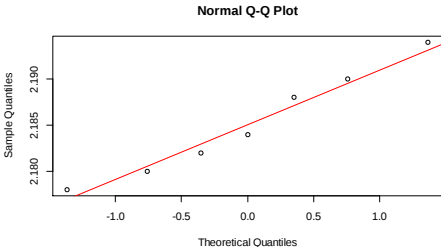
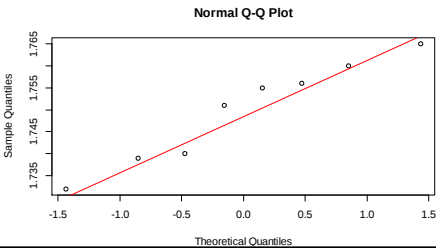
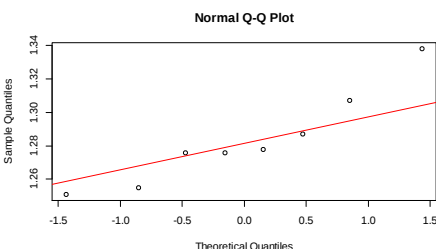
Tabla 20. Análisis ANOVA de la TTT02 en desgaste de flanco.

Análisis ANOVA – Desgaste de flanco				
Probeta	Resultado			
TTT02 S	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 16 206437 12902 6.367 3.12e-06 *** Residuals 34 68902 2027 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	3.12e-06	Resultado	H1
TTT02 MQL	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 18 276607 15367 4.79 2.43e-05 *** Residuals 38 121900 3208 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2.43e-05	Resultado	H1
50				

El tipo de distribución presentada desde Tabla 21 a la Tabla 27, sirve para determinar el tipo de correlación a realizar, se realizaron por los métodos de Anderson-Darling y Shapiro-Wilk siendo necesario plantear hipótesis para determinar la normalidad o no normalidad de los datos.

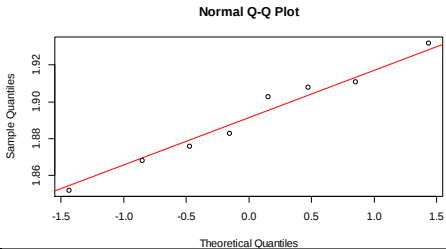
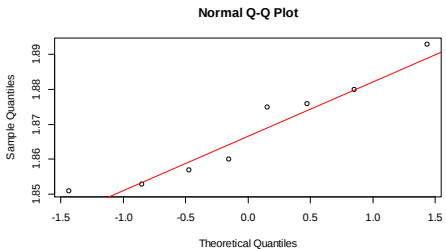
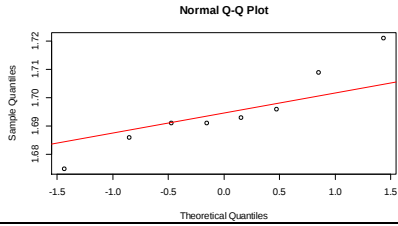
- H_0 = Los datos siguen una distribución normal.
- H_1 = Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 21. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 en seco en la rugosidad superficial.

TTT02S Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-Wilk normality test data: A001\$Ra W = 0.82778, p-value = 0.05629 Anderson-Darling normality test data: A001\$Ra A = 0.62331, p-value = 0.06625	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-Wilk normality test data: A002\$Ra W = 0.96416, p-value = 0.8535	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	
A003	
Shapiro-Wilk normality test data: A003\$Ra W = 0.94295, p-value = 0.6403 Anderson-Darling normality test data: A003\$Ra A = 0.27828, p-value = 0.5457	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	
A004	
Shapiro-Wilk normality test data: A004\$Ra W = 0.9122, p-value = 0.3698 Anderson-Darling normality test data: A004\$Ra A = 0.37357, p-value = 0.3223	

TTT02S Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A004 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 22. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL en la rugosidad superficial.

TTT02MQL Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
B001	
Shapiro-wilk normality test data: B001\$Ra W = 0.97426, p-value = 0.9292 Anderson-Darling normality test data: B001\$Ra A = 0.18459, p-value = 0.865	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
B002	
Shapiro-wilk normality test data: B002\$Ra W = 0.91954, p-value = 0.4261 Anderson-Darling normality test data: B002\$Ra A = 0.33613, p-value = 0.4047	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B002 corresponden a una distribución NORMAL	
B003	
Shapiro-wilk normality test data: B003\$Ra W = 0.93771, p-value = 0.5887 Anderson-Darling normality test data: B003\$Ra A = 0.35539, p-value = 0.3602	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B003 corresponden a una distribución NORMAL	
B004	

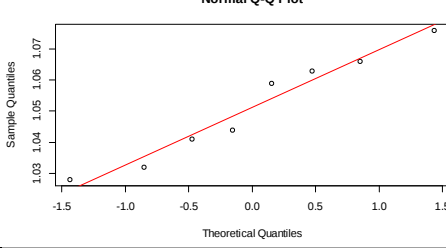
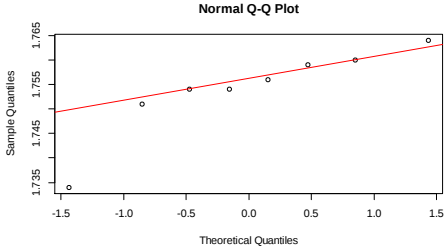
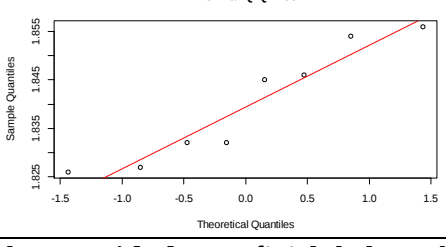
TTT02MQL Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B004\$Ra W = 0.94425, p-value = 0.6533 Anderson-Darling normality test data: B004\$Ra A = 0.25022, p-value = 0.6364	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B004 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 23. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL con un 0.25% de concentración de nano partículas de TiO2 en la rugosidad superficial.

TTT02MQL25 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con 0.25% de TiO2.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
C001	
Shapiro-wilk normality test data: C001\$Ra W = 0.84221, p-value = 0.07937 Anderson-Darling normality test data: C001\$Ra A = 0.58897, p-value = 0.08258	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C001 corresponden a una distribución NORMAL	
C002	
Shapiro-wilk normality test data: C002\$Ra W = 0.8878, p-value = 0.2232 Anderson-Darling normality test data: C002\$Ra A = 0.41206, p-value = 0.2537	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C002 corresponden a una distribución NORMAL	
C003	

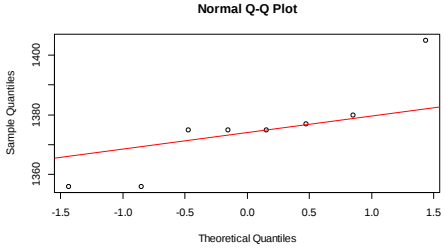
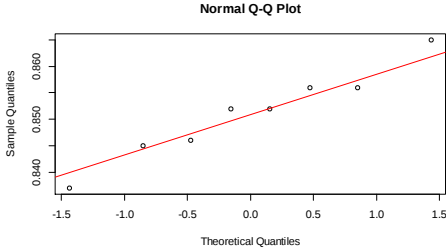
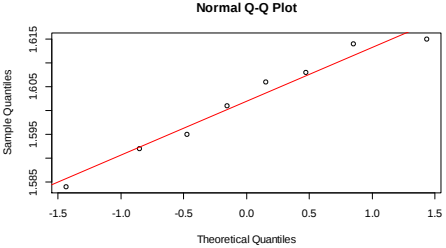
TTT02MQL25 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con 0.25% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: C003\$Ra W = 0.85589, p-value = 0.1092 Anderson-Darling normality test data: C003\$Ra A = 0.62272, p-value = 0.0665	
Resultado: Se acepta H₀ por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C003 corresponden a una distribución NORMAL	
C004	
Shapiro-wilk normality test data: C004\$Ra W = 0.97371, p-value = 0.9254 Anderson-Darling normality test data: C004\$Ra A = 0.21657, p-value = 0.7625	
Resultado: Se acepta H₀ por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C004 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 24. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL con un 0.5% de concentración de nano partículas de TiO₂ en la rugosidad superficial.

TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
D001	
Shapiro-wilk normality test data: D001\$Ra W = 0.95299, p-value = 0.7413 Anderson-Darling normality test data: D001\$Ra A = 0.19617, p-value = 0.8314	
Resultado: Se acepta H₀ por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta D001 corresponden a una distribución NORMAL	
D002	

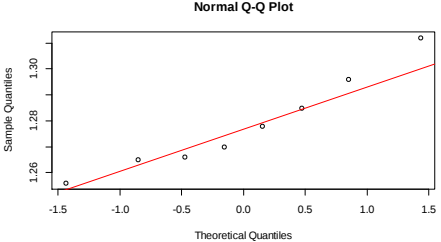
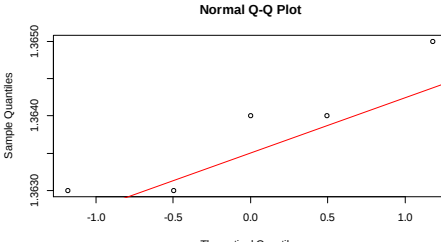
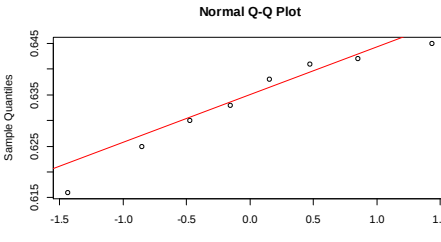
TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: D002\$Ra W = 0.94355, p-value = 0.6463 Anderson-Darling normality test data: D002\$Ra A = 0.26181, p-value = 0.5955	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta D002 corresponden a una distribución NORMAL	
D003	
Shapiro-wilk normality test data: D003\$Ra W = 0.88104, p-value = 0.314	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta D003 corresponden a una distribución NORMAL	
D004	
Shapiro-wilk normality test data: D004\$Ra W = 0.94065, p-value = 0.6175 Anderson-Darling normality test data: D004\$Ra A = 0.24826, p-value = 0.6437	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta D004 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 25. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL con un 1% de concentración de nano partículas de TiO₂ en la rugosidad superficial.

TTT02MQL100 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con 1% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
E001	

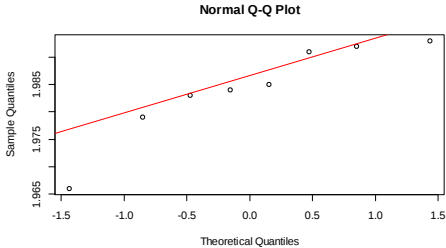
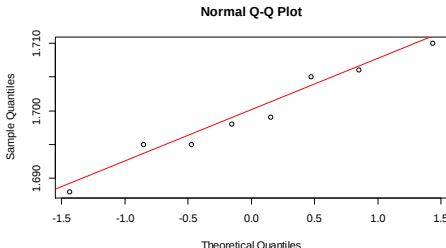
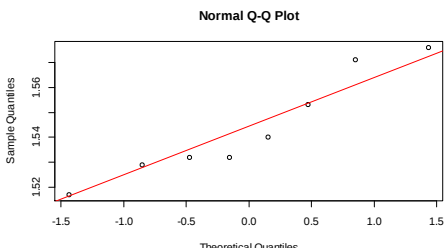
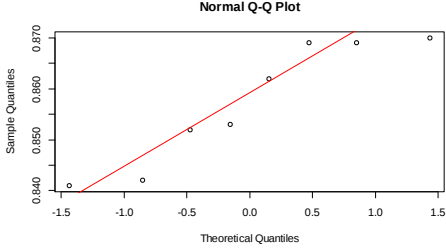
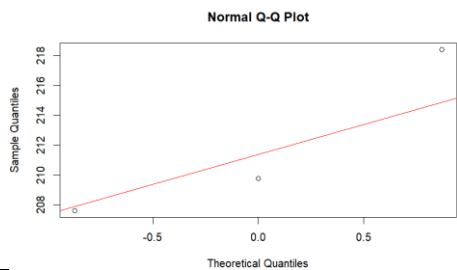
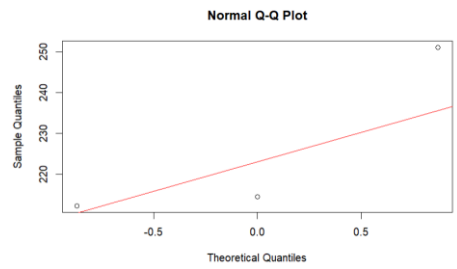
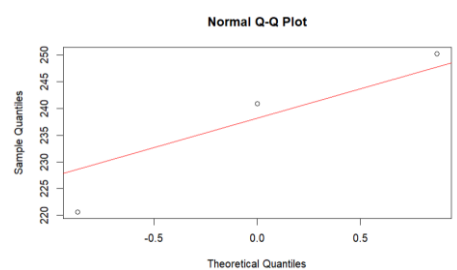
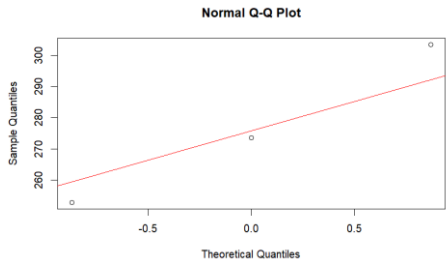
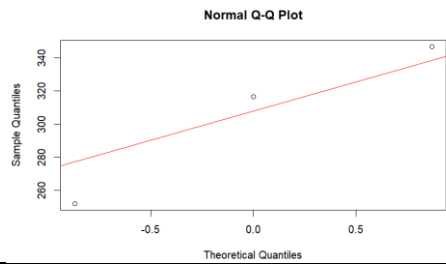
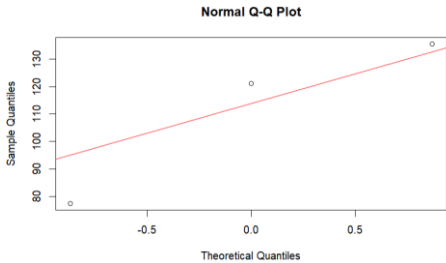
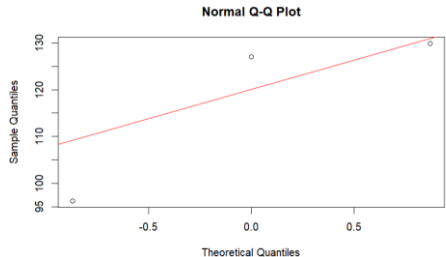
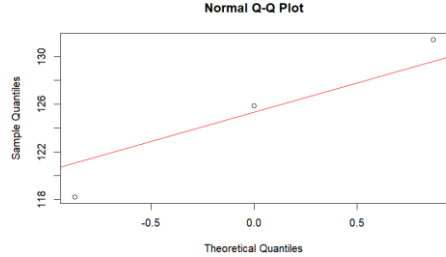
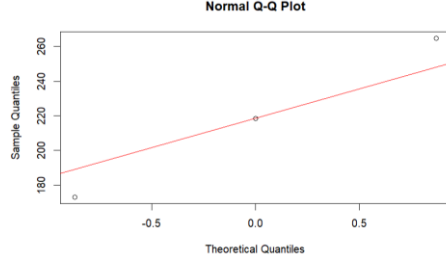
TTT02MQL100 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con 1% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: E001\$Ra W = 0.8807, p-value = 0.1912 Anderson-Darling normality test data: E001\$Ra A = 0.42284, p-value = 0.2371	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta E001 corresponden a una distribución NORMAL	
E002	
Shapiro-wilk normality test data: E002\$Ra W = 0.96619, p-value = 0.8665 Anderson-Darling normality test data: E002\$Ra A = 0.21732, p-value = 0.7598	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta E002 corresponden a una distribución NORMAL	
E003	
Shapiro-wilk normality test data: E003\$Ra W = 0.91248, p-value = 0.3719 Anderson-Darling normality test data: E003\$Ra A = 0.37819, p-value = 0.3133	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta E003 corresponden a una distribución NORMAL	
E004	
Shapiro-wilk normality test data: E004\$Ra W = 0.87146, p-value = 0.1558 Anderson-Darling normality test data: E004\$Ra A = 0.43383, p-value = 0.2211	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta E004 corresponden a una distribución NORMAL	

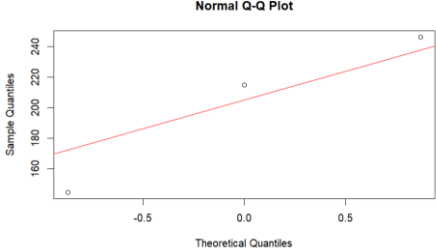
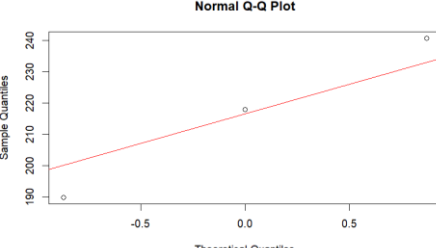
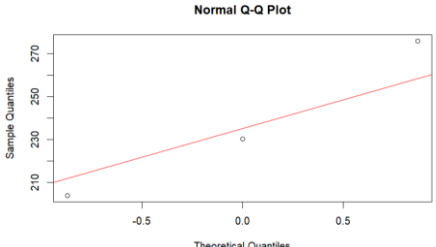
Tabla 26. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 en seco en el desgaste de flanco.

TTT02S Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado en seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-Wilk normality test data: A001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99004, p-value = 0.8091	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-Wilk normality test data: A002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.952, p-value = 0.5781	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	
A003	
Shapiro-Wilk normality test data: A003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99987, p-value = 0.9782	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	

TTT02S Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado en seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
A004	
Shapiro-wilk normality test data: A004\$`Desgaste de flanco um` $W = 0.89274$, $p\text{-value} = 0.3627$	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A004 corresponden a una distribución NORMAL	
A005	
Shapiro-wilk normality test data: A005\$`Desgaste de flanco um` $W = 0.7932$, $p\text{-value} = 0.09838$	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A005 corresponden a una distribución NORMAL	
A006	
Shapiro-wilk normality test data: A006\$`Desgaste de flanco um` $W = 0.95611$, $p\text{-value} = 0.5969$	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A006 corresponden a una distribución NORMAL	
A007	

TTT02S Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado en seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A007\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98943, p-value = 0.8033	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A007 corresponden a una distribución NORMAL	
A008	
Shapiro-wilk normality test data: A008\$`Desgaste de flanco um` W = 0.95861, p-value = 0.6087	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A008 corresponden a una distribución NORMAL	
A009	
Shapiro-wilk normality test data: A009\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9219, p-value = 0.4591	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A009 corresponden a una distribución NORMAL	
A010	

TTT02S Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado en seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A010\$`Desgaste de flanco um` W = 0.81313, p-value = 0.1463	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A010 corresponden a una distribución NORMAL	
A011	
Shapiro-wilk normality test data: A011\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99173, p-value = 0.826	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A011 corresponden a una distribución NORMAL	
A012	
Shapiro-wilk normality test data: A012\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99994, p-value = 0.9851	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A012 corresponden a una distribución NORMAL	
A013	

TTT02S Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado en seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A013\$`Desgaste de flanco um` W = 0.95405, p-value = 0.5874	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A013 corresponden a una distribución NORMAL	
A014	
Shapiro-wilk normality test data: A014\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9963, p-value = 0.8838	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A014 corresponden a una distribución NORMAL	
A015	
Shapiro-wilk normality test data: A015\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9767, p-value = 0.7074	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A015 corresponden a una distribución NORMAL	
A016	

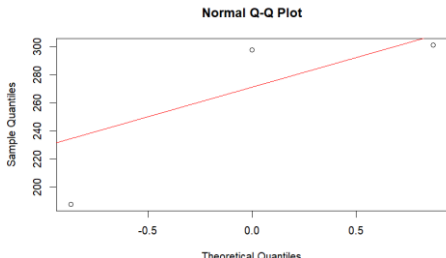
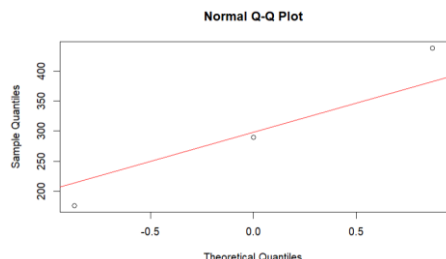
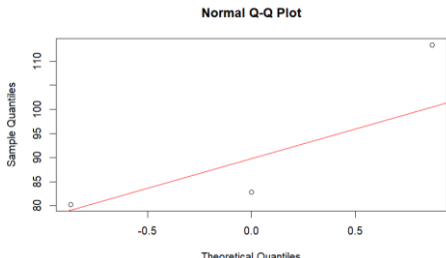
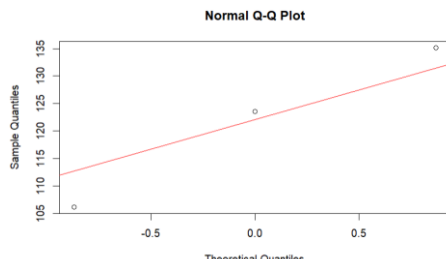
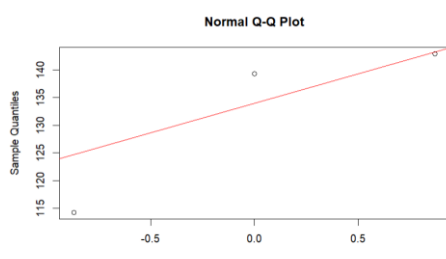
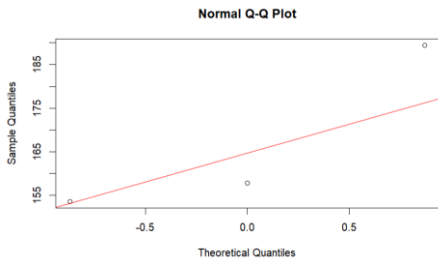
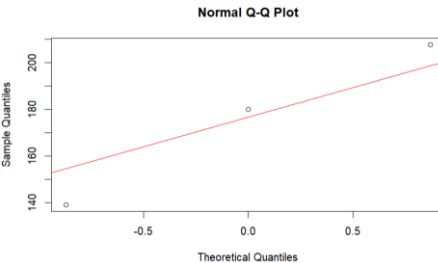
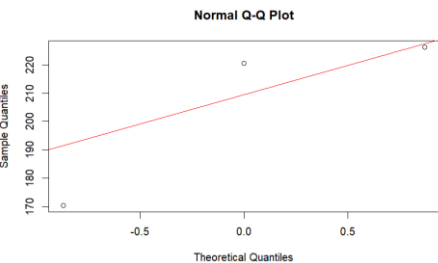
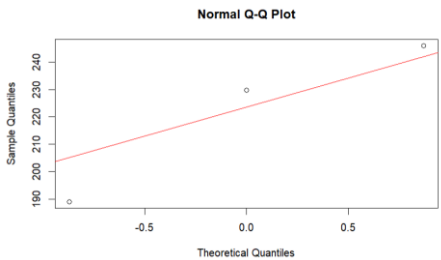
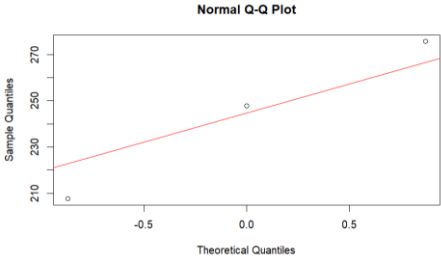
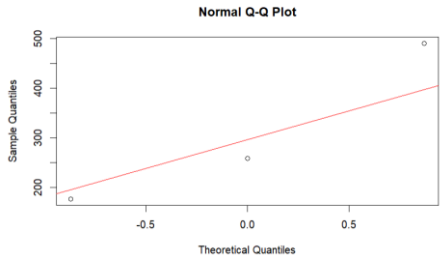
TTT02S Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado en seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A016\$`Desgaste de flanco um` W = 0.77326, p-value = 0.05214	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A016 corresponden a una distribución NORMAL	
A017	
Shapiro-wilk normality test data: A017\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99399, p-value = 0.8518	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A017 corresponden a una distribución NORMAL	

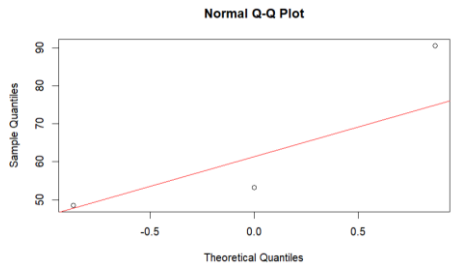
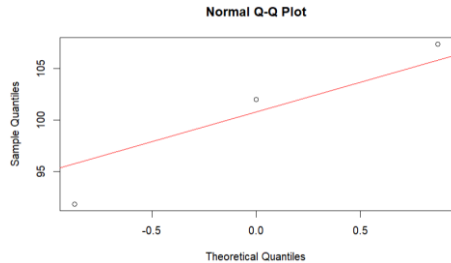
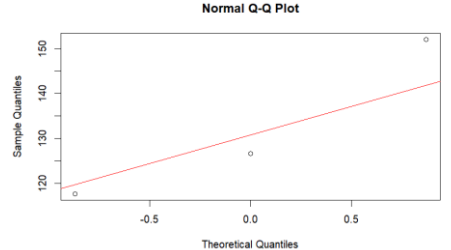
Tabla 27. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT02 con MQL con un 0.5% de concentración de nano partículas de TiO2 en el desgaste de flanco.

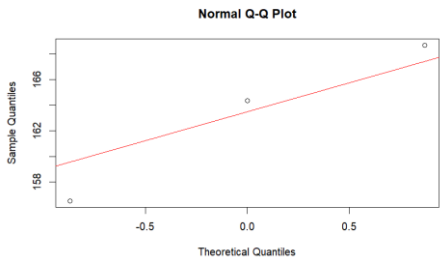
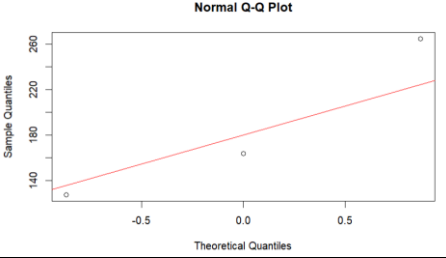
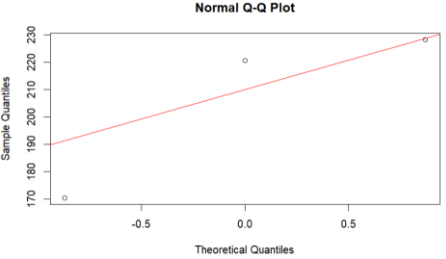
TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO2.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
B001	

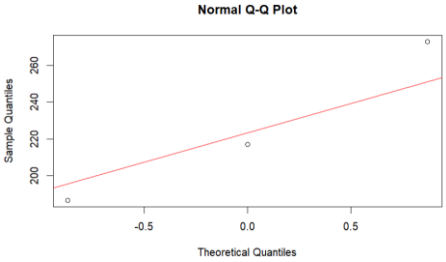
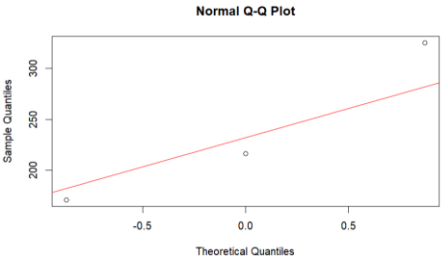
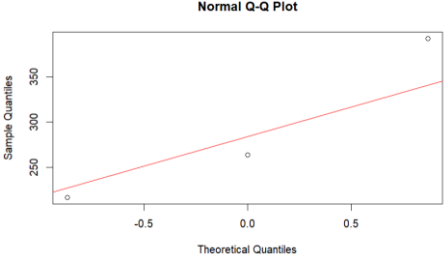
TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.80777, p-value = 0.1332	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
B002	
Shapiro-wilk normality test data: B002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98725, p-value = 0.7839	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B002 corresponden a una distribución NORMAL	
B003	
Shapiro-wilk normality test data: B003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.84279, p-value = 0.2213	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B003 corresponden a una distribución NORMAL	
B004	

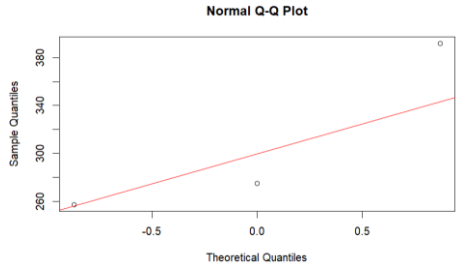
TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.83874, p-value = 0.2108	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B004 corresponden a una distribución NORMAL	
B005	
Shapiro-wilk normality test data: B005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98803, p-value = 0.7906	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B005 corresponden a una distribución NORMAL	
B006	
Shapiro-wilk normality test data: B006\$`Desgaste de flanco um` W = 0.82535, p-value = 0.1766	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B006 corresponden a una distribución NORMAL	
B007	

TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO2.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B007\$`Desgaste de flanco um` W = 0.94235, p-value = 0.5369	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B007 corresponden a una distribución NORMAL	
B008	
Shapiro-wilk normality test data: B008\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98964, p-value = 0.8052	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B008 corresponden a una distribución NORMAL	
B009	
Shapiro-wilk normality test data: B009\$`Desgaste de flanco um` W = 0.93012, p-value = 0.4891	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B009 corresponden a una distribución NORMAL	
B010	

TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: B010\$`Desgaste de flanco um` W = 0.83212, p-value = 0.1937	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B010 corresponden a una distribución NORMAL	
B011	
Shapiro-Wilk normality test data: B011\$`Desgaste de flanco um` W = 0.96949, p-value = 0.6647	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B011 corresponden a una distribución NORMAL	
B012	
Shapiro-wilk normality test data: B012\$`Desgaste de flanco um` W = 0.93037, p-value = 0.49	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B012 corresponden a una distribución NORMAL	
B013	

TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: B013\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97313, p-value = 0.6855	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B013 corresponden a una distribución NORMAL	
B014	
Shapiro-Wilk normality test data: B014\$`Desgaste de flanco um` W = 0.93116, p-value = 0.493	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B014 corresponden a una distribución NORMAL	
B015	
Shapiro-Wilk normality test data: B015\$`Desgaste de flanco um` W = 0.84769, p-value = 0.2343	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B015 corresponden a una distribución NORMAL	
B016	

TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B016\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9714, p-value = 0.6755	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B016 corresponden a una distribución NORMAL	
B017	
Shapiro-wilk normality test data: B017\$`Desgaste de flanco um` W = 0.94671, p-value = 0.5551	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B017 corresponden a una distribución NORMAL	
B018	
Shapiro-wilk normality test data: B018\$`Desgaste de flanco um` W = 0.93281, p-value = 0.4992	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B018 corresponden a una distribución NORMAL	
B019	

TTT02MQL50 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL con 0.5% de TiO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: B019\$`Desgaste de flanco um` W = 0.84733, p-value = 0.2333	
Resultado: Se acepta H₀ por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B019 corresponden a una distribución NORMAL	

3.1.1.3. ANOVA de la TTT03

La Tabla 28, muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTT03 en rugosidad superficial.

- Planteamos la hipótesis nula H₀: La rugosidad superficial promedio es la misma sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H₁: La rugosidad superficial promedio es distinta al variar la probeta.

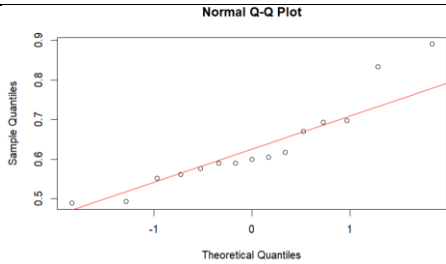
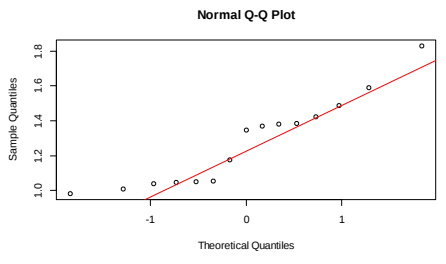
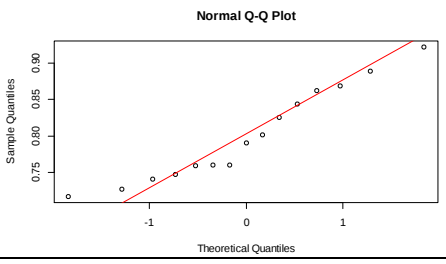
Tabla 28. Análisis ANOVA de la TTT03 en rugosidad superficial.

Análisis ANOVA – Rugosidad superficial				
Probeta	Resultado			
TTT03S	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 13.99 4.662 160.2 <2e-16 *** Residuals 56 1.63 0.029 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1
TTT03 MQL50TCO2	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 3 1.3747 0.4582 132.8 <2e-16 *** Residuals 38 0.1311 0.0035 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1

El tipo de distribución presentada en la, sirve para determinar el tipo de correlación a realizar, se realizaron por los métodos de Anderson-Darling y Shapiro-Wilk siendo necesario plantear hipótesis para determinar la normalidad o no normalidad de los datos.

- H_0 = Los datos siguen una distribución normal.
- H_1 = Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 29. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT03 en seco en la rugosidad superficial.

TTT03S Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-wilk normality test data: A001\$`Ra um` W = 0.88803, p-value = 0.06263 Anderson-Darling normality test data: A001\$`Ra um` A = 0.68994, p-value = 0.05661	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-wilk normality test data: A002\$`Ra um` W = 0.90215, p-value = 0.1027 Anderson-Darling normality test data: A002\$`Ra um` A = 0.60439, p-value = 0.09478	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	
A003	
Shapiro-wilk normality test data: A003\$`Ra um` W = 0.93431, p-value = 0.3161 Anderson-Darling normality test data: A003\$`Ra um` A = 0.40887, p-value = 0.3024	

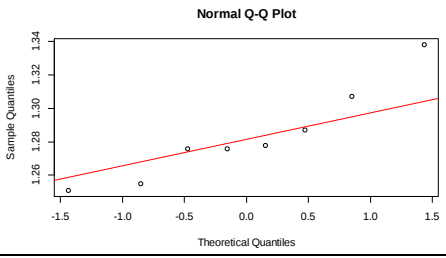
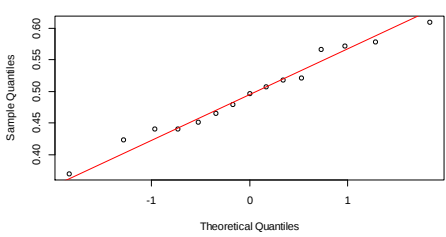
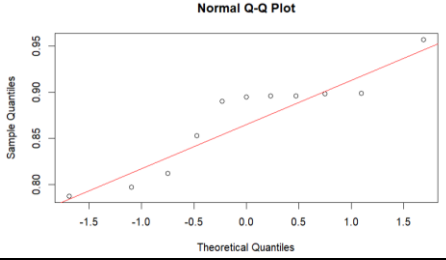
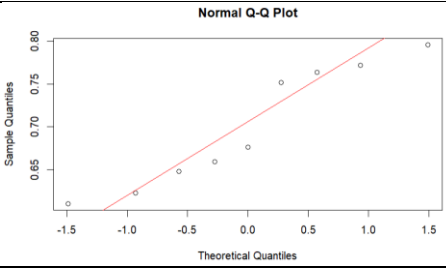
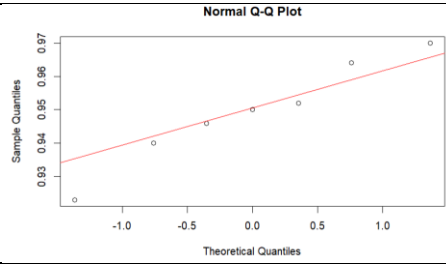
TTT03S Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	
A004	
Shapiro-wilk normality test data: A004\$`Ra um` W = 0.91294, p-value = 0.1502 Anderson-Darling normality test data: A004\$`Ra um` A = 0.56481, p-value = 0.1178	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A004 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 30. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT03 en MQL con un 0.5% de concentración de nano partículas de TiO₂ y enfriamiento criogénico de CO₂ en la rugosidad superficial.

TTT03 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con 0.5 de TiO ₂ y enfriado criogénico CO ₂ .	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
B001	
Shapiro-wilk normality test data: B001\$`Ra um` W = 0.97617, p-value = 0.9366 Anderson-Darling normality test data: B001\$`Ra um` A = 0.19083, p-value = 0.8792	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
B002	
Shapiro-wilk normality test data: B002\$`Ra um` W = 0.87616, p-value = 0.09297 Anderson-Darling normality test data: B002\$`Ra um` A = 0.75756, p-value = 0.03358	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B002 corresponden a una distribución NORMAL	

TTT03 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con 0.5 de TiO2 y enfriado criogénico CO2.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
B003	
Shapiro-wilk normality test data: B003\$`Ra um` W = 0.89485, p-value = 0.2236 Anderson-Darling normality test data: B003\$`Ra um` A = 0.44748, p-value = 0.212	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B004 corresponden a una distribución NORMAL	
B004	
Shapiro-wilk normality test data: B004\$`Ra um` W = 0.97067, p-value = 0.9032	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B004 corresponden a una distribución NORMAL	

3.1.1.4. ANOVA de la TTT04

La Tabla 31, muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTF04 en rugosidad superficial.

- Planteamos la hipótesis nula H0: La rugosidad superficial promedio es la misma sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H1: La rugosidad superficial promedio es distinta al variar la probeta.

Tabla 31. Análisis ANOVA de la TTT04 en rugosidad superficial.

Análisis ANOVA – Rugosidad superficial	
Probeta	Resultado
TTT04	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 31 19.561 0.6310 29.79 <2e-16 *** Residuals 128 2.711 0.0212 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Análisis ANOVA – Rugosidad superficial				
Probeta	Resultado			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1

La Tabla 32, muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTT03 en desgaste de flanco.

- Planteamos la hipótesis nula H_0 : El desgaste de flanco es el mismo sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H_1 : El desgaste de flanco es distinto al variar la probeta.

Tabla 32. Análisis ANOVA de la TTT04 en desgaste de flanco.

Análisis ANOVA – Desgaste de flanco				
Probeta	Resultado			
TTT04	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 31 412761 13315 24.53 <2e-16 *** Residuals 64 34737 543 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2e-16	Resultado	H1

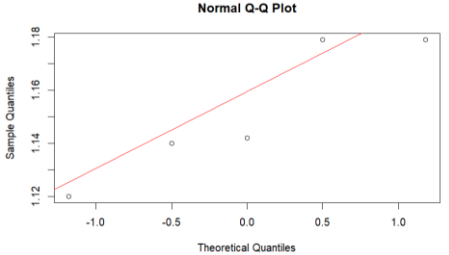
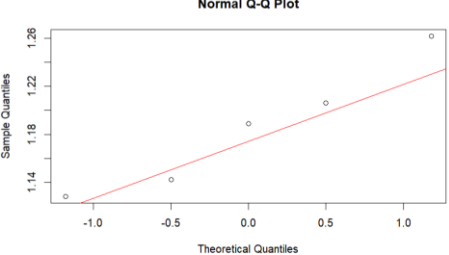
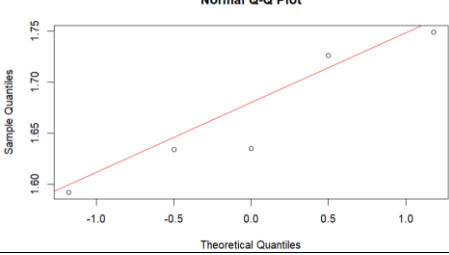
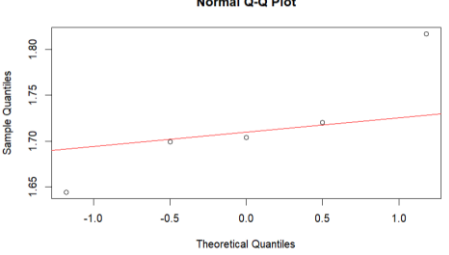
El tipo de distribución presentada en la Tabla 33 y la Tabla 34, sirve para determinar el tipo de correlación a realizar, se realizaron por el método de Shapiro-Wilk siendo necesario plantear hipótesis para determinar la normalidad o no normalidad de los datos.

- H_0 = Los datos siguen una distribución normal.
- H_1 = Los datos no siguen una distribución normal.

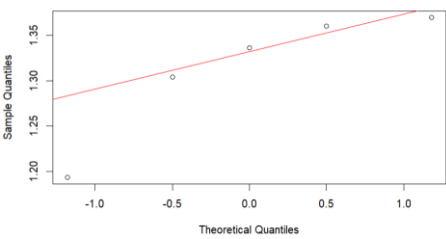
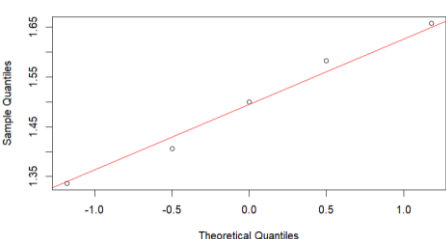
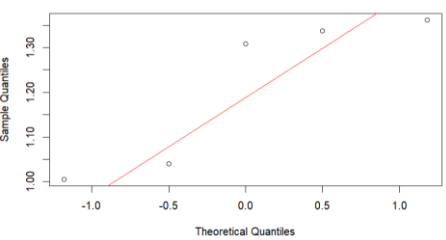
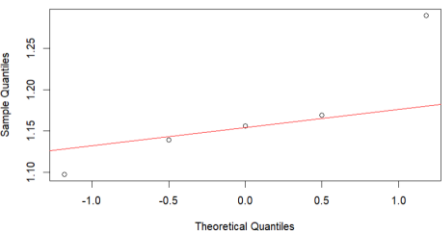
Tabla 33. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT04 con método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO_2 y enfriado criogénico CO_2 en rugosidad superficial.

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO_2 y enfriado criogénico CO_2 en rugosidad superficial.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
A001	

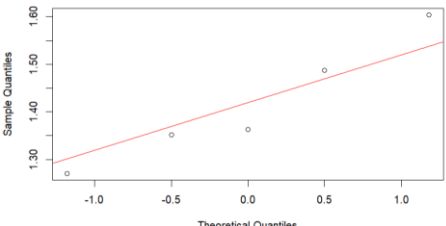
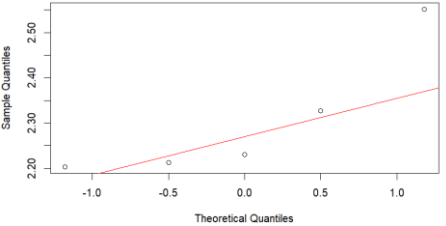
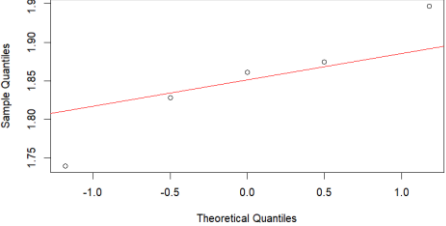
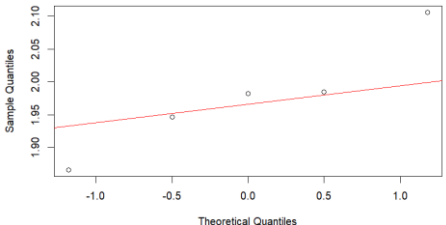
TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en rugosidad superficial.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.94373, p-value = 0.5426	 A Normal Q-Q Plot showing Sample Quantiles on the y-axis (ranging from 1.12 to 1.18) and Theoretical Quantiles on the x-axis (ranging from -1.0 to 1.0). The data points closely follow the diagonal red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-wilk normality test data: A002\$`Ra um` W = 0.95113, p-value = 0.7453	 A Normal Q-Q Plot showing Sample Quantiles on the y-axis (ranging from 1.14 to 1.26) and Theoretical Quantiles on the x-axis (ranging from -1.0 to 1.0). The data points follow the diagonal red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	
A003	
Shapiro-wilk normality test data: A003\$`Ra um` W = 0.8926, p-value = 0.3704	 A Normal Q-Q Plot showing Sample Quantiles on the y-axis (ranging from 1.60 to 1.75) and Theoretical Quantiles on the x-axis (ranging from -1.0 to 1.0). The data points follow the diagonal red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	
A004	
Shapiro-wilk normality test data: A004\$`Ra um` W = 0.91039, p-value = 0.47	 A Normal Q-Q Plot showing Sample Quantiles on the y-axis (ranging from 1.65 to 1.80) and Theoretical Quantiles on the x-axis (ranging from -1.0 to 1.0). The data points follow the diagonal red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A004 corresponden a una distribución NORMAL	
A005	

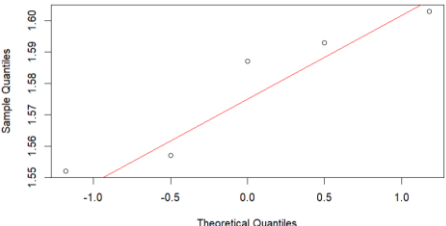
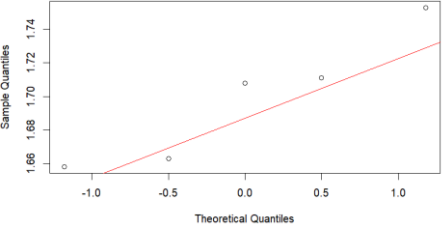
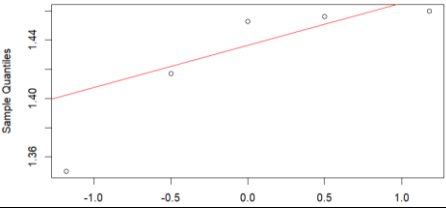
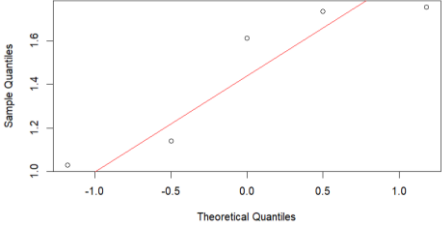
TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en rugosidad superficial.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A005\$`Ra um` W = 0.84048, p-value = 0.1662	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A005 corresponden a una distribución NORMAL	
A006	
Shapiro-wilk normality test data: A006\$`Ra um` W = 0.97609, p-value = 0.9127	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A006 corresponden a una distribución NORMAL	
A007	
Shapiro-wilk normality test data: A007\$`Ra um` W = 0.79706, p-value = 0.07666	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A007 corresponden a una distribución NORMAL	
A008	
Shapiro-wilk normality test data: A008\$`Ra um` W = 0.87925, p-value = 0.3059	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A008 corresponden a una distribución NORMAL	
A009	

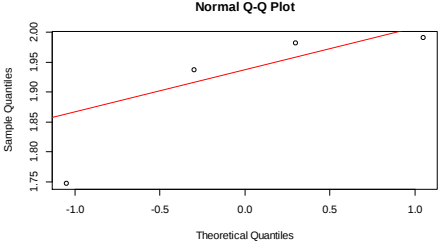
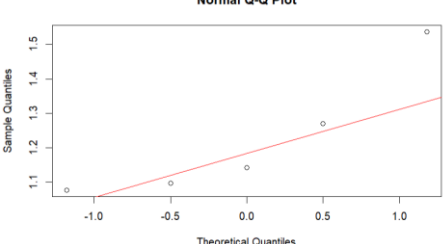
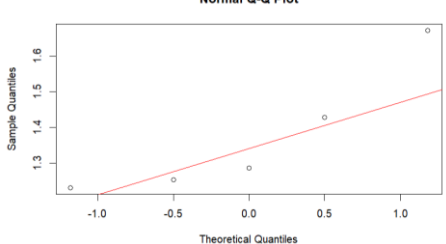
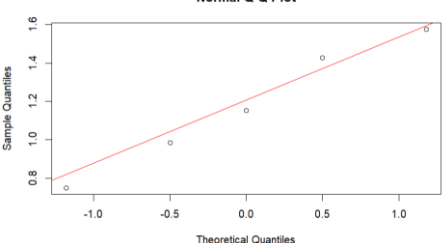
TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO₂ y enfriado criogénico CO₂ en rugosidad superficial.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A009\$`Ra um` W = 0.94468, p-value = 0.6992	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A009 corresponden a una distribución NORMAL	
A010	
Shapiro-wilk normality test data: A010\$`Ra um` W = 0.78436, p-value = 0.06005	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A010 corresponden a una distribución NORMAL	
A011	
Shapiro-wilk normality test data: A011\$`Ra um` W = 0.97354, p-value = 0.8975	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A011 corresponden a una distribución NORMAL	
A012	
Shapiro-wilk normality test data: A012\$`Ra um` W = 0.95005, p-value = 0.7375	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A012 corresponden a una distribución NORMAL	
A013	

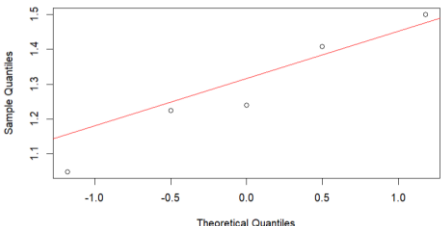
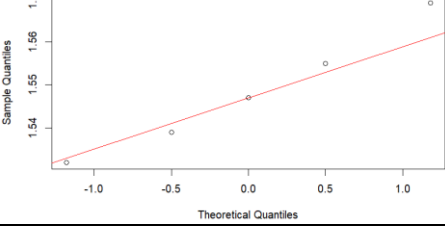
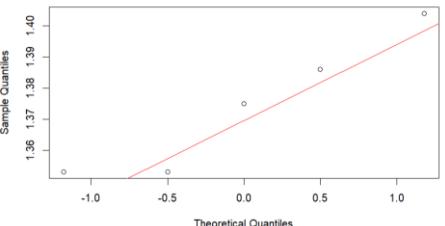
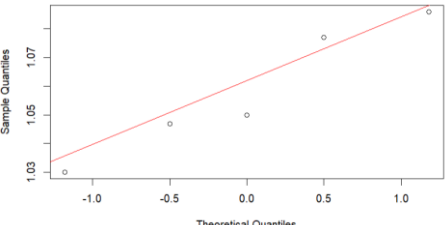
TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO₂ y enfriado criogénico CO₂ en rugosidad superficial.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A013\$`Ra um` W = 0.88586, p-value = 0.3367	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A013 corresponden a una distribución NORMAL	
A014	
Shapiro-wilk normality test data: A014\$`Ra um` W = 0.91283, p-value = 0.4848	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A014 corresponden a una distribución NORMAL	
A015	
Shapiro-wilk normality test data: A015\$`Ra um` W = 0.78868, p-value = 0.06532	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A015 corresponden a una distribución NORMAL	
A016	
Shapiro-wilk normality test data: A016\$`Ra um` W = 0.82837, p-value = 0.1352	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A016 corresponden a una distribución NORMAL	
A017	

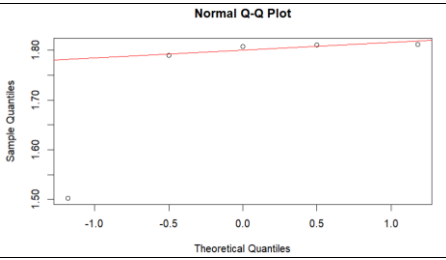
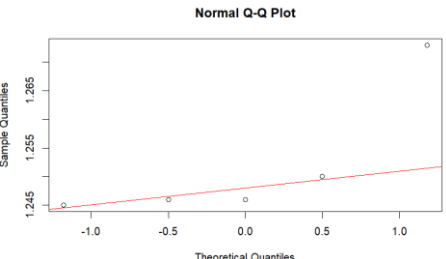
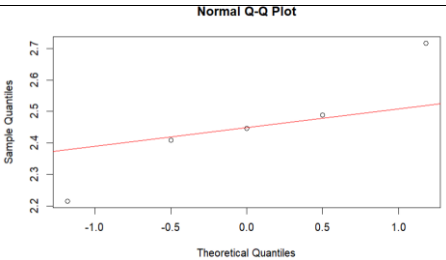
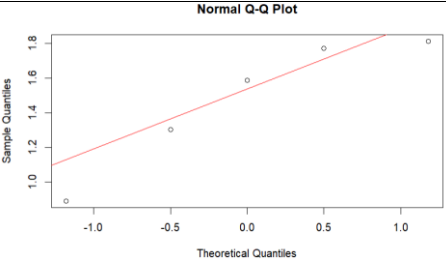
TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO₂ y enfriado criogénico CO₂ en rugosidad superficial.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: A017\$`Ra um` W = 0.78802, p-value = 0.08242	 A Normal Q-Q Plot for sample A017. The x-axis is labeled 'Theoretical Quantiles' and ranges from -1.0 to 1.0. The y-axis is labeled 'Sample Quantiles' and ranges from 1.75 to 2.00. A red diagonal line represents the expected normal distribution. Four data points are plotted as open circles, all of which fall very close to the red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A017 corresponden a una distribución NORMAL	
A018	
Shapiro-Wilk normality test data: A018\$`Ra um` W = 0.83686, p-value = 0.1564	 A Normal Q-Q Plot for sample A018. The x-axis is labeled 'Theoretical Quantiles' and ranges from -1.0 to 1.0. The y-axis is labeled 'Sample Quantiles' and ranges from 1.1 to 1.5. A red diagonal line represents the expected normal distribution. Five data points are plotted as open circles, all of which fall very close to the red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A018 corresponden a una distribución NORMAL	
A019	
Shapiro-Wilk normality test data: A019\$`Ra um` W = 0.83606, p-value = 0.1543	 A Normal Q-Q Plot for sample A019. The x-axis is labeled 'Theoretical Quantiles' and ranges from -1.0 to 1.0. The y-axis is labeled 'Sample Quantiles' and ranges from 1.3 to 1.6. A red diagonal line represents the expected normal distribution. Five data points are plotted as open circles, all of which fall very close to the red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A019 corresponden a una distribución NORMAL	
A020	
Shapiro-Wilk normality test data: A020\$`Ra um` W = 0.97337, p-value = 0.8964	 A Normal Q-Q Plot for sample A020. The x-axis is labeled 'Theoretical Quantiles' and ranges from -1.0 to 1.0. The y-axis is labeled 'Sample Quantiles' and ranges from 0.8 to 1.6. A red diagonal line represents the expected normal distribution. Five data points are plotted as open circles, all of which fall very close to the red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A020 corresponden a una distribución NORMAL	
A021	

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO₂ y enfriado criogénico CO₂ en rugosidad superficial.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A021\$`Ra um` W = 0.965, p-value = 0.8423	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A021 corresponden a una distribución NORMAL	
A022	
Shapiro-wilk normality test data: A022\$`Ra um` W = 0.97872, p-value = 0.9277	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A022 corresponden a una distribución NORMAL	
A023	
Shapiro-wilk normality test data: A023\$`Ra um` W = 0.90948, p-value = 0.4645	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A023 corresponden a una distribución NORMAL	
A024	
Shapiro-wilk normality test data: A024\$`Ra um` W = 0.93507, p-value = 0.6313	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A024 corresponden a una distribución NORMAL	
A025	

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO₂ y enfriado criogénico CO₂ en rugosidad superficial.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A025\$`Ra um` W = 0.60419, p-value = 0.0007125	 A Normal Q-Q Plot for sample A025. The x-axis is labeled 'Theoretical Quantiles' and ranges from -1.0 to 1.0. The y-axis is labeled 'Sample Quantiles' and ranges from 1.50 to 1.80. A red diagonal line represents the expected normal distribution. Six data points are plotted as open circles, all of which fall very close to the red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A025 corresponden a una distribución NORMAL	
A026	
Shapiro-wilk normality test data: A026\$`Ra um` W = 0.67702, p-value = 0.005421	 A Normal Q-Q Plot for sample A026. The x-axis is labeled 'Theoretical Quantiles' and ranges from -1.0 to 1.0. The y-axis is labeled 'Sample Quantiles' and ranges from 1.245 to 1.265. A red diagonal line represents the expected normal distribution. Six data points are plotted as open circles, all of which fall very close to the red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A026 corresponden a una distribución NORMAL	
A027	
Shapiro-wilk normality test data: A027\$`Ra um` W = 0.96141, p-value = 0.8178	 A Normal Q-Q Plot for sample A027. The x-axis is labeled 'Theoretical Quantiles' and ranges from -1.0 to 1.0. The y-axis is labeled 'Sample Quantiles' and ranges from 2.2 to 2.7. A red diagonal line represents the expected normal distribution. Six data points are plotted as open circles, all of which fall very close to the red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A027 corresponden a una distribución NORMAL	
A028	
Shapiro-wilk normality test data: A028\$`Ra um` W = 0.90026, p-value = 0.4113	 A Normal Q-Q Plot for sample A028. The x-axis is labeled 'Theoretical Quantiles' and ranges from -1.0 to 1.0. The y-axis is labeled 'Sample Quantiles' and ranges from 1.0 to 1.8. A red diagonal line represents the expected normal distribution. Six data points are plotted as open circles, all of which fall very close to the red line, indicating approximate normality.
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A028 corresponden a una distribución NORMAL	
A029	

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO₂ y enfriado criogénico CO₂ en rugosidad superficial.

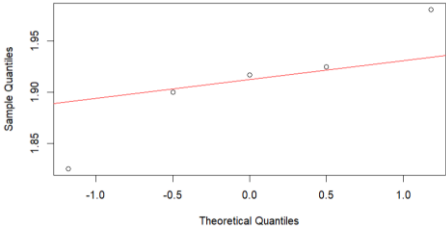
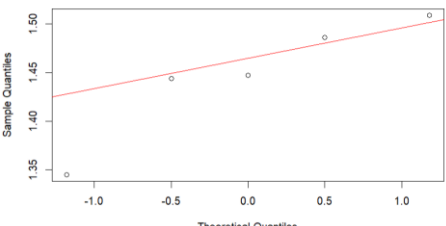
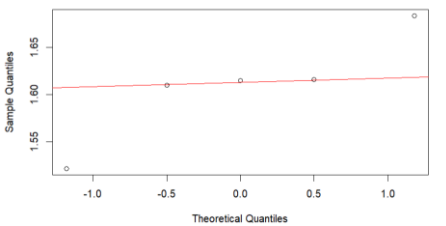
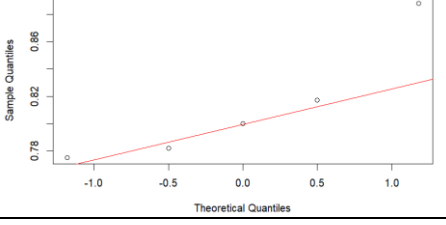
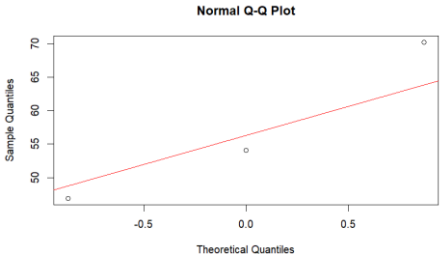
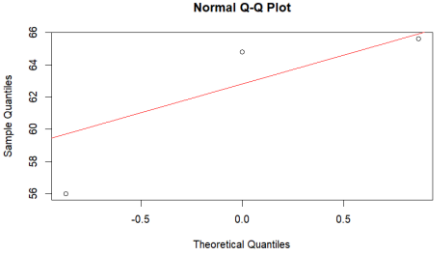
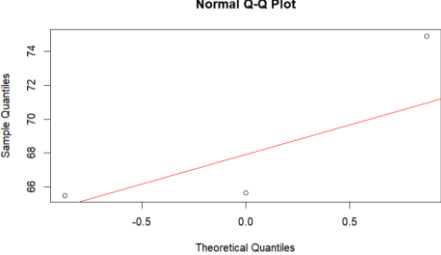
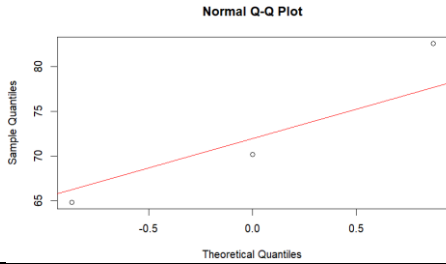
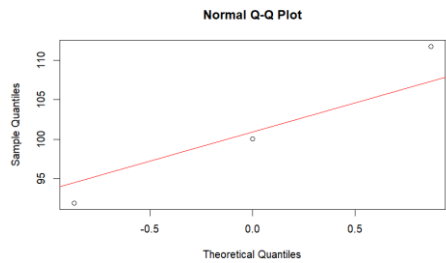
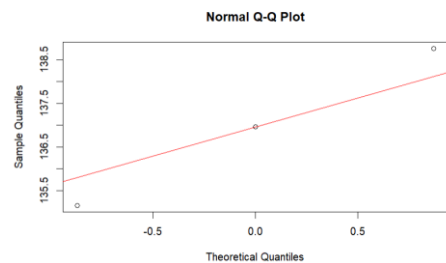
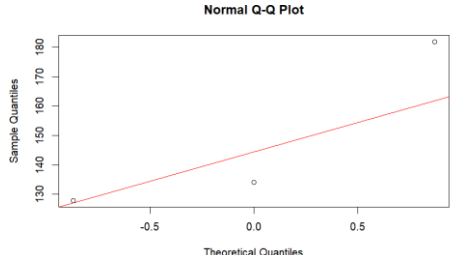
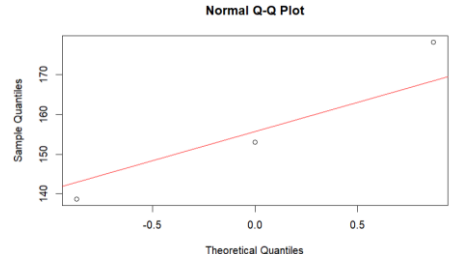
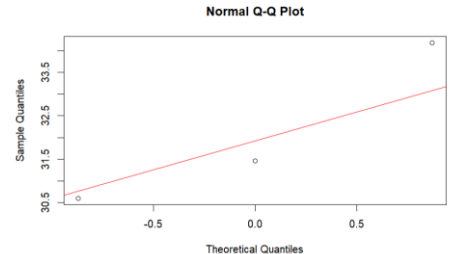
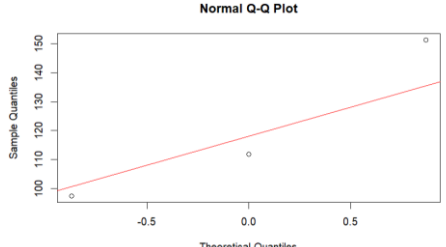
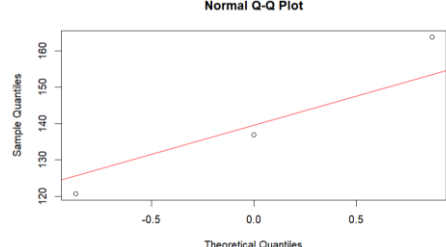
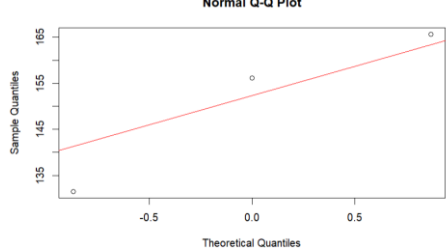
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A029\$`Ra um` W = 0.95243, p-value = 0.7545	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A029 corresponden a una distribución NORMAL	
A030	
Shapiro-wilk normality test data: A030\$`Ra um` W = 0.89978, p-value = 0.4087	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A030 corresponden a una distribución NORMAL	
A031	
Shapiro-wilk normality test data: A031\$`Ra um` W = 0.89578, p-value = 0.387	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A031 corresponden a una distribución NORMAL	
A032	
Shapiro-wilk normality test data: A032\$`Ra um` W = 0.84996, p-value = 0.1944	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A032 corresponden a una distribución NORMAL	

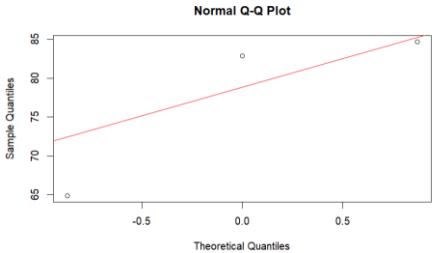
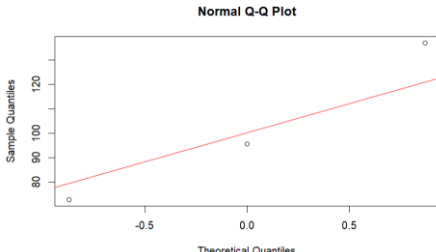
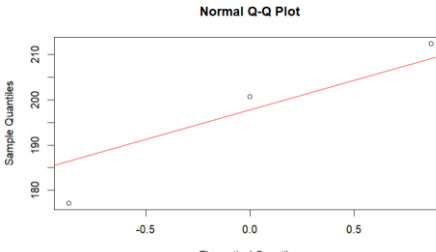
Tabla 34. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT04 con método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO₂ y enfriado criogénico CO₂ en desgaste de flanco.

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO ₂ y enfriado criogénico CO ₂ en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-wilk normality test data: A001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.95315, p-value = 0.5833	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-wilk normality test data: A002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.81254, p-value = 0.1448	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	
A003	
Shapiro-wilk normality test data: A003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.76269, p-value = 0.02824	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	
A004	

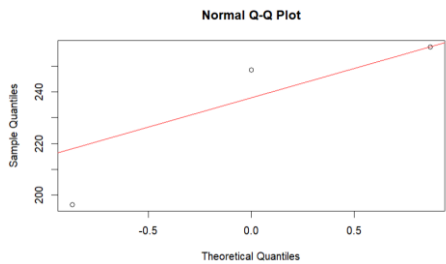
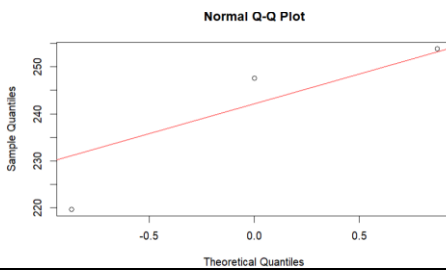
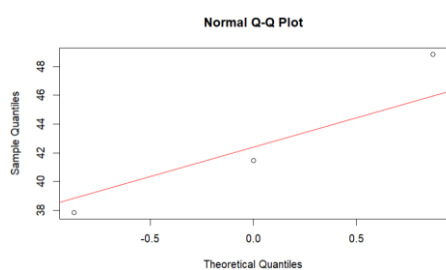
TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.95098, p-value = 0.5736	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A004 corresponden a una distribución NORMAL	
A005	
Shapiro-wilk normality test data: A005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98912, p-value = 0.8004	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A005 corresponden a una distribución NORMAL	
A006	
Shapiro-wilk normality test data: A006\$`Desgaste de flanco um` W = 1, p-value = 1	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A006 corresponden a una distribución NORMAL	
A007	

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A007\$`Desgaste de flanco um` W = 0.83457, p-value = 0.2	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A007 corresponden a una distribución NORMAL	
A008	
Shapiro-wilk normality test data: A008\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97577, p-value = 0.7015	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A008 corresponden a una distribución NORMAL	
A009	
Shapiro-wilk normality test data: A009\$`Desgaste de flanco um` W = 0.91829, p-value = 0.4463	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A009 corresponden a una distribución NORMAL	
A010	

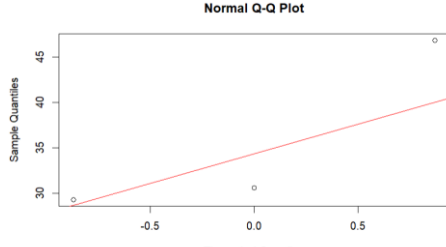
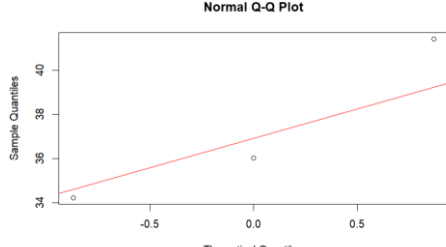
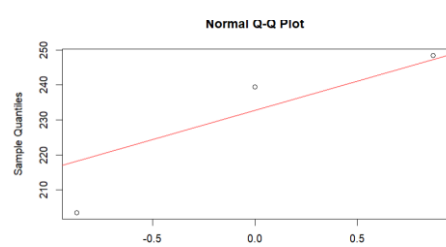
TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A010\$`Desgaste de flanco um` W = 0.93233, p-value = 0.4974	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A010 corresponden a una distribución NORMAL	
A011	
Shapiro-wilk normality test data: A011\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97961, p-value = 0.7264	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A011 corresponden a una distribución NORMAL	
A012	
Shapiro-wilk normality test data: A012\$`Desgaste de flanco um` W = 0.93894, p-value = 0.5231	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A012 corresponden a una distribución NORMAL	
A013	

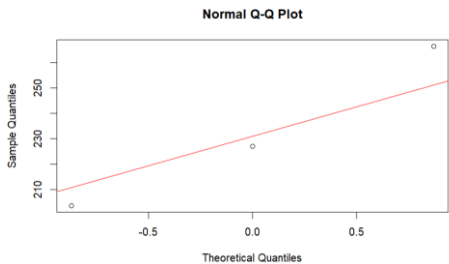
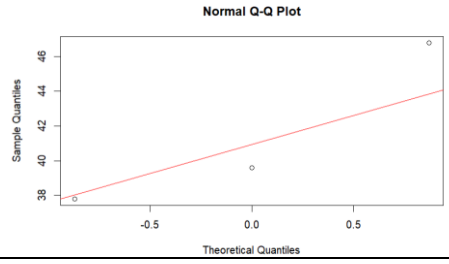
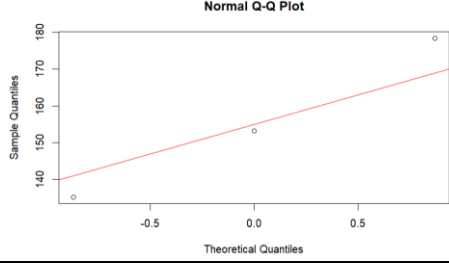
TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A013\$`Desgaste de flanco um` W = 0.8175, p-value = 0.157	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A013 corresponden a una distribución NORMAL	
A014	
Shapiro-wilk normality test data: A014\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97264, p-value = 0.6827	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A014 corresponden a una distribución NORMAL	
A015	
Shapiro-wilk normality test data: A015\$`Desgaste de flanco um` W = 0.96338, p-value = 0.6323	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A015 corresponden a una distribución NORMAL	
A016	

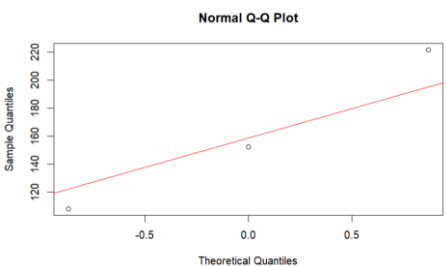
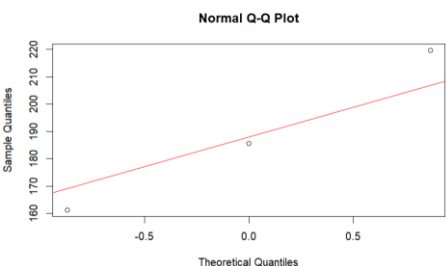
TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A016\$`Desgaste de flanco um` W = 0.78254, p-value = 0.07346	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A016 corresponden a una distribución NORMAL	
A017	
Shapiro-wilk normality test data: A017\$`Desgaste de flanco um` W = 0.83539, p-value = 0.2021	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A017 corresponden a una distribución NORMAL	
A018	
Shapiro-wilk normality test data: A018\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99463, p-value = 0.8599	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A018 corresponden a una distribución NORMAL	
A019	

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A019\$`Desgaste de flanco um` W = 0.85753, p-value = 0.2608	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A019 corresponden a una distribución NORMAL	
A020	
Shapiro-wilk normality test data: A020\$`Desgaste de flanco um` W = 0.88261, p-value = 0.3321	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A020 corresponden a una distribución NORMAL	
A021	
Shapiro-wilk normality test data: A021\$`Desgaste de flanco um` W = 0.962, p-value = 0.6253	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A021 corresponden a una distribución NORMAL	
A022	

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A022\$`Desgaste de flanco um` W = 0.88115, p-value = 0.3278	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A022 corresponden a una distribución NORMAL	
A023	
Shapiro-wilk normality test data: A023\$`Desgaste de flanco um` W = 0.87771, p-value = 0.3177	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A023 corresponden a una distribución NORMAL	
A024	
Shapiro-wilk normality test data: A024\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98463, p-value = 0.7626	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A024 corresponden a una distribución NORMAL	
A025	

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A025\$`Desgaste de flanco um` W = 0.80729, p-value = 0.132	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A025 corresponden a una distribución NORMAL	
A026	
Shapiro-wilk normality test data: A026\$`Desgaste de flanco um` W = 0.92288, p-value = 0.4626	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A026 corresponden a una distribución NORMAL	
A027	
Shapiro-wilk normality test data: A027\$`Desgaste de flanco um` W = 0.89283, p-value = 0.363	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A027 corresponden a una distribución NORMAL	
A028	

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A028\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97852, p-value = 0.7191	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A028 corresponden a una distribución NORMAL	
A029	
Shapiro-wilk normality test data: A029\$`Desgaste de flanco um` W = 0.89286, p-value = 0.3631	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A029 corresponden a una distribución NORMAL	
A030	
Shapiro-wilk normality test data: A030\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99082, p-value = 0.8167	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A030 corresponden a una distribución NORMAL	
A031	

TTT04 MQL50TCO2 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación MQL al 0.5% de concentración de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en desgaste de flanco	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A031\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9846, p-value = 0.7624	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A031 corresponden a una distribución NORMAL	
A032	
Shapiro-wilk normality test data: A032\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99055, p-value = 0.814	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A032 corresponden a una distribución NORMAL	

3.1.1.5. ANOVA de la TTT05

La Tabla 35, muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTT05 en rugosidad superficial.

- Planteamos la hipótesis nula H0: La rugosidad superficial promedio es la misma sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H1: La rugosidad superficial promedio es distinta al variar la probeta.

Tabla 35. Análisis ANOVA de la TTF05 en rugosidad superficial.

Análisis ANOVA – Rugosidad superficial				
Probeta	Resultado			
TTT05 S	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value Pr(>F)
	Probeta	1	0.07176	0.07176 8.054 0.0109 *
	Residuals	18	0.16037	0.00891
	--- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	4.46e-5	Resultado	H1
TTT05 MQL 1BF4	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value Pr(>F)
	Probeta	1	0.17168	0.17168 377.5 1.59e-13 ***
	Residuals	18	0.00819	0.00045
	--- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2.91e-13	Resultado	H1
TTT05 MQL 1PF6	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value Pr(>F)
	Probeta	1	0.30430	0.30430 279.3 2.09e-12 ***
	Residuals	18	0.01961	0.00109
	--- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	1.56e-9	Resultado	H1

La Tabla 36, muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTT05 en rugosidad superficial.

- Planteamos la hipótesis nula H0: El desgaste de flanco es el mismo sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H1: El desgaste de flanco es distinto al variar la probeta.

Tabla 36. Análisis ANOVA de la TTF05 en desgaste de flanco.

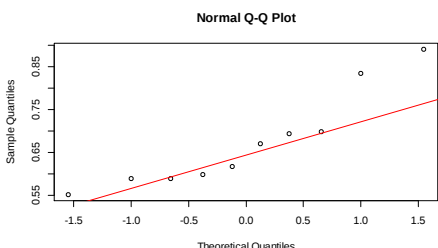
Análisis ANOVA – Desgaste de flanco				
Probeta	Resultado			
TTT05 MQL 1BF4	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value Pr(>F)
	Probeta	5	1926	385.3 4.077 0.0214 *
	Residuals	12	1134	94.5
	--- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	0.0214	Resultado	H1

Análisis ANOVA – Desgaste de flanco				
Probeta	Resultado			
TTT05	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 5 1396.0 279.2 5.805 0.00596 ** Residuals 12 577.2 48.1 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
MQL				
1PF6	Resultado	0.00596	Resultado	H1

El tipo de distribución presentada desde la Tabla 37 hasta la Tabla 41, sirve para determinar el tipo de correlación a realizar, se realizaron por los métodos de Anderson-Darling y Shapiro-Wilk siendo necesario plantear hipótesis para determinar la normalidad o no normalidad de los datos.

- H0 = Los datos siguen una distribución normal.
- H1 = Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 37. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 en seco en rugosidad superficial.

TTT05 S Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial en seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-wilk normality test data: A001\$Ra W = 0.87097, p-value = 0.1026 Anderson-Darling normality test data: A001\$Ra A = 0.57895, p-value = 0.09766	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	

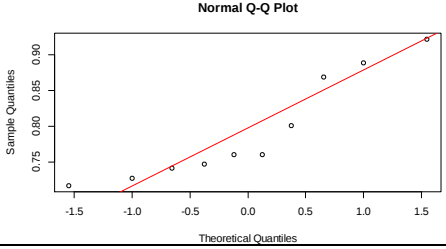
TTT05 S Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial en seco.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: A002\$Ra W = 0.86047, p-value = 0.07729 Anderson-Darling normality test data: A002\$Ra A = 0.64481, p-value = 0.06476	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 38. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4.

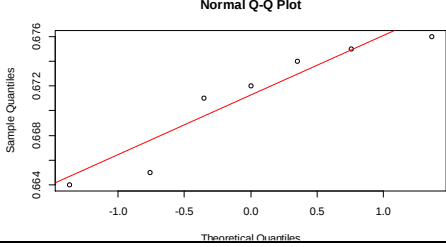
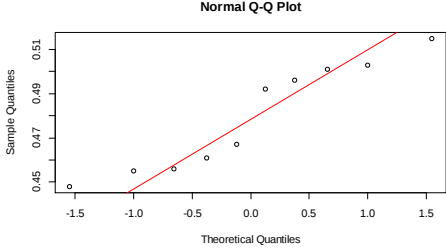
TTT05 MQL 1BF4 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
B001	
Shapiro-wilk normality test data: B001\$Ra W = 0.87856, p-value = 0.2201	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
B002	
Shapiro-Wilk normality test data: B002\$Ra W = 0.89503, p-value = 0.1931 Anderson-Darling normality test data: B002\$Ra A = 0.50559, p-value = 0.1524	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B002 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 39. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6 en rugosidad superficial.

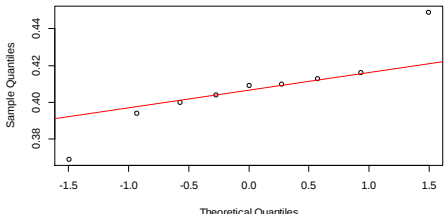
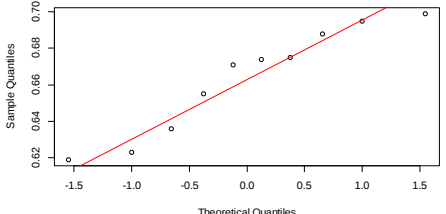
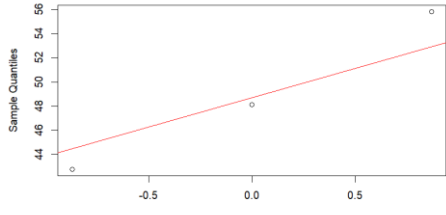
TTT05 MQL 1PF6 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
C001	
Shapiro-Wilk normality test data: C001\$Ra W = 0.92339, p-value = 0.4211 Anderson-Darling normality test data: C001\$Ra A = 0.45029, p-value = 0.2083	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C001 corresponden a una distribución NORMAL	
C002	
Shapiro-Wilk normality test data: C002\$Ra W = 0.91307, p-value = 0.3027 Anderson-Darling normality test data: C002\$Ra A = 0.3652, p-value = 0.3609	Normal Q-Q Plot 
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C002 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 40. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4 en desgaste de flanco.

TTT05 MQL 1BF4 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-Wilk normality test data: A001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98931, p-value = 0.8021	Normal Q-Q Plot 

TTT05 MQL 1BF4 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-wilk normality test data: A002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.77722, p-value = 0.06121	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	
A003	
Shapiro-wilk normality test data: A003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9928, p-value = 0.8377	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	
A004	
Shapiro-wilk normality test data: A004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.94171, p-value = 0.5343	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A004 corresponden a una distribución NORMAL	
A005	

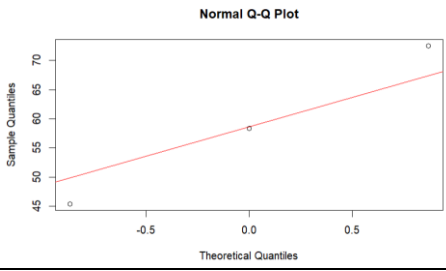
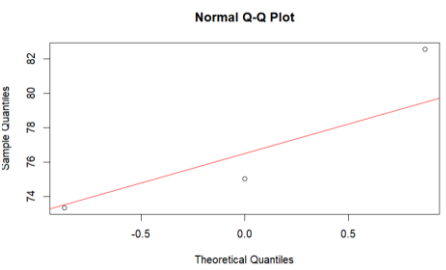
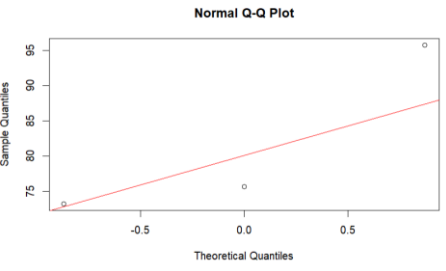
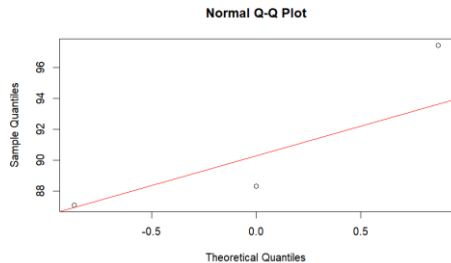
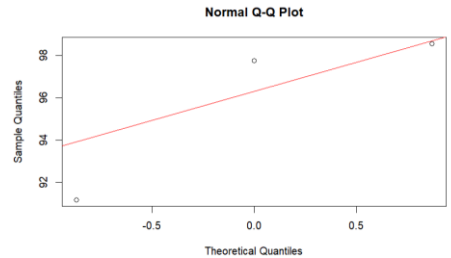
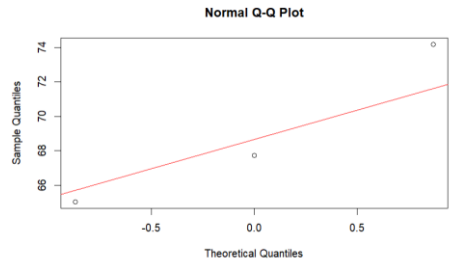
TTT05 MQL 1BF4 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99936, p-value = 0.9518	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A005 corresponden a una distribución NORMAL	
A006	
Shapiro-wilk normality test data: A006\$`Desgaste de flanco um` W = 0.88333, p-value = 0.3343	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A006 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 41. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6 en desgaste de flanco.

TTT05 MQL 1PF6 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
B001	
Shapiro-wilk normality test data: B001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.83198, p-value = 0.1934	

TTT05 MQL 1PF6 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
B002	
Shapiro-wilk normality test data: B002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.83808, p-value = 0.2091	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B002 corresponden a una distribución NORMAL	
B003	
Shapiro-wilk normality test data: B003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.83198, p-value = 0.1934	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B003 corresponden a una distribución NORMAL	
B004	
Shapiro-wilk normality test data: B004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.94666, p-value = 0.5549	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B004 corresponden a una distribución NORMAL	
B005	

Análisis ANOVA				
Probeta	Resultado			
	Resultado	4.46e-5	Resultado	H1
TTF06 MQL 50TCO2 1018	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 1 1.457 1.4568 165.2 2.91e-13 *** Residuals 28 0.247 0.0088 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2.91e-13	Resultado	H1
TTF06 MQL 304	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 1 0.6027 0.6027 77.13 1.56e-09 *** Residuals 28 0.2188 0.0078 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	1.56e-9	Resultado	H1
TTF06 MQL 50ACO2 304	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 1 0.4544 0.4544 141.8 1.79e-12 *** Residuals 28 0.0897 0.0032 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	1.79e-12	Resultado	H1

La Tabla 43, muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTF06 en desgaste de flanco.

- Planteamos la hipótesis nula H0: El desgaste de flanco es el mismo sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H1: El desgaste de flanco es distinto al variar la probeta.

Tabla 43. Análisis ANOVA de la TTF06 en desgaste de flanco.

Análisis ANOVA – Desgaste de flanco				
Probeta	Resultado			
TTF06 MQL 1018	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 7 274007 39144 827 <2e-16 *** Residuals 16 757 47 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	0.000333	Resultado	H1

Análisis ANOVA – Desgaste de flanco				
Probeta	Resultado			
TTF06	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 10 412302 41230 575.4 <2e-16 *** Residuals 22 1576 72 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
50TCO2	Resultado	2e-16	Resultado	H1
1018				
TTF06	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 7 263479 37640 7.767 0.000361 *** Residuals 16 77535 4846 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
304	Resultado	1.56e-9	Resultado	H1
304				
TTF06	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 12 529101 44092 1.501 0.187 Residuals 26 763733 29374			
50TCO2	Resultado	1.79e-12	Resultado	H1
304				

- El tipo de distribución presentada desde la H_0 = Los datos siguen una distribución normal.
- H_1 = Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 44 hasta la Tabla 51, sirve para determinar el tipo de correlación a realizar, se realizaron por los métodos de Anderson-Darling y Shapiro-Wilk siendo necesario plantear hipótesis para determinar la normalidad o no normalidad de los datos.

- H_0 = Los datos siguen una distribución normal.
- H_1 = Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 44. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL en acero AISI 1018 en rugosidad superficial.

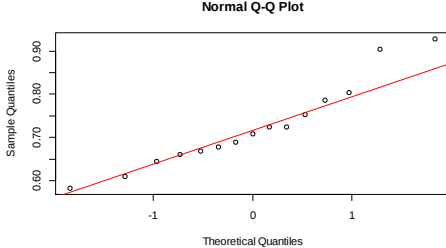
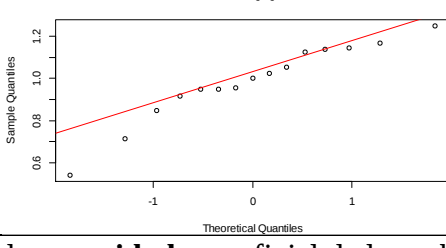
TTF06 MQL 1018 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado con método de lubricación MQL en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-wilk normality test data: A001\$Ra W = 0.93559, p-value = 0.3301 Anderson-Darling normality test data: A001\$Ra A = 0.39223, p-value = 0.3329	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-wilk normality test data: A002\$Ra W = 0.93425, p-value = 0.3155 Anderson-Darling normality test data: A002\$Ra A = 0.38863, p-value = 0.3399	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 45. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de nanopartículas de TiO2 y enfriamiento criogénico de CO2 en acero AISI 1018 en rugosidad superficial.

TTF06 MQL 50T CO2 1018 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO2 y enfriamiento criogénico de CO2 en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
B001	

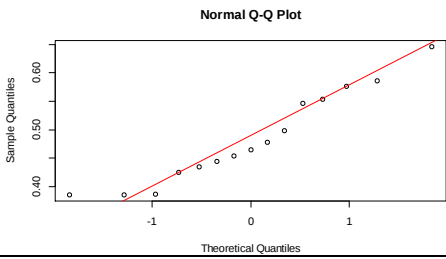
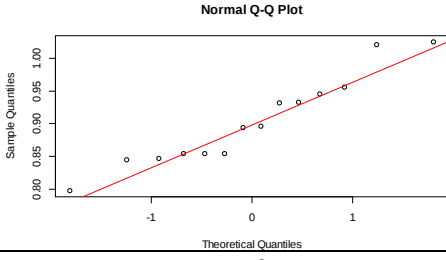
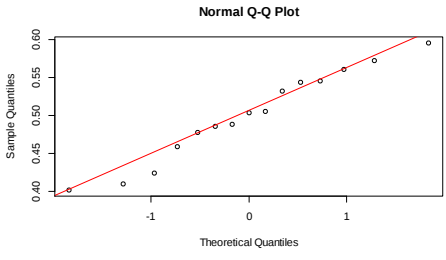
TTF06 MQL 50T CO2 1018 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO ₂ y enfriamiento criogénico de CO ₂ en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B001\$Ra W = 0.934, p-value = 0.3128 Anderson-Darling normality test data: B001\$Ra A = 0.36089, p-value = 0.3981	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
B002	
Shapiro-wilk normality test data: B002\$Ra W = 0.93135, p-value = 0.3187 Anderson-Darling normality test data: B002\$Ra A = 0.43151, p-value = 0.2618	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B002 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 46. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL en acero AISI 304 en la rugosidad superficial.

TTF06 MQL 304 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado con método de lubricación MQL en acero AISI 304.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
C001	
Shapiro-wilk normality test data: C001\$Ra W = 0.96331, p-value = 0.7497 Anderson-Darling normality test data: C001\$Ra A = 0.20682, p-value = 0.8374	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C001 corresponden a una distribución NORMAL	
C002	

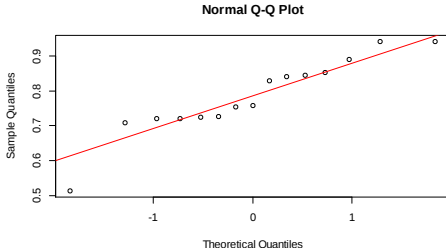
TTF06 MQL 304 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado con método de lubricación MQL en acero AISI 304.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: C002\$Ra W = 0.91547, p-value = 0.1643 Anderson-Darling normality test data: C002\$Ra A = 0.48893, p-value = 0.1881	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C002 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 47. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de nanopartículas de Al₂O₃ y enfriamiento criogénico de CO₂ en acero AISI 304 en la rugosidad superficial.

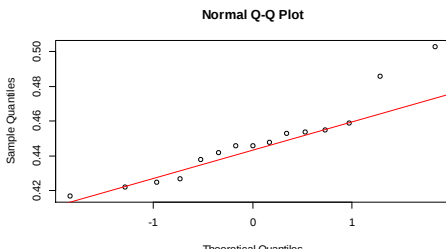
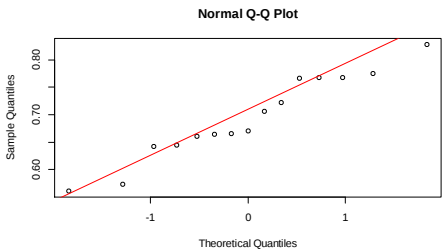
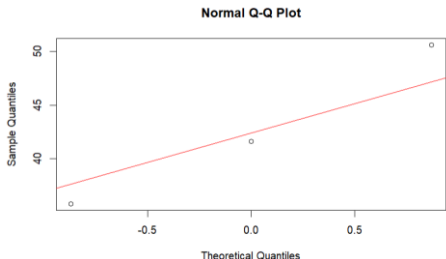
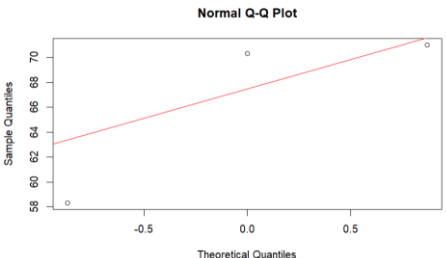
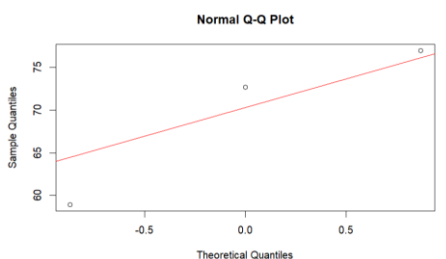
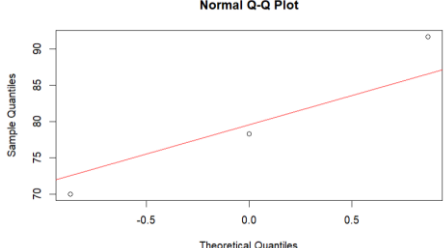
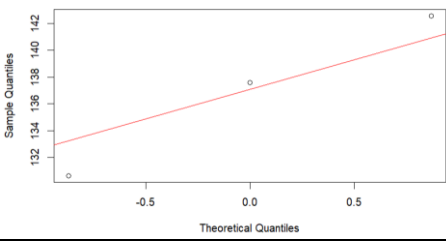
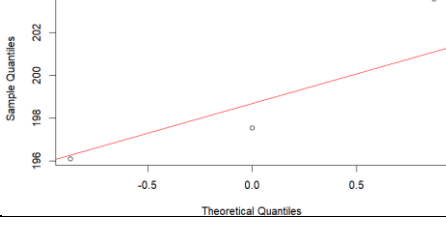
TTF06 MQL 50A CO2 304 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de Al ₂ O ₃ y enfriamiento criogénico de CO ₂ en acero AISI 304.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
D001	
Shapiro-wilk normality test data: D001\$Ra W = 0.91162, p-value = 0.1434 Anderson-Darling normality test data: D001\$Ra 3 A = 0.51968, p-value = 0.156	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta D001 corresponden a una distribución NORMAL	
D002	
Shapiro-wilk normality test data: D002\$Ra W = 0.95125, p-value = 0.5444 Anderson-Darling normality test data: D002\$Ra A = 0.36647, p-value = 0.3857	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta D002 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 48. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL en acero AISI 1018 en desgaste de flanco.

TTF06 MQL 1018 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-wilk normality test data: A001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98466, p-value = 0.7628	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-wilk normality test data: A002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.79121, p-value = 0.09367	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	
A003	
Shapiro-wilk normality test data: A003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9159, p-value = 0.4381	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	
A004	

TTF06 MQL 1018 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98192, p-value = 0.7424	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A004 corresponden a una distribución NORMAL	
A005	
Shapiro-wilk normality test data: A005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99128, p-value = 0.8214	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A005 corresponden a una distribución NORMAL	
A006	
Shapiro-wilk normality test data: A006\$`Desgaste de flanco um` W = 0.88838, p-value = 0.3494	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A006 corresponden a una distribución NORMAL	
A007	

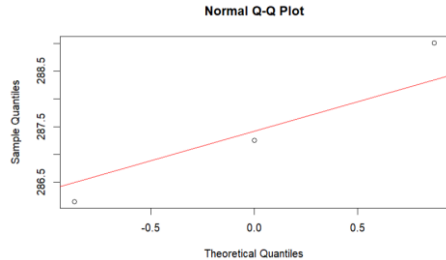
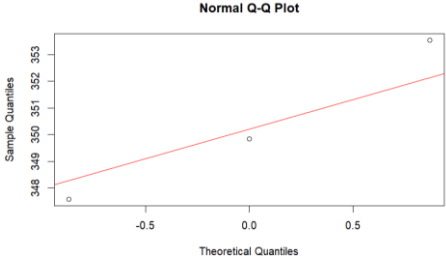
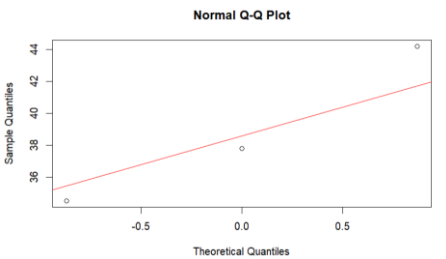
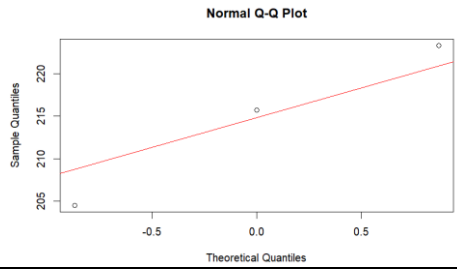
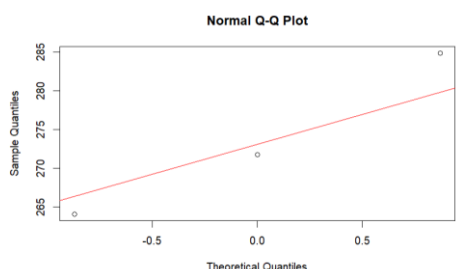
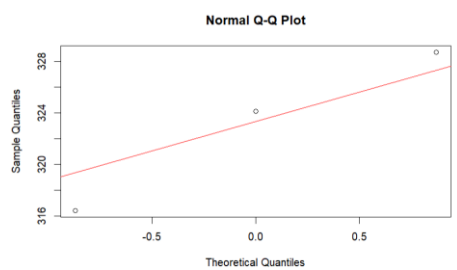
TTF06 MQL 1018 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A007\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98358, p-value = 0.7546	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A007 corresponden a una distribución NORMAL	
A008	
Shapiro-wilk normality test data: A008\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98091, p-value = 0.7353	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A008 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 49. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de nanopartículas de TiO₂ y enfriamiento criogénico de CO₂ en acero AISI 1018 en desgaste de flanco.

TTF06 MQL 50T CO2 1018 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO ₂ y enfriamiento criogénico de CO ₂ en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
B001	
Shapiro-wilk normality test data: B001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.96708, p-value = 0.6515	

TTF06 MQL 50T CO2 1018 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO2 y enfriamiento criogénico de CO2 en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
B002	
Shapiro-wilk normality test data: B002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.88264, p-value = 0.3322	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B002 corresponden a una distribución NORMAL	
B003	
Shapiro-wilk normality test data: B003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97928, p-value = 0.7241	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B003 corresponden a una distribución NORMAL	
B004	
Shapiro-wilk normality test data: B004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99675, p-value = 0.8911	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B004 corresponden a una distribución NORMAL	

TTF06 MQL 50T CO2 1018 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO2 y enfriamiento criogénico de CO2 en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
B005	
Shapiro-wilk normality test <pre>data: B005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99573, p-value = 0.8751</pre>	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B005 corresponden a una distribución NORMAL	
B006	
Shapiro-wilk normality test <pre>data: B006\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99989, p-value = 0.98</pre>	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B006 corresponden a una distribución NORMAL	
B007	
Shapiro-wilk normality test <pre>data: B007\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99992, p-value = 0.9829</pre>	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B007 corresponden a una distribución NORMAL	
B008	

TTF06 MQL 50T CO2 1018 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO2 y enfriamiento criogénico de CO2 en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B008\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98792, p-value = 0.7897	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B008 corresponden a una distribución NORMAL	
B009	
Shapiro-wilk normality test data: B009\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97803, p-value = 0.7158	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B009 corresponden a una distribución NORMAL	
B010	
Shapiro-wilk normality test data: B010\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97927, p-value = 0.724	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B010 corresponden a una distribución NORMAL	
B011	

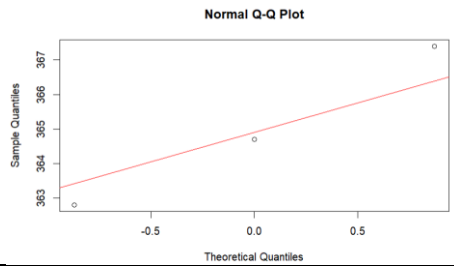
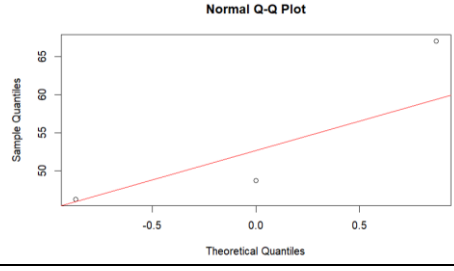
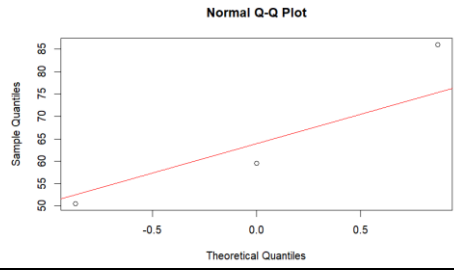
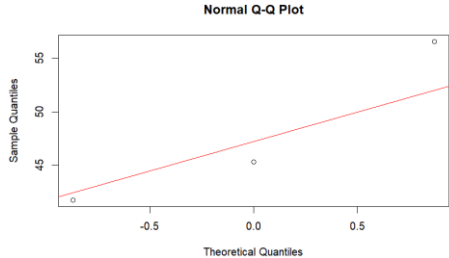
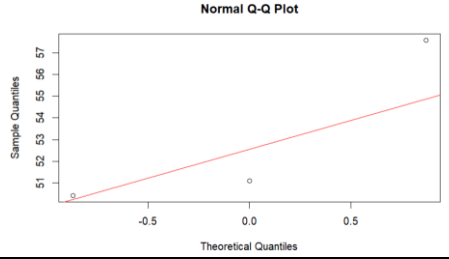
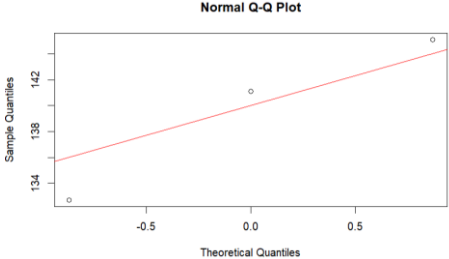
TTF06 MQL 50T CO2 1018 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO2 y enfriamiento criogénico de CO2 en acero AISI 1018.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B011\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99002, p-value = 0.8089	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los del desgaste de flanco de la probeta B011 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 50. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL en acero AISI 304 en desgaste de flanco.

TTF06 MQL 304 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL en acero AISI 304.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
C001	
Shapiro-wilk normality test data: C001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.83828, p-value = 0.2096	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta C001 corresponden a una distribución NORMAL	
C002	
Shapiro-wilk normality test data: C002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.92665, p-value = 0.4762	

TTF06 MQL 304 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL en acero AISI 304.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta C002 corresponden a una distribución NORMAL	
C003	
Shapiro-wilk normality test data: C003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.91826, p-value = 0.4462	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta C003 corresponden a una distribución NORMAL	
C004	
Shapiro-wilk normality test data: C004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.82216, p-value = 0.1686	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta C004 corresponden a una distribución NORMAL	
C005	
Shapiro-wilk normality test data: C005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.95972, p-value = 0.6141	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C005 corresponden a una distribución NORMAL	
C006	

TTF06 MQL 304 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL en acero AISI 304.

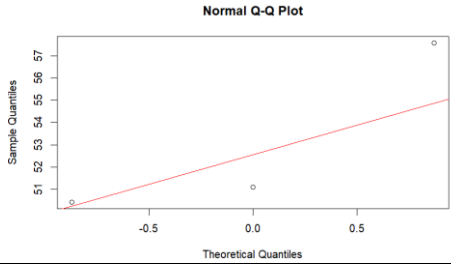
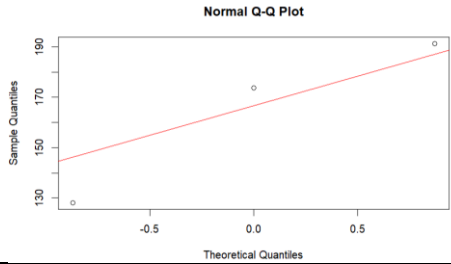
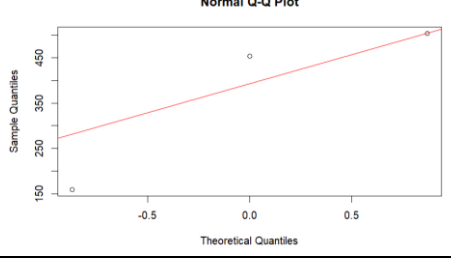
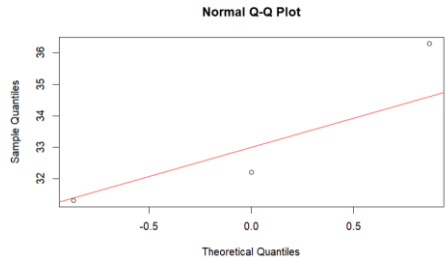
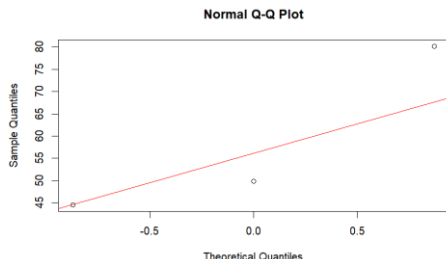
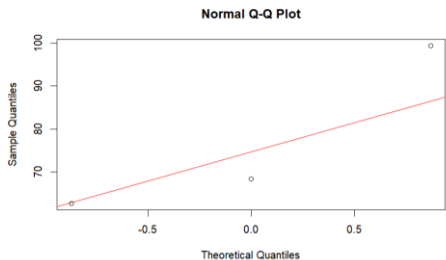
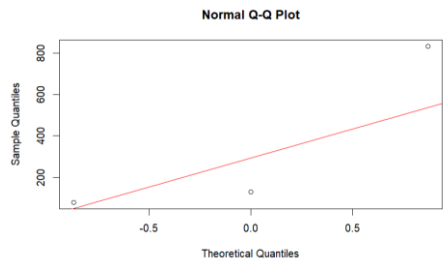
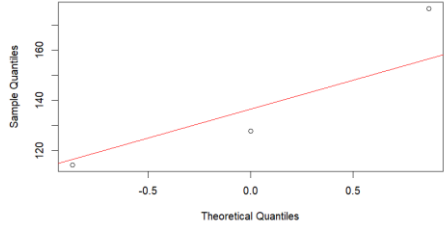
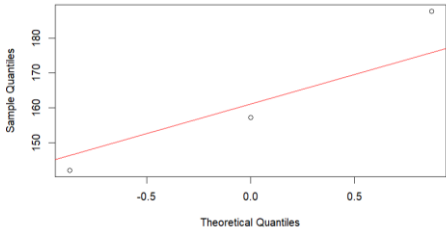
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: C004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.82216, p-value = 0.1686	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta C006 corresponden a una distribución NORMAL	
C007	
Shapiro-wilk normality test data: C007\$`Desgaste de flanco um` W = 0.93941, p-value = 0.525	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta C007 corresponden a una distribución NORMAL	
C008	
Shapiro-wilk normality test data: C008\$`Desgaste de flanco um` W = 0.85755, p-value = 0.2609	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta C008 corresponden a una distribución NORMAL	

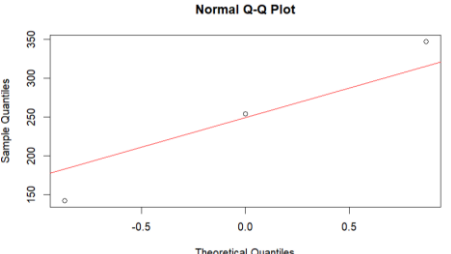
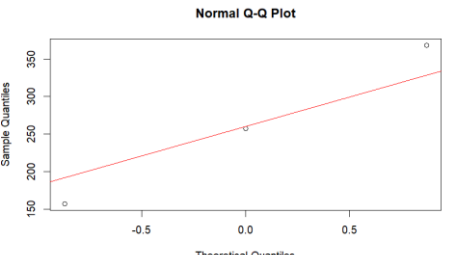
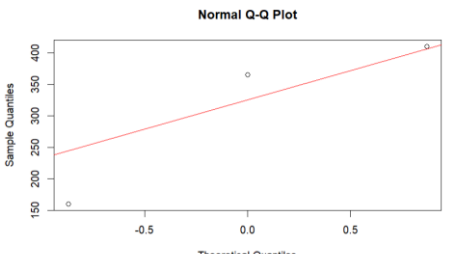
Tabla 51. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF06 con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de nanopartículas de Al₂O₃ y enfriamiento criogénico de CO₂ en acero AISI 304 en desgaste de flanco.

TTF06 MQL 50A CO2 304 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de Al ₂ O ₃ y enfriamiento criogénico de CO ₂ en acero AISI 304.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
D001	
Shapiro-wilk normality test data: D001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.87987, p-value = 0.324	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D001 corresponden a una distribución NORMAL	
D002	
Shapiro-wilk normality test data: D002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.86047, p-value = 0.2689	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D002 corresponden a una distribución NORMAL	
D003	
Shapiro-wilk normality test data: D003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.86325, p-value = 0.2766	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D003 corresponden a una distribución NORMAL	

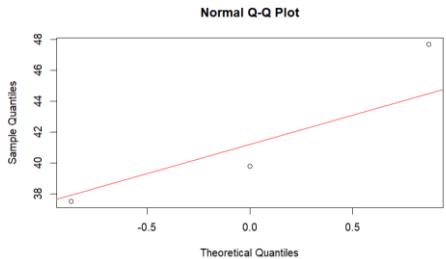
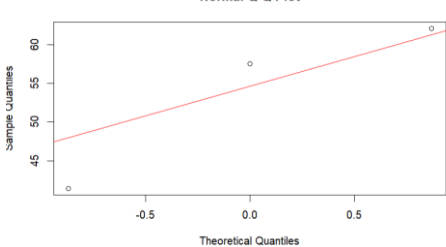
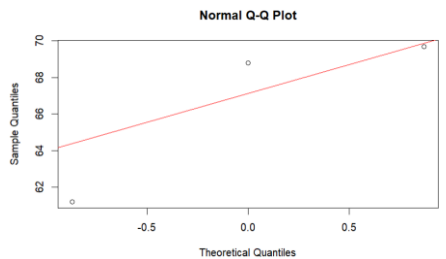
TTF06 MQL 50A CO2 304 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de Al₂O₃ y enfriamiento criogénico de CO₂ en acero AISI 304.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
D004	
Shapiro-wilk normality test data: D004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.80167, p-value = 0.1185	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D004 corresponden a una distribución NORMAL	
D005	
Shapiro-wilk normality test data: D005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.90311, p-value = 0.3955	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D005 corresponden a una distribución NORMAL	
D006	
Shapiro-wilk normality test data: D006\$`Desgaste de flanco um` W = 0.96429, p-value = 0.6369	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D006 corresponden a una distribución NORMAL	
D007	

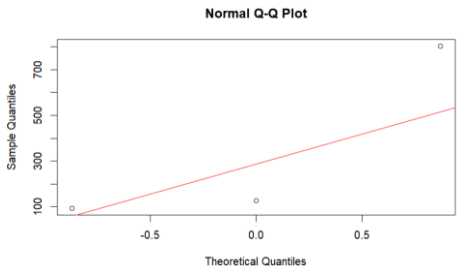
TTF06 MQL 50A CO2 304 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de Al₂O₃ y enfriamiento criogénico de CO₂ en acero AISI 304.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: D007\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99723, p-value = 0.8995	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D007 corresponden a una distribución NORMAL	
D008	
Shapiro-wilk normality test data: D008\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99917, p-value = 0.9448	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D008 corresponden a una distribución NORMAL	
D009	
Shapiro-wilk normality test data: D009\$`Desgaste de flanco um` W = 0.87958, p-value = 0.3232	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D009 corresponden a una distribución NORMAL	
D010	

TTF06 MQL 50A CO2 304 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de Al₂O₃ y enfriamiento criogénico de CO₂ en acero AISI 304.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
shapiro-wilk normality test data: D010\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9087, p-value = 0.4138	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D010 corresponden a una distribución NORMAL	
D011	
shapiro-wilk normality test data: D011\$`Desgaste de flanco um` W = 0.90672, p-value = 0.4072	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D011 corresponden a una distribución NORMAL	
D012	
shapiro-wilk normality test data: D012\$`Desgaste de flanco um` W = 0.82843, p-value = 0.1843	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D012 corresponden a una distribución NORMAL	
D013	

TTF06 MQL 50A CO2 304 Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para mecanizado con método de lubricación MQL con 0.5% de concentración de nanopartículas de Al₂O₃ y enfriamiento criogénico de CO₂ en acero AISI 304.

Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: D013\$`Desgaste de flanco um` W = 0.78534, p-value = 0.07995	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta D013 corresponden a una distribución NORMAL	

3.1.1.7. ANOVA de la TTT07

La Tabla 52, muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTT07 en rugosidad superficial.

- Planteamos la hipótesis nula H0: La rugosidad superficial promedio es la misma sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H1: La rugosidad superficial promedio es distinta al variar la probeta.

Tabla 52. Análisis ANOVA de la TTT07 en rugosidad superficial.

Análisis ANOVA				
Probeta	Resultado			
TTT07 ACEITES MQL		Df	Sum Sq	Mean Sq
	Probeta	2	0.28682	0.14341
	Residuals	42	0.06206	0.00148

	Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado		2e-16	Resultado
				H1
TTT07 ACEITES MQL CO2		Df	Sum Sq	Mean Sq
	Probeta	2	0.11116	0.05558
	Residuals	42	0.02221	0.00053

	Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado		2e-16	Resultado
				H1

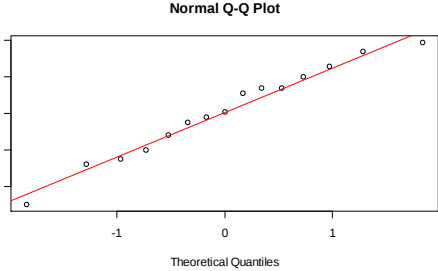
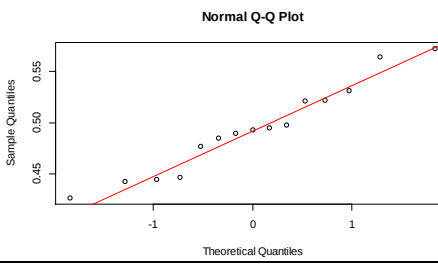
Análisis ANOVA				
Probeta	Resultado			
TTT07 ACEITES MQL CO2 50T		Df	Sum Sq	Mean Sq
	Probeta	2	0.01699	0.008496
	Residuals	42	0.02041	0.000486

	Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado		2.99e-6	Resultado
				H1

El tipo de distribución presentada hasta la Tabla 55, sirve para determinar el tipo de correlación a realizar, se realizaron por los métodos de Anderson-Darling y Shapiro-Wilk siendo necesario plantear hipótesis para determinar la normalidad o no normalidad de los datos.

- H0 = Los datos siguen una distribución normal.
- H1 = Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 53. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT07 con método de lubricación MQL a distintos aceites en la rugosidad superficial.

TTT07 ACEITES MQL Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado con método MQL.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-Wilk normality test data: A001\$Ra W = 0.9764, p-value = 0.939 Anderson-Darling normality test data: A001\$Ra A = 0.15561, p-value = 0.9416	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
C001	
Shapiro-wilk normality test data: C001\$Ra W = 0.95565, p-value = 0.6174 Anderson-Darling normality test data: C001\$Ra A = 0.27972, p-value = 0.5927	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta C001 corresponden a una distribución NORMAL	
E001	

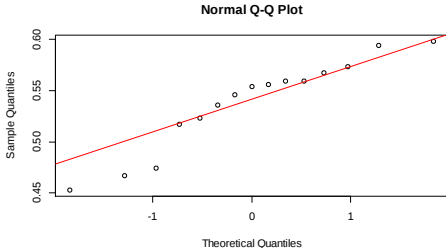
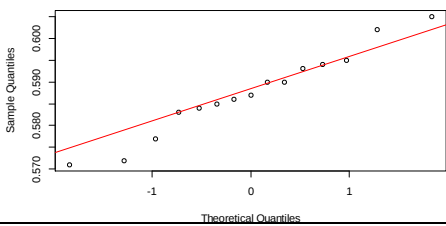
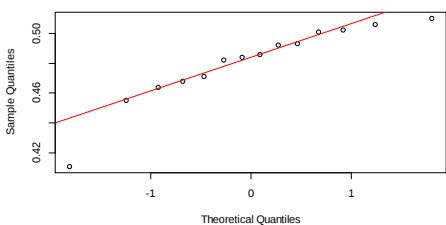
TTT07 ACEITES MQL Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial para mecanizado con método MQL.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: E001\$Ra W = 0.91341, p-value = 0.1527 Anderson-Darling normality test data: E001\$Ra A = 0.55735, p-value = 0.1234	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta E001 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 54. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT07 con MQL a distintos aceites y enfriado criogénico CO2 en la rugosidad superficial.

TTT07 ACEITES MQL CO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL y enfriado criogénico CO2.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
B001	
Shapiro-Wilk normality test data: B001\$Ra W = 0.97077, p-value = 0.8694 Anderson-Darling normality test data: B001\$Ra A = 0.19825, p-value = 0.8608	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
D001	
Shapiro-wilk normality test data: D001\$Ra W = 0.88049, p-value = 0.05907 Anderson-Darling normality test data: D001\$Ra A = 0.52186, p-value = 0.1515	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta D001 corresponden a una distribución NORMAL	
F001	

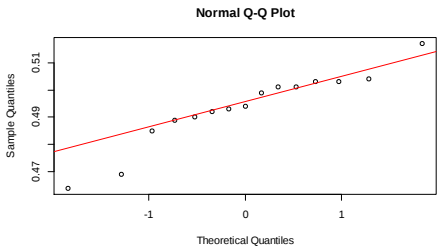
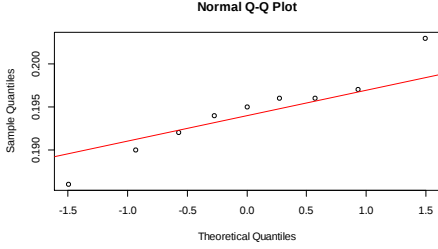
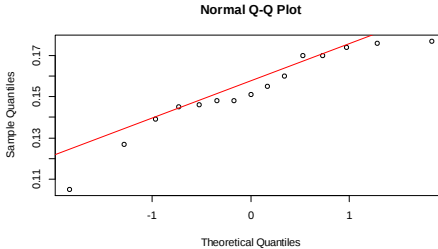
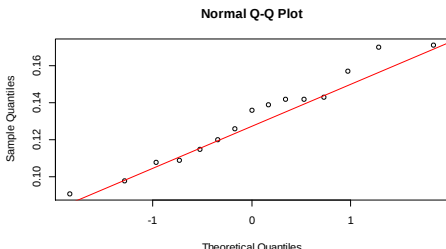
TTT07 ACEITES MQL CO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL y enfriado criogénico CO2.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: F001\$Ra W = 0.91876, p-value = 0.1844 Anderson-Darling normality test data: F001\$Ra A = 0.57318, p-value = 0.1144	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta F001 corresponden a una distribución NORMAL	

Tabla 55. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTT07 con MQL, con 0.5% de concentración de nanopartículas de TiO2 y enfriado criogénico CO2 en la rugosidad superficial.

TTT07 ACEITES MQL 50T CO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de TiO2 y enfriado criogénico CO2.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
G001	
Shapiro-wilk normality test data: G001\$Ra W = 0.96611, p-value = 0.8595 Anderson-Darling normality test data: G001\$Ra A = 0.26328, p-value = 0.6046	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta G001 corresponden a una distribución NORMAL	
H001	
Shapiro-wilk normality test data: H001\$Ra W = 0.92159, p-value = 0.2037 Anderson-Darling normality test data: H001\$Ra A = 0.40213, p-value = 0.3144	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta H001 corresponden a una distribución NORMAL	
I001	

TTT07 ACEITES MQL 50T CO2 Análisis de pruebas de normalidad de la rugosidad superficial con método de lubricación MQL con concentración de 0.5% de TiO2 y enfriado criogénico CO2.	
Normalidad Shapiro-Wilk y Anderson-Darling	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: I001\$Ra W = 0.96222, p-value = 0.7309 Anderson-Darling normality test data: I001\$Ra A = 0.22327, p-value = 0.7871	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta I001 corresponden a una distribución NORMAL	

3.1.1.8.ANOVA de la TTF08

La Tabla 56, muestra los análisis y resultados ANOVA de la TTF08 en desgaste de flanco.

- Planteamos la hipótesis nula H0: El desgaste de flanco es el mismo sin importar el tipo de probeta.
- Planteamos la hipótesis alternativa H1: El desgaste de flanco es distinto al variar la probeta.

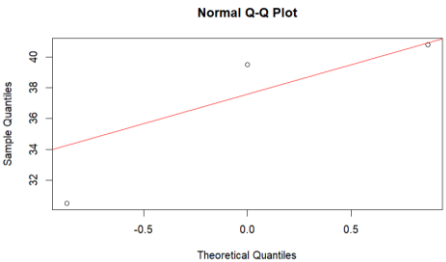
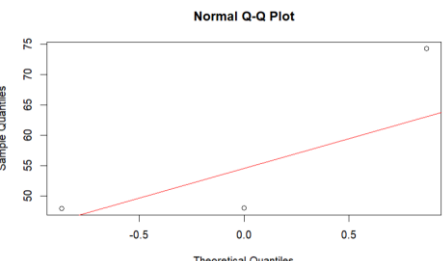
Tabla 56. Análisis ANOVA de la TTF08 en el desgaste de flanco.

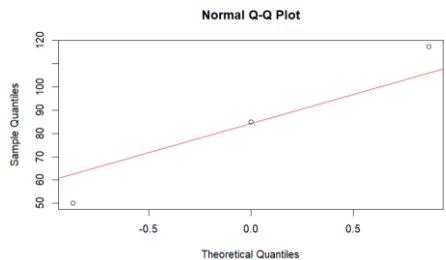
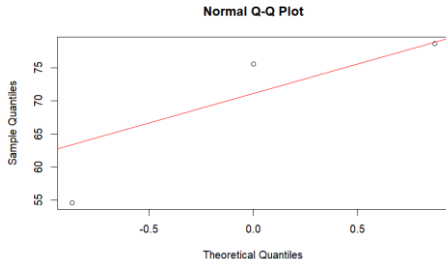
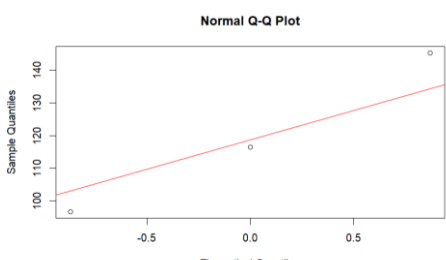
Análisis ANOVA – Desgaste de flanco				
Probeta	Resultado			
TTF08 I	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 5 43492 8698 12.54 0.000202 *** Residuals 12 8326 694 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	0.00202	Resultado	H1
TTF08 H	Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F) Probeta 14 95337 6810 11.26 2.35e-08 *** Residuals 30 18149 605 --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1			
	Resultado	2.35e-08	Resultado	H1

El tipo de distribución presentada en la Tabla 57 y la Tabla 58, sirve para determinar el tipo de correlación a realizar, se realizaron por los métodos de Anderson-Darling y Shapiro-Wilk siendo necesario plantear hipótesis para determinar la normalidad o no normalidad de los datos.

- H_0 = Los datos siguen una distribución normal.
- H_1 = Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 57. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF08 por inundación en el desgaste de flanco.

TTF08 I Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación por inundación.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
A001	
Shapiro-Wilk normality test data: A001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.84297, p-value = 0.2218	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta A001 corresponden a una distribución NORMAL	
A002	
Shapiro-Wilk normality test data: A002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.75284, p-value = 0.006277	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A002 corresponden a una distribución NORMAL	
A003	

TTF08 I Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación por inundación.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: A003\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9995, p-value = 0.9575	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A003 corresponden a una distribución NORMAL	
A004	
Shapiro-wilk normality test data: A004\$`Desgaste de flanco um` W = 0.84468, p-value = 0.2263	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A004 corresponden a una distribución NORMAL	
A005	
Shapiro-wilk normality test data: A005\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98829, p-value = 0.7929	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A005 corresponden a una distribución NORMAL	
A006	

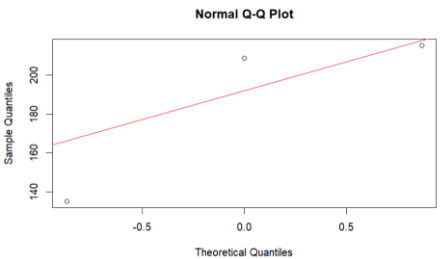
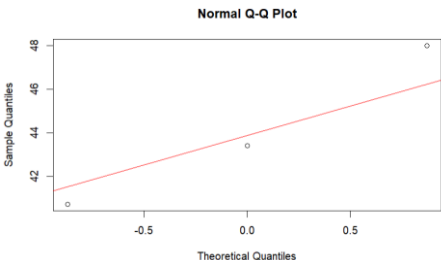
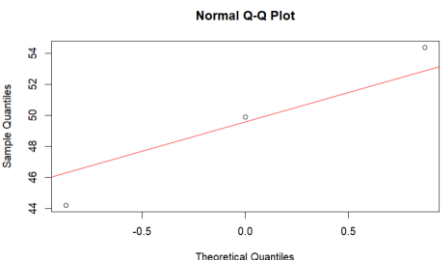
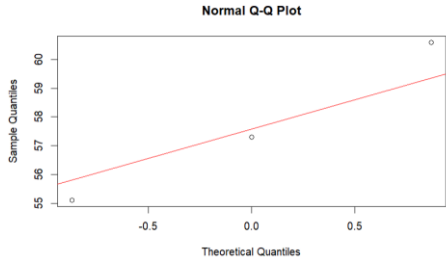
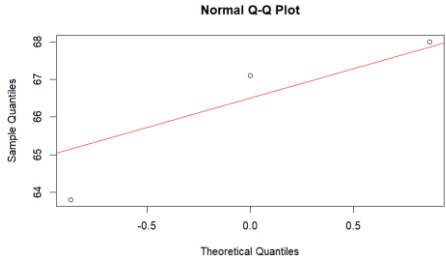
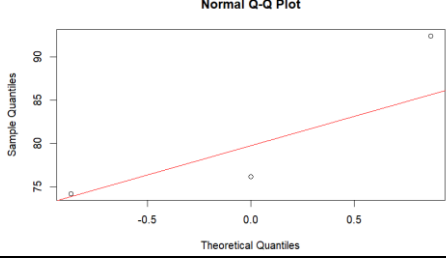
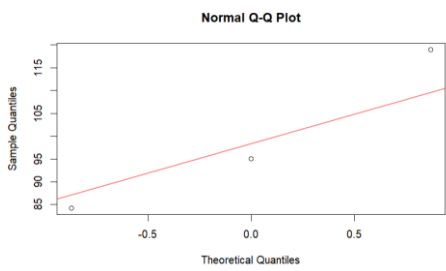
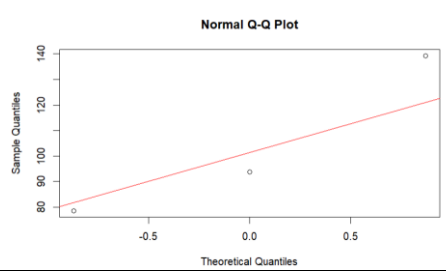
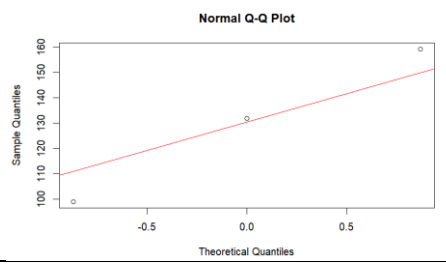
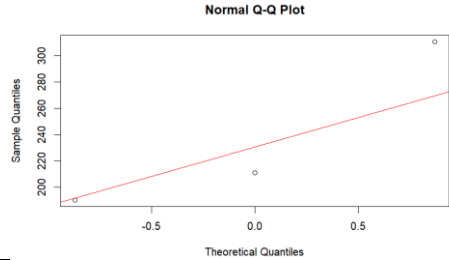
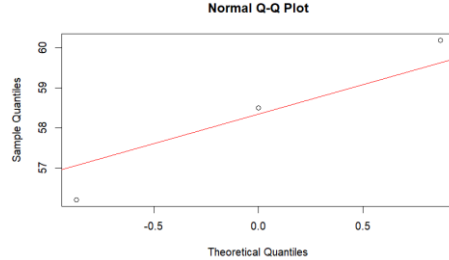
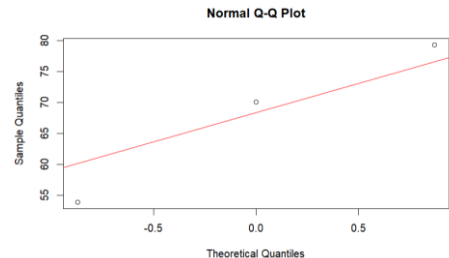
TTF08 I Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación por inundación.	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-Wilk normality test data: A006\$`Desgaste de flanco um` W = 0.81028, p-value = 0.1393	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta A006 corresponden a una distribución NORMAL	

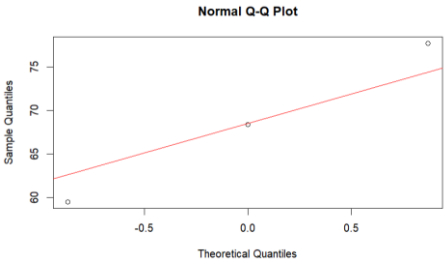
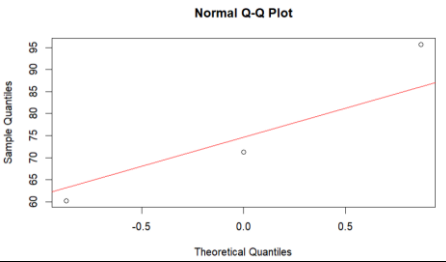
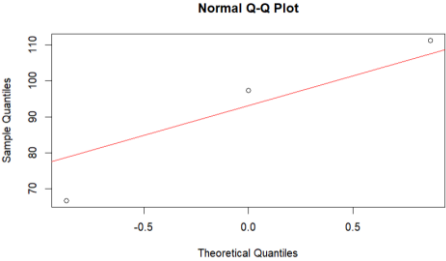
Tabla 58. Pruebas de distribución de los datos con un valor de confiabilidad del 95% de la TTF08 por el método de lubricación híbrido en el desgaste de flanco.

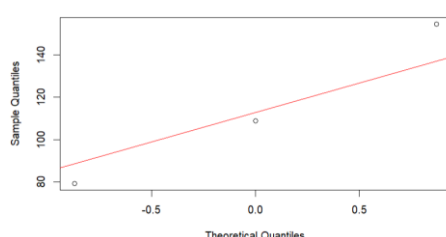
TTF08 H Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación híbrido	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
B001	
Shapiro-Wilk normality test data: B001\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97792, p-value = 0.7151	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos de la rugosidad superficial de la probeta B001 corresponden a una distribución NORMAL	
B002	
Shapiro-wilk normality test data: B002\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99541, p-value = 0.8705	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B002 corresponden a una distribución NORMAL	

TTF08 H Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación híbrido	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
B003	
Shapiro-wilk normality test data: B003\$`Desgaste de flanco um` $W = 0.98684$, $p\text{-value} = 0.7804$	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B003 corresponden a una distribución NORMAL	
B004	
Shapiro-wilk normality test data: B004\$`Desgaste de flanco um` $W = 0.90184$, $p\text{-value} = 0.3914$	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B004 corresponden a una distribución NORMAL	
B005	
Shapiro-wilk normality test data: B005\$`Desgaste de flanco um` $W = 0.83131$, $p\text{-value} = 0.1917$	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B005 corresponden a una distribución NORMAL	
B006	

TTF08 H Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación híbrido	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B006\$`Desgaste de flanco um` $W = 0.95555$, $p\text{-value} = 0.5943$	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B006 corresponden a una distribución NORMAL	
B007	
Shapiro-wilk normality test data: B007\$`Desgaste de flanco um` $W = 0.92401$, $p\text{-value} = 0.4666$	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B007 corresponden a una distribución NORMAL	
B008	
Shapiro-wilk normality test data: B008\$`Desgaste de flanco um` $W = 0.99723$, $p\text{-value} = 0.8995$	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B008 corresponden a una distribución NORMAL	
B009	

TTF08 H Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación híbrido	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B009\$`Desgaste de flanco um` W = 0.87551, p-value = 0.3113	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B009 corresponden a una distribución NORMAL	
B010	
Shapiro-wilk normality test data: B010\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99256, p-value = 0.835	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B010 corresponden a una distribución NORMAL	
B011	
Shapiro-wilk normality test data: B011\$`Desgaste de flanco um` W = 0.97531, p-value = 0.6986	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B011 corresponden a una distribución NORMAL	
B012	

TTF08 H Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación híbrido	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
Shapiro-wilk normality test data: B012\$`Desgaste de flanco um` W = 0.99984, p-value = 0.9758	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B012 corresponden a una distribución NORMAL	
B013	
Shapiro-wilk normality test data: B013\$`Desgaste de flanco um` W = 0.9553, p-value = 0.5932	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B013 corresponden a una distribución NORMAL	
B014	
Shapiro-wilk normality test data: B014\$`Desgaste de flanco um` W = 0.95554, p-value = 0.5943	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B014 corresponden a una distribución NORMAL	
B015	

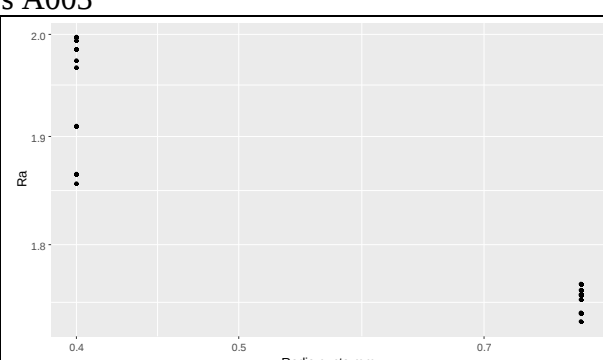
TTF08 H Análisis de pruebas de normalidad del desgaste de flanco para método de lubricación híbrido	
Normalidad Shapiro-Wilk	Gráfico QQ
<pre>Shapiro-wilk normality test data: B015\$`Desgaste de flanco um` W = 0.98485, p-value = 0.7643</pre>	
Resultado: Se acepta H0 por tanto los datos del desgaste de flanco de la probeta B015 corresponden a una distribución NORMAL	

3.2. INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE CORTE EN LA RUGOSIDAD

3.2.1. Influencia de radio de punta en la rugosidad.

Se realizó la correlación que nos indica la influencia del radio de punta, la tesis con la que se trabajó fue la TTT02.

Tabla 59. Correlación de Pearson de la TTT02 en seco de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.

TTT02 en seco correlación de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001 vs A003	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A001vsA003\$`Radio punta mm`, A003\$`Ra`) [1] -0.9272411</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A002 vs A004	

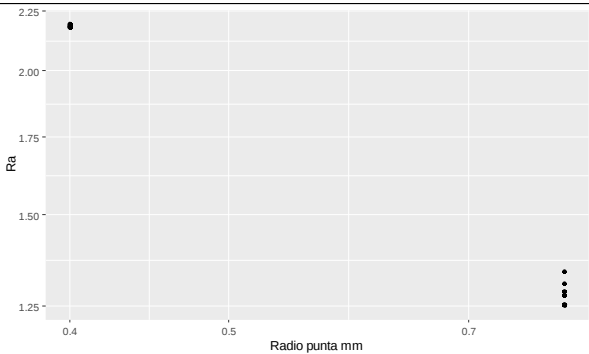
TTT02 en seco correlación de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A002vsA004\$`Radio punta mm`, A002vsA004\$`Ra`) [1] -0.9990549</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 60. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de lubricación MQL de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.

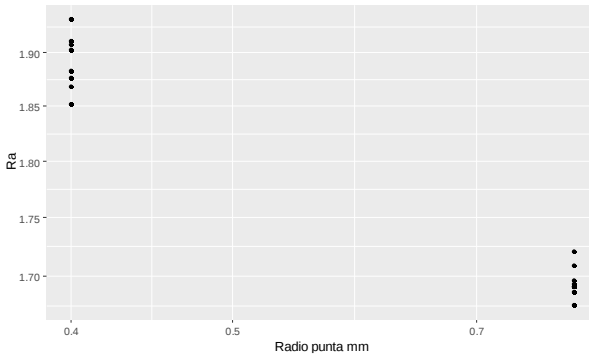
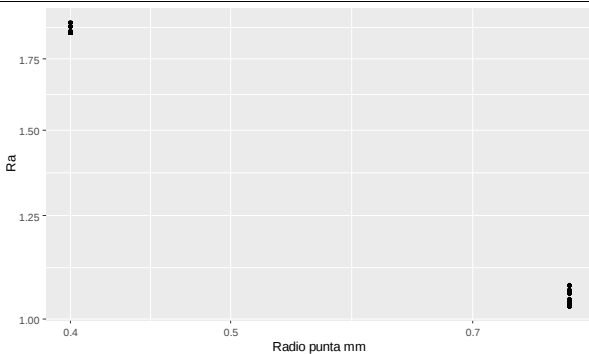
TTT02 con método de lubricación MQL correlación de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.	
Correlación de Pearson	Gráfico
B001 vs B003	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B001vsB003\$`Radio punta mm`, B001vsB003\$`Ra`) [1] -0.980369</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
B002 vs B004	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B002vsB004\$`Radio punta mm`, B002vsB004\$`Ra`) [1] -0.999312</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 61. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.25% de TiO₂ de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.

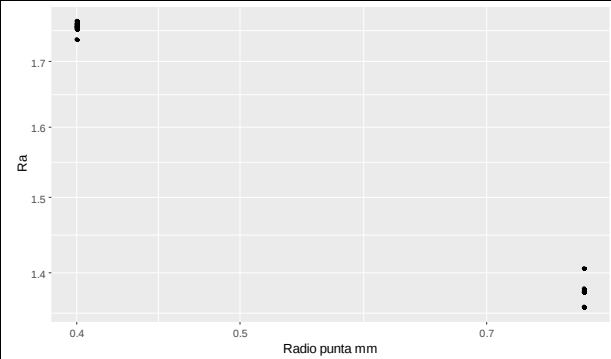
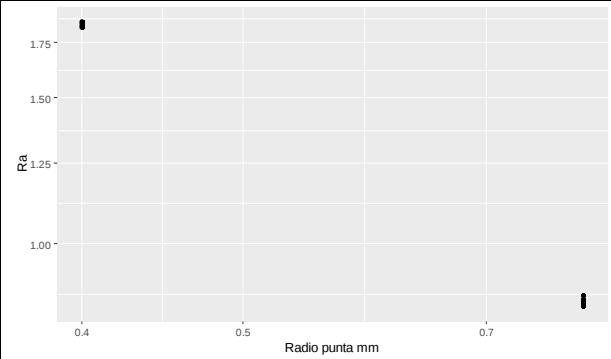
TTT02 con método de lubricación MQL y concentración del 0.25% de nanopartículas de TiO ₂ correlación de la influencia del radio de punta en la rugosidad.	
Correlación de Pearson	Gráfico
C001 vs C003	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(C001vsC003\$`Radio punta mm`, C001) [1] -0.9980707</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
C002 vs C004	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(C002vsC004\$`Radio punta mm`, C002) [1] -0.9998069</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 62. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO₂ de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.

TTT02 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ correlación de la influencia del radio de punta en la rugosidad.	
Correlación de Pearson	Gráfico
D001 vs D003	

TTT02 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 correlación de la influencia del radio de punta en la rugosidad.	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(D001vsD003\$`Radio punta mm`, D001\$`Ra`) [1] -0.9975956</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
D002 vs D004	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(D002vsD004\$`Radio punta mm`, D002\$`Ra`) [1] -0.9990813</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 63. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 1% de TiO2 de la influencia del radio de punta en la rugosidad superficial.

TTT02 con método de lubricación MQL y concentración del 1% de nanopartículas de TiO2 correlación de la influencia del radio de punta en la rugosidad	
Correlación de Pearson	Gráfico
E001 vs E003	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(E001vsE003\$`Radio punta mm`, E001\$`Ra`) [1] -0.9976643</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
E002 vs E004	

TTT02 con método de lubricación MQL y concentración del 1% de nanopartículas de TiO2 correlación de la influencia del radio de punta en la rugosidad	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(E002vsE004\$`Radio punta mm`, E004\$`Ra`) [1] -0.9997602</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

3.2.2. Influencia la velocidad de avance en la rugosidad.

Tabla 64. Correlación de Pearson de la TTT03 con método de lubricación seco de la influencia de la velocidad de avance en la rugosidad superficial.

TTT03 con método de lubricación seco y la velocidad de avance en la rugosidad	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001vs A002	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A001vsA002\$`Velocidad de avance mm/min`, A002\$`Ra um`) [1] 0.8651099</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A003 vs A004	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A003vsA004\$`Velocidad de avance mm/min`, A004\$`Ra um`) [1] 0.9683665</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 65. Correlación de Pearson de la TTT03 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO₂ y método criogénico con CO₂ de la influencia de la velocidad de avance en la rugosidad superficial.

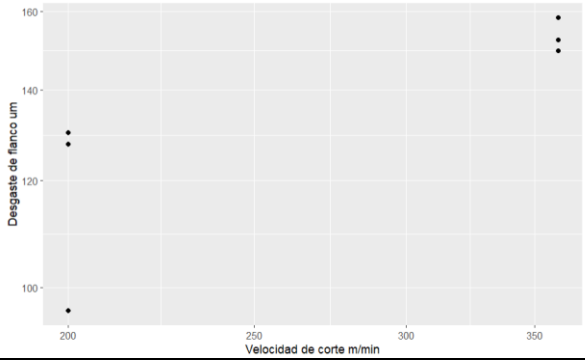
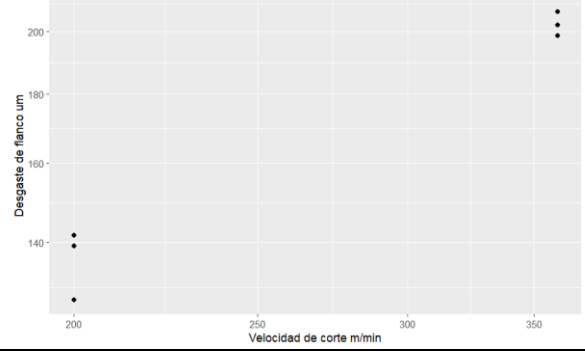
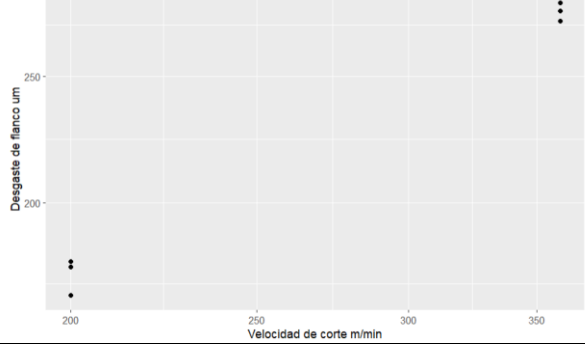
TTT03 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas de 0.5 de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ y correlación de la velocidad de avance en la rugosidad	
Correlación de Pearson	Gráfico
B001vs B002	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B001vsB002\$`Velocidad de avance` ([1] 0.9533921</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
B003 vs B004	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B003vsB004\$`Velocidad de avance` ([1] 0.9244451</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	

3.3.INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE CORTE EN LA EVOLUCIÓN DEL DESGATE.

3.3.1. Influencia de la velocidad de corte en la evolución del desgaste.

Tabla 66. Correlación de Pearson de la TTF01 con método de lubricación inundación de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.

TTF01 con método de lubricación inundación y la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001 vs A005	

TTF01 con método de lubricación inundación y la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlacion de PEARSON# > cor(A001vsA005\$`velocidad de corte m/ [1] 0.8451195</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A002 vs A006	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A002vsA006\$`velocidad de corte m/ [1] 0.9884997</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A003 vs A007	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A003vsA007\$`velocidad de corte m/ [1] 0.9968945</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A004 vs A008	

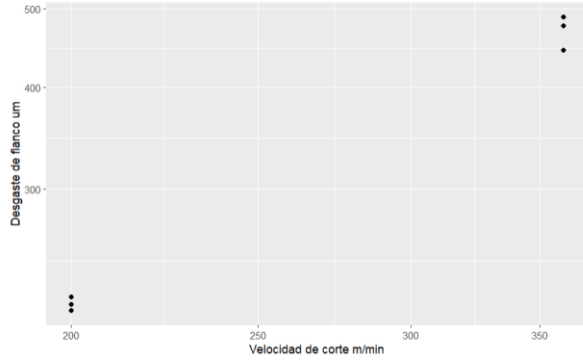
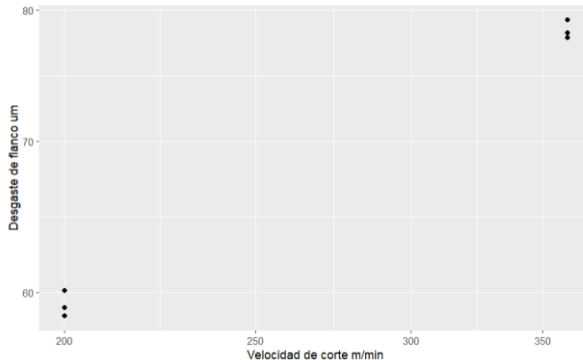
TTF01 con método de lubricación inundación y la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A004vsA008\$`Velocidad de corte m/m [1] 0.9946113</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 67. Correlación de Pearson de la TTF01 con método de lubricación MQL de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.

TTF01 con método de lubricación MQL y la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
B001 vs B011	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B001vsB011\$`Velocidad de corte m/i [1] 0.9979416</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
B002 vs B012	

TTF01 con método de lubricación MQL y la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B002vsB012\$`Velocidad de corte m/mi [1] 0.9994661</pre>	

La correlación es **POSITIVA** y de incidencia **FUERTE**

B003 vs B013	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B003vsB013\$`Velocidad de corte m/ [1] 0.9995024</pre>	

La correlación es **POSITIVA** y de incidencia **FUERTE**

B004 vs B014	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B004vsB014\$`Velocidad de corte m/m [1] 0.9997945</pre>	

La correlación es **POSITIVA** y de incidencia **FUERTE**

TTF01 con método de lubricación MQL y la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco

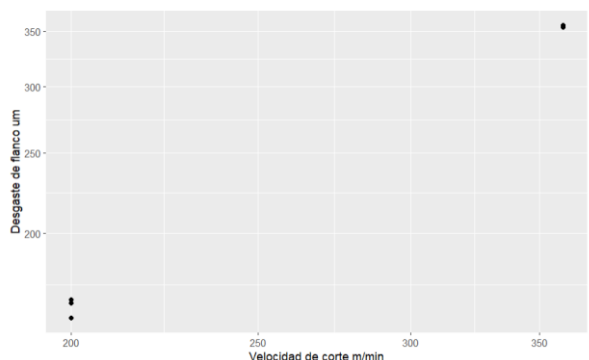
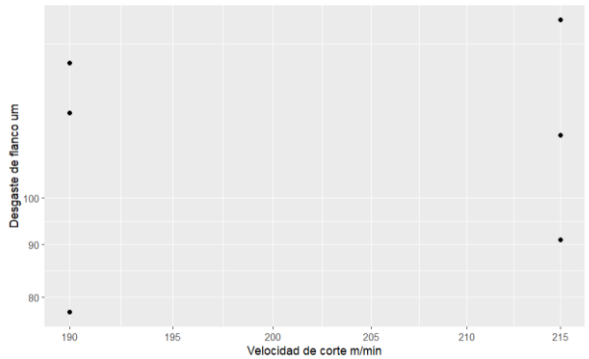
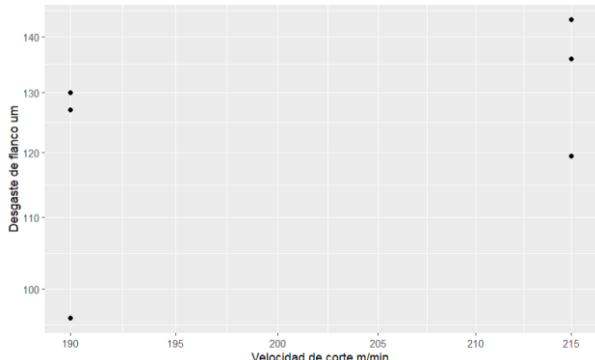
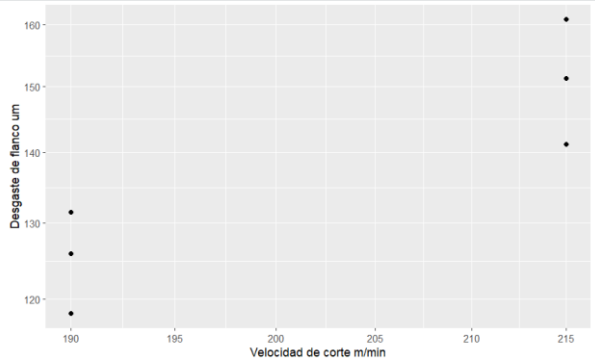
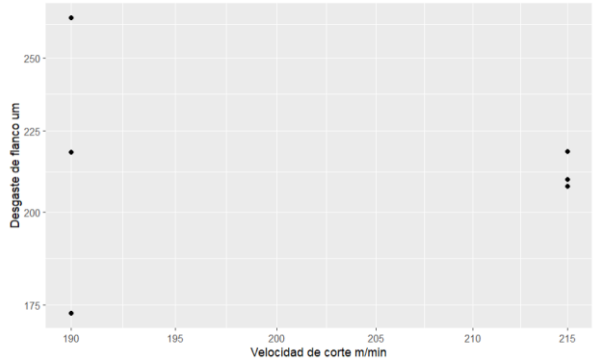
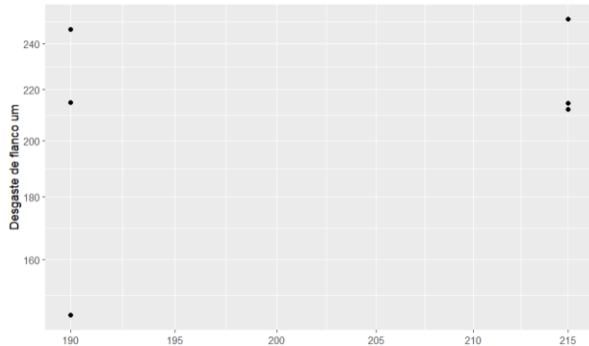
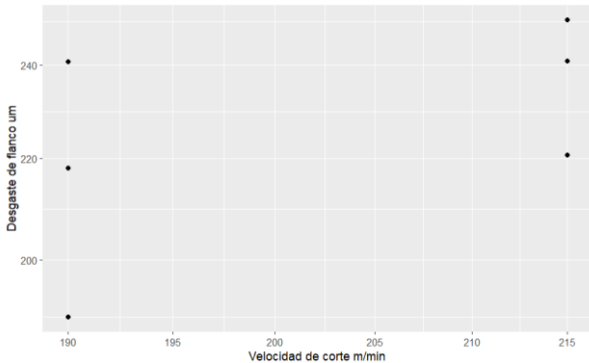
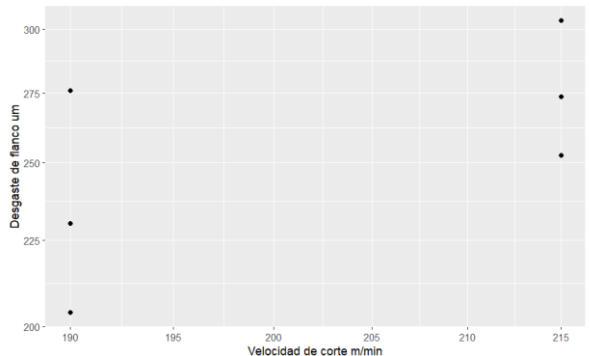
Correlación de Pearson	Gráfico
B005 vs B015	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B005vsB015\$`Velocidad de corte m/mi [1] 0.9996305</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 68. Correlación de Pearson de la TTT02 con método de mecanizado en seco de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.

TTT02 con método de mecanizado en seco y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001 vs A009	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A001vsA009\$`Velocidad de corte m/mir [1] 0.1451863</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia DÉBIL	
A002 vs A010	

TTT02 con método de mecanizado en seco y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco																	
Correlación de Pearson	Gráfico																
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A002vsA0010\$`Velocidad de corte m, [1] 0.5059147</pre>	 <table border="1"> <caption>Data points for TTT02</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad de corte m/min</th> <th>Desgaste de flanco um</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>190</td><td>95</td></tr> <tr><td>190</td><td>128</td></tr> <tr><td>190</td><td>130</td></tr> <tr><td>215</td><td>120</td></tr> <tr><td>215</td><td>135</td></tr> <tr><td>215</td><td>140</td></tr> <tr><td>215</td><td>145</td></tr> </tbody> </table>	Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um	190	95	190	128	190	130	215	120	215	135	215	140	215	145
Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um																
190	95																
190	128																
190	130																
215	120																
215	135																
215	140																
215	145																
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE																	
A003 vs A011																	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A003vsA0011\$`Velocidad de corte m [1] 0.8842063</pre>	 <table border="1"> <caption>Data points for A003 vs A011</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad de corte m/min</th> <th>Desgaste de flanco um</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>190</td><td>118</td></tr> <tr><td>190</td><td>125</td></tr> <tr><td>190</td><td>132</td></tr> <tr><td>215</td><td>142</td></tr> <tr><td>215</td><td>152</td></tr> <tr><td>215</td><td>160</td></tr> </tbody> </table>	Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um	190	118	190	125	190	132	215	142	215	152	215	160		
Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um																
190	118																
190	125																
190	132																
215	142																
215	152																
215	160																
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE																	
A004 vs A012																	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A004vsA0012\$`Velocidad de corte m/m [1] -0.1252722</pre>	 <table border="1"> <caption>Data points for A004 vs A012</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad de corte m/min</th> <th>Desgaste de flanco um</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>190</td><td>170</td></tr> <tr><td>190</td><td>215</td></tr> <tr><td>190</td><td>260</td></tr> <tr><td>215</td><td>205</td></tr> <tr><td>215</td><td>210</td></tr> <tr><td>215</td><td>215</td></tr> </tbody> </table>	Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um	190	170	190	215	190	260	215	205	215	210	215	215		
Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um																
190	170																
190	215																
190	260																
215	205																
215	210																
215	215																
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL																	

TTT02 con método de mecanizado en seco y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco											
Correlación de Pearson	Gráfico										
A005 vs A013											
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A005vsA0013\$`Velocidad de corte m, [1] 0.3463968</pre>	 <table border="1"> <caption>Data points for A005 vs A013</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad de corte m/min</th> <th>Desgaste de flanco um</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>190</td> <td>240</td> </tr> <tr> <td>190</td> <td>215</td> </tr> <tr> <td>215</td> <td>210</td> </tr> <tr> <td>215</td> <td>245</td> </tr> </tbody> </table>	Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um	190	240	190	215	215	210	215	245
Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um										
190	240										
190	215										
215	210										
215	245										
La correlación es POSITIVA y de incidencia MODERADA											
A006 vs A014											
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A006vsA0014\$`Velocidad de corte m, [1] 0.5246167</pre>	 <table border="1"> <caption>Data points for A006 vs A014</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad de corte m/min</th> <th>Desgaste de flanco um</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>190</td> <td>240</td> </tr> <tr> <td>190</td> <td>218</td> </tr> <tr> <td>215</td> <td>220</td> </tr> <tr> <td>215</td> <td>245</td> </tr> </tbody> </table>	Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um	190	240	190	218	215	220	215	245
Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um										
190	240										
190	218										
215	220										
215	245										
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE											
A007 vs A015											
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A007vsA0015\$`Velocidad de corte m, [1] 0.6133741</pre>	 <table border="1"> <caption>Data points for A007 vs A015</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad de corte m/min</th> <th>Desgaste de flanco um</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>190</td> <td>275</td> </tr> <tr> <td>190</td> <td>230</td> </tr> <tr> <td>215</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>215</td> <td>295</td> </tr> </tbody> </table>	Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um	190	275	190	230	215	250	215	295
Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um										
190	275										
190	230										
215	250										
215	295										
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE											

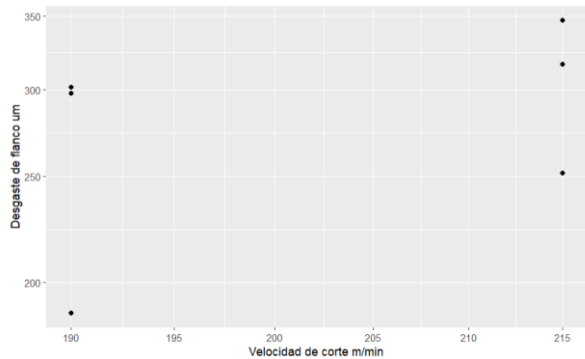
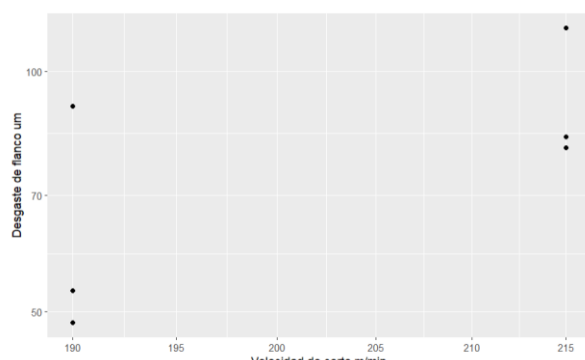
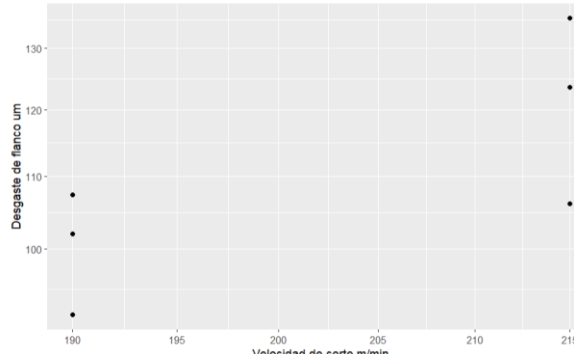
TTT02 con método de mecanizado en seco y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
A008 vs A016	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A008vsA0016\$`Velocidad de corte m/` [1] 0.4160647</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia MODERADA	

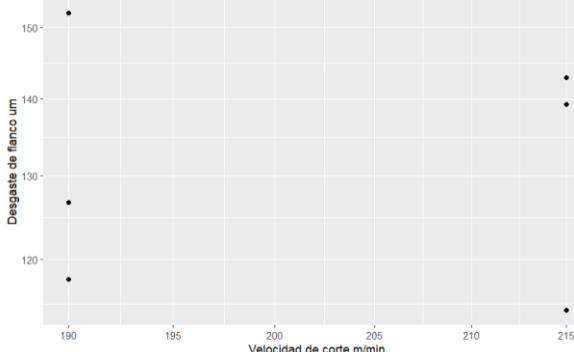
Tabla 69. Correlación de Pearson de la TTT02 con lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO₂ de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.

TTT02 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
B001 vs B010	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B001vsB010\$`Velocidad de corte m` [1] 0.6354159</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
B002 vs B011	

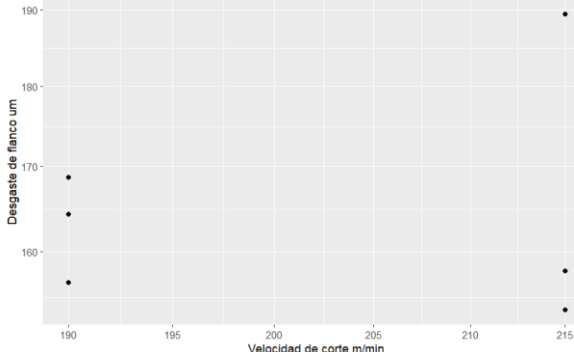
TTT02 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO₂ y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco

Correlación de Pearson	Gráfico														
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B002vsB011\$`Velocidad de corte m/min`, B002vsB011\$`Desgaste de flanco um`) [1] 0.7410217</pre>	 <table border="1"> <caption>Data points for TTT02 correlation</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad de corte m/min</th> <th>Desgaste de flanco um</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>190</td><td>95</td></tr> <tr><td>190</td><td>102</td></tr> <tr><td>190</td><td>108</td></tr> <tr><td>215</td><td>107</td></tr> <tr><td>215</td><td>123</td></tr> <tr><td>215</td><td>132</td></tr> </tbody> </table>	Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um	190	95	190	102	190	108	215	107	215	123	215	132
Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um														
190	95														
190	102														
190	108														
215	107														
215	123														
215	132														

La correlación es **POSITIVA** y de incidencia **FUERTE**

B003 vs B012															
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B003vsB012\$`Velocidad de corte m/min`, B003vsB012\$`Desgaste de flanco um`) [1] -0.0003654291</pre>	 <table border="1"> <caption>Data points for B003 vs B012 correlation</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad de corte m/min</th> <th>Desgaste de flanco um</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>190</td><td>118</td></tr> <tr><td>190</td><td>128</td></tr> <tr><td>190</td><td>152</td></tr> <tr><td>215</td><td>115</td></tr> <tr><td>215</td><td>140</td></tr> <tr><td>215</td><td>143</td></tr> </tbody> </table>	Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um	190	118	190	128	190	152	215	115	215	140	215	143
Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um														
190	118														
190	128														
190	152														
215	115														
215	140														
215	143														

La correlación es **NEGATIVA** y de incidencia **NULA**

B004 vs B013															
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B004vsB013\$`Velocidad de corte m/min`, B004vsB013\$`Desgaste de flanco um`) [1] 0.1568611</pre>	 <table border="1"> <caption>Data points for B004 vs B013 correlation</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad de corte m/min</th> <th>Desgaste de flanco um</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>190</td><td>158</td></tr> <tr><td>190</td><td>168</td></tr> <tr><td>190</td><td>170</td></tr> <tr><td>215</td><td>155</td></tr> <tr><td>215</td><td>158</td></tr> <tr><td>215</td><td>190</td></tr> </tbody> </table>	Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um	190	158	190	168	190	170	215	155	215	158	215	190
Velocidad de corte m/min	Desgaste de flanco um														
190	158														
190	168														
190	170														
215	155														
215	158														
215	190														

La correlación es **POSITIVA** y de incidencia **DÉBIL**

TTT02 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco

Correlación de Pearson	Gráfico
B005 vs B014	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B005vsB014\$`velocidad de corte m/ [1] -0.105933</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL	
B006 vs B015	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B006vsB015\$`velocidad de corte m/ [1] -0.0128382</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL	
B007 vs B016	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B007vsB016\$`velocidad de corte m/ [1] -0.0636861</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia NULA	

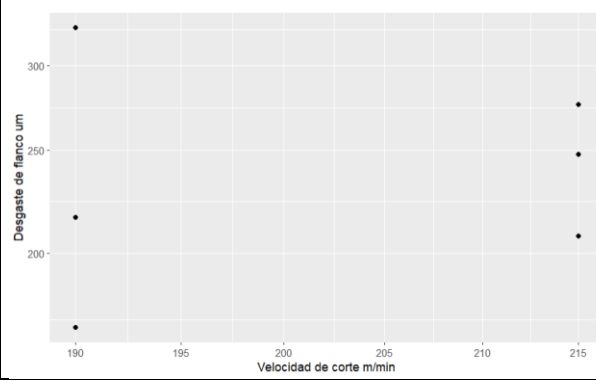
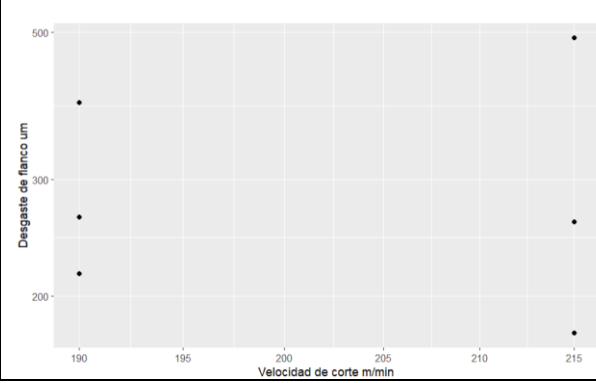
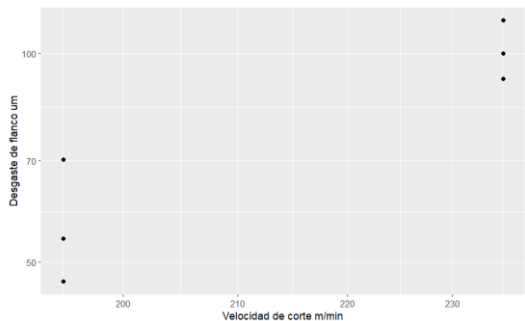
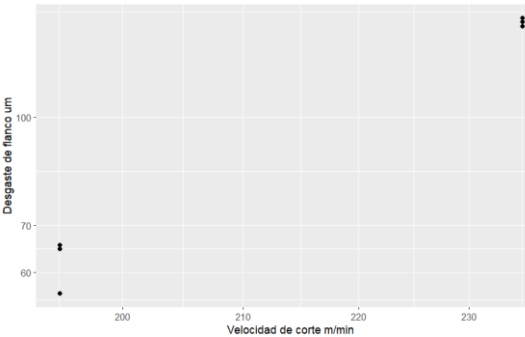
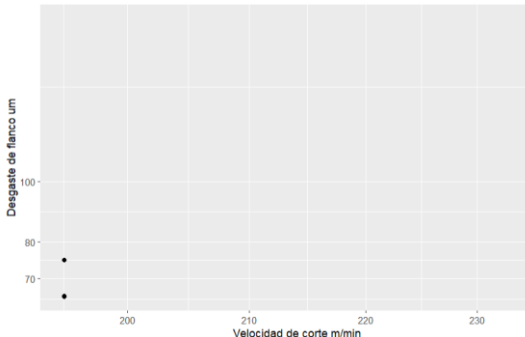
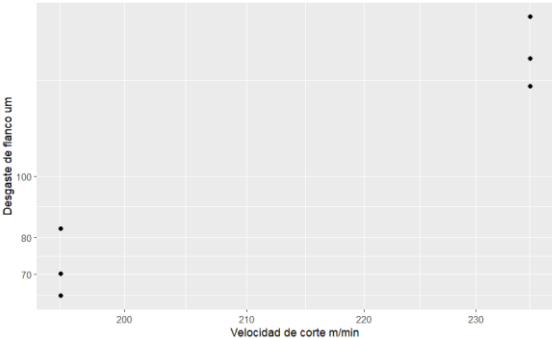
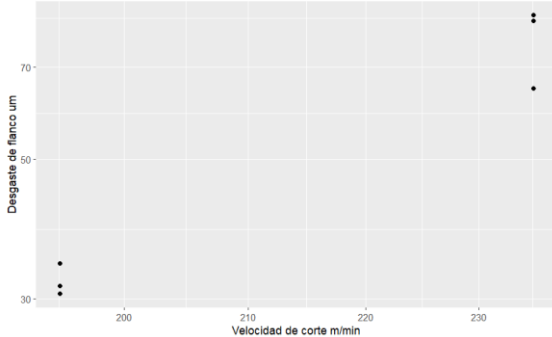
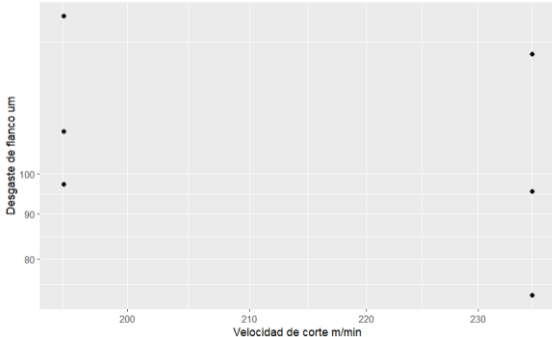
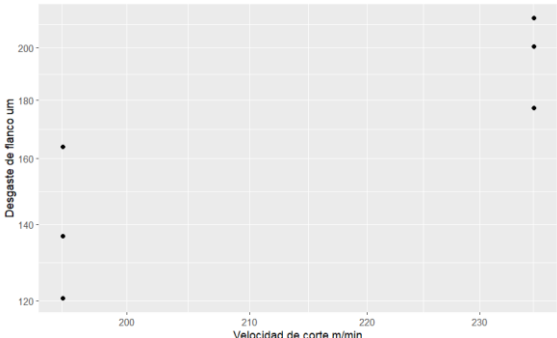
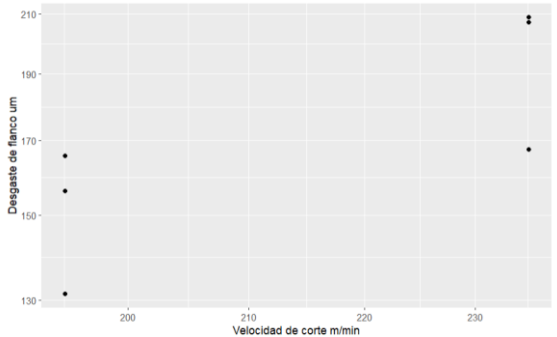
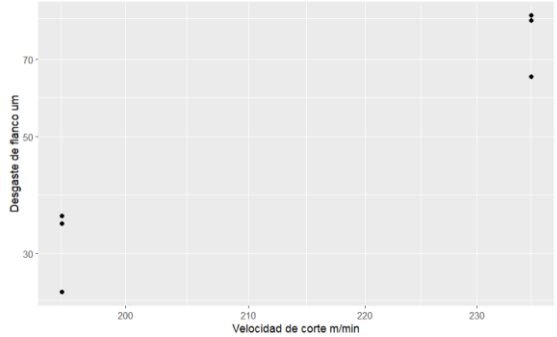
TTT02 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
B008 vs B017	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B008vsB017\$`velocidad de corte m/ [1] 0.06341662</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia NULA	
B009 vs B018	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B009vsB018\$`Velocidad de corte m, [1] 0.08232755</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia NULA	

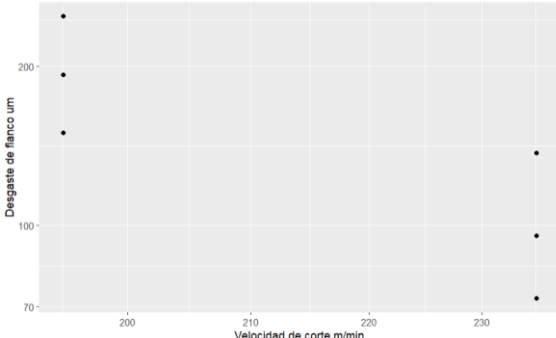
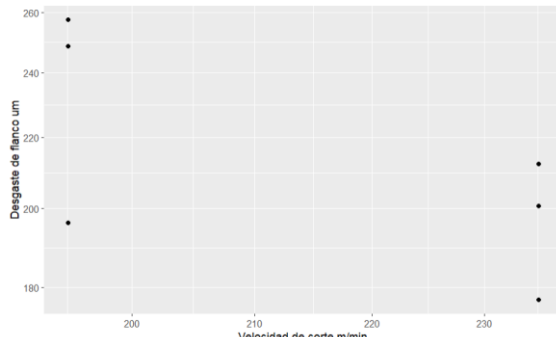
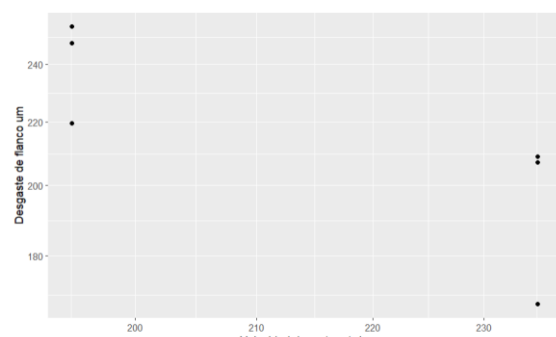
Tabla 70. Correlación de Pearson de la TTF04 con lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.

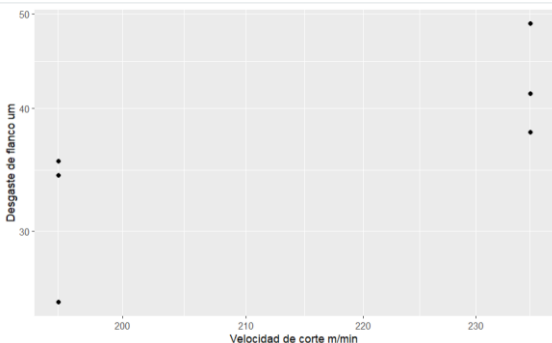
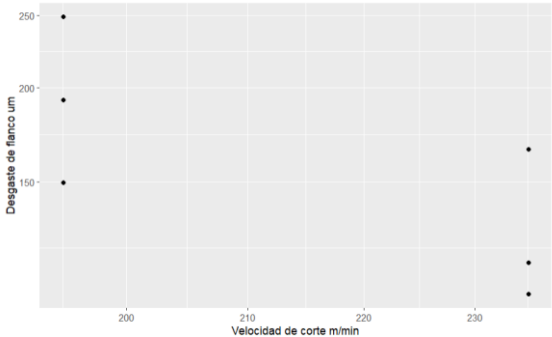
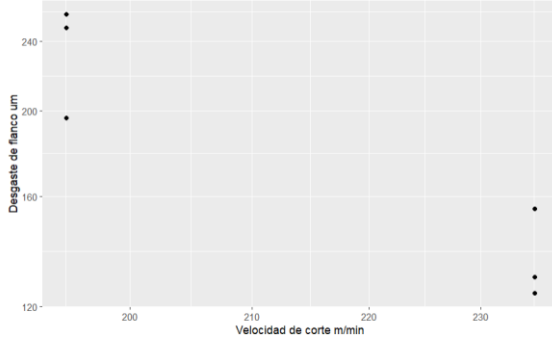
TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001 vs A005	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A001vsA005\$`Velocidad de corte m/mir [1] 0.926029</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A002 vs A006	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A002vsA006\$`Velocidad de corte m/mi [1] 0.9962298</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A003 vs A007	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A003vsA007\$`Velocidad de corte m/ [1] 0.9159979</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A004 vs A008	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A004vsA008\$`Velocidad de corte m/mir [1] 0.9571668</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A009 vs A013	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A009vsA013\$`Velocidad de corte m/m [1] 0.962274</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A010 vs A014	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A010vsA014\$`Velocidad de corte m/m [1] -0.3480121</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	
A011 vs A015	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A011vsA015`Velocidad de corte m/ [1] 0.8650746</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A012 vs A016	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A012vsA016`Velocidad de corte m/mir [1] 0.7884619</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A013 vs A017	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A013vsA017`Velocidad de corte m/mi [1] 0.9556496</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A014 vs A018	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A014vsA018\$`Velocidad de corte m/` [1] 0.9556496</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A015 vs A019	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A015vsA019\$`Velocidad de corte m/` [1] -0.6510829</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A016 vs A020	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A016vsA020\$`Velocidad de corte m/` [1] -0.8016033</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A017 vs A021	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A017vsA021\$`Velocidad de corte m/` [1] 0.7750515</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A018 vs A022	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A018vsA022\$`Velocidad de corte m/` [1] -0.7030651</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A019 vs A023	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A019vsA023\$`Velocidad de corte m/` [1] -0.9169249</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A020 vs A024	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A020vsA024\$`Velocidad de corte m/ [1] -0.925618</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A025 vs A029	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A025vsA029\$`Velocidad de corte m/ [1] 0.419255</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	
A026 vs A030	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A026vsA030\$`Velocidad de corte m/ [1] 0.9776423</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A027 vs A031	

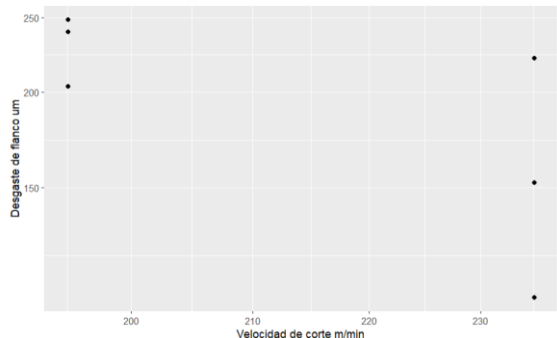
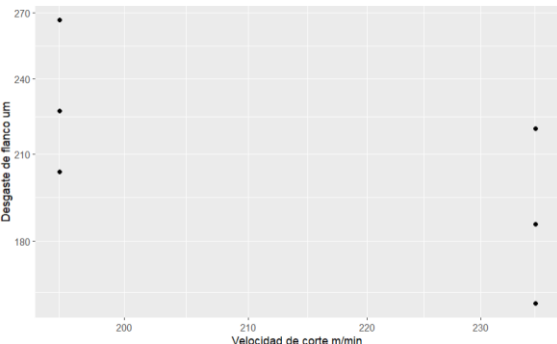
TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A027vsA031\$`Velocidad de corte m, [1] -0.6986352</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A028 vs A032	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A028vsA032\$`Velocidad de corte m [1] -0.656172</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 71. Correlación de Pearson de la TTT05 con lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4 de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.

TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001 vs A004	

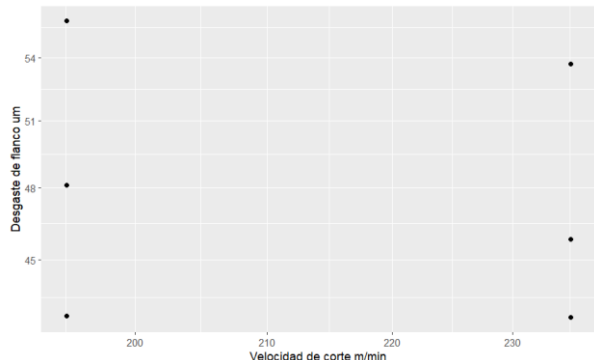
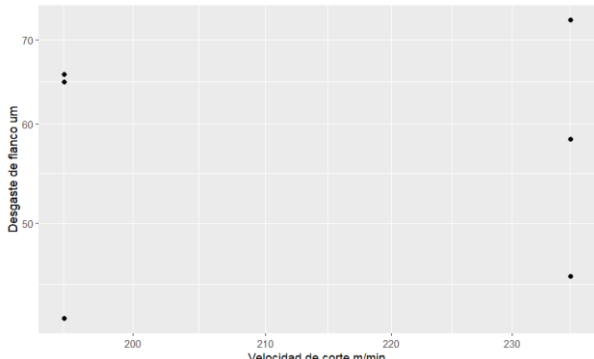
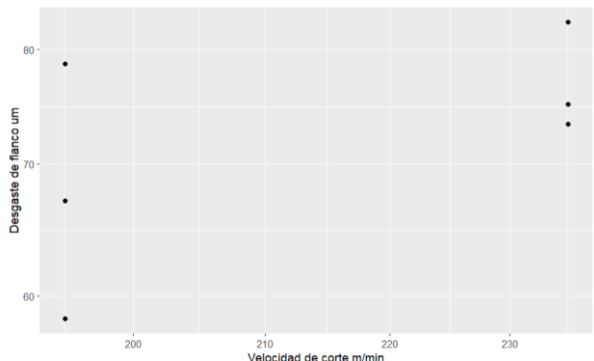
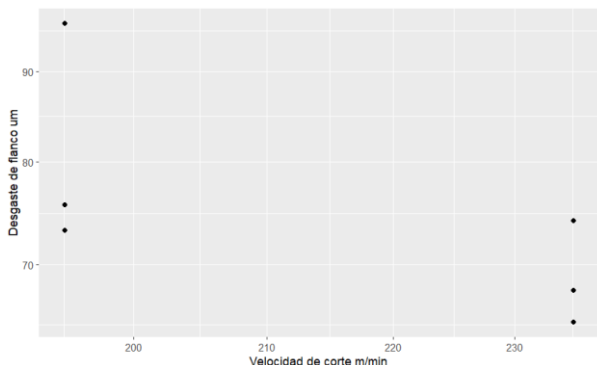
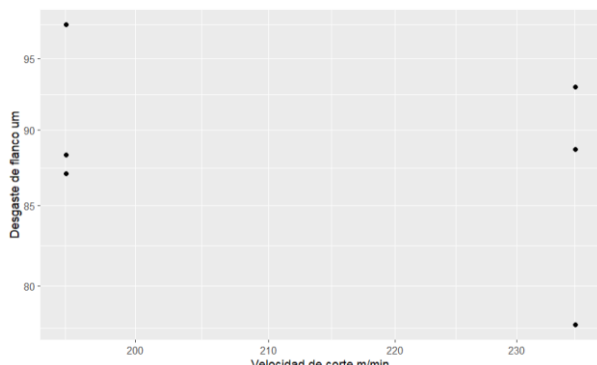
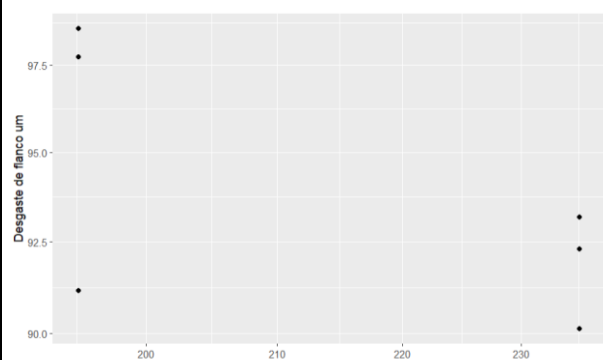
TTT05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1BF4 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre> - - > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A001vsA004\$`Velocidad de corte m, [1] -0.1465768 </pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL	
A002 vs A005	
<pre> > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A002vsA005\$`Velocidad de corte m, [1] 0.05657121 </pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia NULA	
A003 vs A006	
<pre> > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A003vsA006\$`Velocidad de corte m/ [1] 0.5661807 </pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 72. Correlación de Pearson de la TTF05 con lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6 de la influencia de la velocidad de corte en el desgaste de flanco.

TTF05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
B001 vs B004	
<pre> > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B001vsB004\$`Velocidad de corte m/ [1] -0.6357667 </pre>	 The scatter plot for B001 vs B004 shows a negative correlation. The x-axis is 'Velocidad de corte m/min' (ranging from 200 to 230) and the y-axis is 'Desgaste de flanco um' (ranging from 70 to 90). There are 6 data points showing a downward trend.
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
B002 vs B005	
<pre> > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B002vsB005\$`Velocidad de corte m [1] -0.3713361 </pre>	 The scatter plot for B002 vs B005 shows a negative correlation. The x-axis is 'Velocidad de corte m/min' (ranging from 200 to 230) and the y-axis is 'Desgaste de flanco um' (ranging from 80 to 95). There are 6 data points showing a downward trend.
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	
B003 vs B006	

TTF05 con método de lubricación MQL y aceite refrigerante 1PF6 y correlación de la influencia de la velocidad corte en el desgaste de flanco	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(B003vsB006\$`Velocidad de corte m/min`, B003vsB006\$`Desgaste de flanco um`) [1] -0.6181847</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

3.4. Influencia de los lubricantes-refrigerantes en la rugosidad

3.4.1. Influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante en la rugosidad.

Tabla 73. Correlación de Pearson de la TTT07 con método de lubricación MQL de la influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante en la rugosidad superficial.

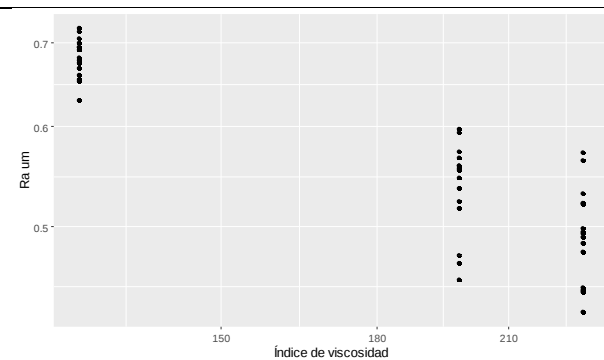
TTT07 con método de lubricación MQL correlación del índice de viscosidad en la rugosidad superficial.	
Correlación de Pearson	Gráfico
SAE 20W50 vs GIRASOL vs OLIVA	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(TTT07ACEITESMQL\$`Índice de viscosidad`, TTT07ACEITESMQL\$`Ra um`) [1] -0.904366</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 74. Correlación de Pearson de la TTT07 con método de lubricación MQL y método de enfriamiento criogénico por CO₂ de la influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante en la rugosidad superficial.

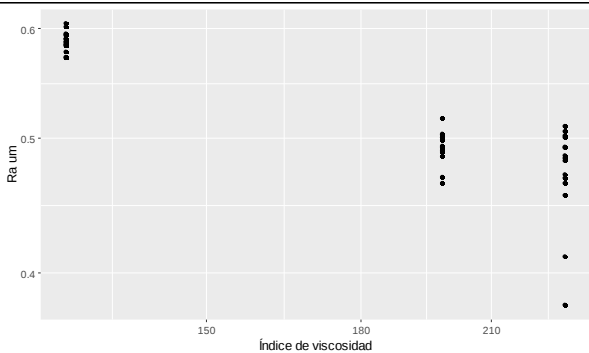
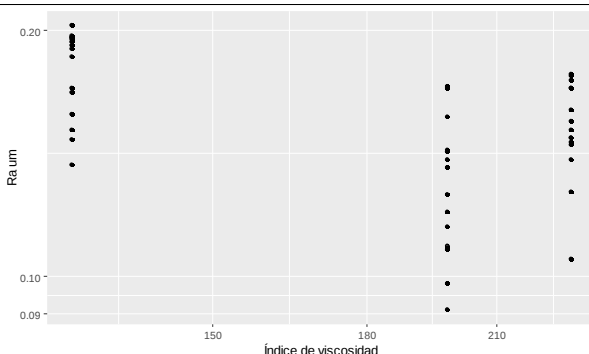
TTT07 con método de lubricación MQL y método de enfriamiento criogénico por CO ₂ , correlación del índice de viscosidad en la rugosidad superficial.	
Correlación de Pearson	Gráfico
SAE 20W50 vs GIRASOL vs OLIVA	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(TTT07ACEITESMQLCO2\$`Índice de vi [1] -0.9045312</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 75. Correlación de Pearson de la TTT07 con método de lubricación MQL con concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO₂ y método de enfriamiento criogénico por CO₂ de la influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante en la rugosidad superficial.

TTT07 con método de lubricación MQL con concentración del 0.5 % de nanopartículas de TiO ₂ y método de enfriamiento criogénico por CO ₂ , correlación del índice de viscosidad en la rugosidad superficial.	
Correlación de Pearson	Gráfico
SAE 20W50 vs GIRASOL vs OLIVA	
<pre>ERROR: objeto 'TTT07ACEITESMQLCO2' no e > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(TTT07ACEITESMQL50TCO2\$`Índice de [1] -0.4830007</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	

3.4.2. Influencia del método híbrido y nanopartículas en la rugosidad.

Tabla 76. Codificación para realizar el análisis correlacional de la TTT07.

Caso	Codificación
Seco	0
MQL	1
MQL + TiO ₂	2
MQL + CO ₂	3
MQL + TiO ₂ + CO ₂	4

Tabla 77. Correlación de Pearson de la TTT07 del aceite SAE20W50 con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO₂ y MQL+0.5%TiO₂+CO₂.

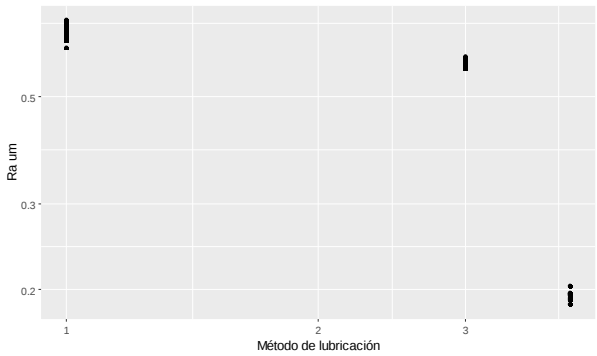
TTT07 del aceite SAE20W50 con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO ₂ y MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂ .	
Correlación de Pearson	Gráfico
MQL vs MQL+CO ₂ vs MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(TTT07MQLSAE20W50\$`Método de lub [1] -0.8292219</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 78. Correlación de Pearson de la TTT07 del aceite de girasol con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO₂ y MQL+0.5%TiO₂+CO₂.

TTT07 del aceite de girasol con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO ₂ y MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂ .	
Correlación de Pearson	Gráfico
MQL vs MQL+CO ₂ vs MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂	

TTT07 del aceite de girasol con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO2 y MQL+0.5%TiO2+CO2.	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(TTT07MQLACEITEGIRASOL\$`Método de [1] -0.773281</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 79. Correlación de Pearson de la TTT07 del aceite de oliva con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO2 y MQL+0.5%TiO2+CO2.

TTT07 del aceite de oliva con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO2 y MQL+0.5%TiO2+CO2.	
Correlación de Pearson	Gráfico
MQL vs MQL+CO2 vs MQL+0.5%TiO2+CO2	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(TTT07MQLACEITEOLIVA\$`Método de [1] -0.8075102</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

3.4.3. Influencia de la concentración de nano partículas en la rugosidad.

Se realizó el análisis correlacional de la TTT02, en donde varió la concentración en peso de nano partículas de TiO2 de 0%, 0.25%, 0.5% y 1%.

Tabla 80. Correlación de Pearson de la TTT02 a concentraciones de 0, 0.25, 0.5 y 1 por ciento de nanopartículas de TiO₂ en el sistema MQL.

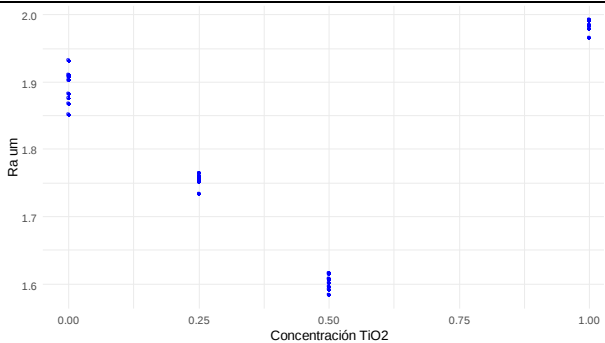
TTT02 a distintas concentraciones de nanopartículas de TiO ₂ en el sistema MQL.	
Correlación de Pearson	Gráfico
0% vs 0.25% vs 05% vs 1% de TiO ₂	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(BCDE1\$`Porcentaje de TiO2`, BCDE [1] 0.2782231</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia DÉBIL	

Tabla 81. Correlación de Pearson de la TTT02 a concentraciones de 0, 0.25, 0.5 y 1 por ciento de nanopartículas de TiO₂ en el sistema MQL.

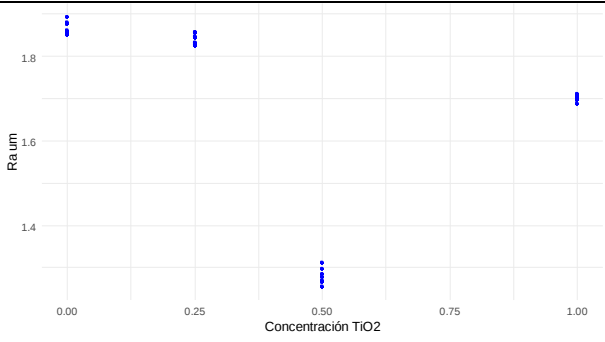
TTT02 a distintas concentraciones de nanopartículas de TiO ₂ en el sistema MQL.	
Correlación de Pearson	Gráfico
0% vs 0.25% vs 05% vs 1% de TiO ₂	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(BCDE2\$`Porcentaje de TiO2`, BCD [1] -0.3620088</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	

Tabla 82. Correlación de Pearson de la TTT02 a concentraciones de 0, 0.25, 0.5 y 1 por ciento de nanopartículas de TiO₂ en el sistema MQL.

TTT02 a distintas concentraciones de nanopartículas de TiO ₂ en el sistema MQL.	
Correlación de Pearson	Gráfico
0% vs 0.25% vs 05% vs 1% de TiO ₂	

TTT02 a distintas concentraciones de nanopartículas de TiO2 en el sistema MQL.	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(BCDE3\$`Porcentaje de TiO2`, BCDE [1] -0.2209262</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

Tabla 83. Correlación de Pearson de la TTT02 a concentraciones de 0, 0.25, 0.5 y 1 por ciento de nanopartículas de TiO2 en el sistema MQL.

TTT02 a distintas concentraciones de nanopartículas de TiO2 en el sistema MQL.	
Correlación de Pearson	Gráfico
0% vs 0.25% vs 05% vs 1% de TiO2	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(BCDE4\$`Porcentaje de TiO2`, BCDI [1] -0.4456133</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

3.4.4. Influencia de la lubricación híbrida en la rugosidad.

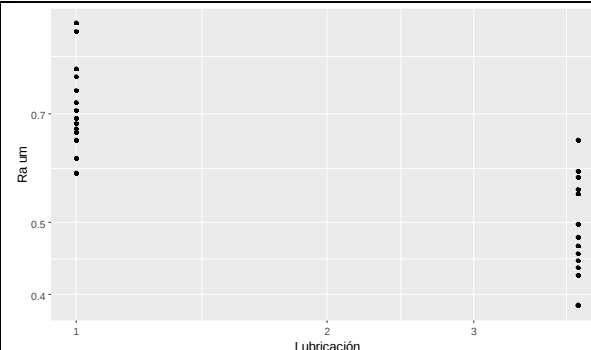
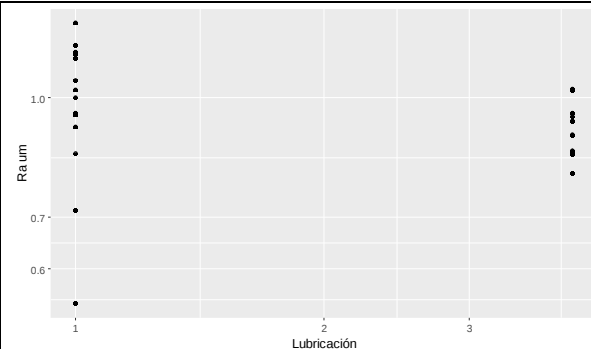
Se realizó el análisis correlacional, pero al comprar dos variables, una cualitativa y otra cuantitativa, se codificaron los casos en la Tabla 84 para realizar el análisis correlacional:

Tabla 84. Codificación para realizar el análisis correlacional de la TTF06.

Caso	Codificación
Seco	0
MQL	1
MQL + TiO2	2

Caso	Codificación
MQL + CO2	3
MQL + TiO2 + CO2	4
MQL + Al2O3 + CO2	5

Tabla 85. Correlación de Pearson de la TTF06 de la influencia de la lubricación híbrida en la rugosidad.

TTF06 a distintos métodos de lubricación.	
Correlación de Pearson	Gráfico
Caso 1 y Caso 4	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(AB1\$`Lubricación`, AB1\$`Ra um`) [1] -0.8102697</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
Caso 1 y Caso 5	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(AB2\$`Lubricación`, AB2\$`Ra um`) [1] -0.2860267</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL	
Caso 1 y Caso 5	

TTF06 a distintos métodos de lubricación.	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON > cor(CD1\$`Lubricación`, CD1\$`Ra um`) [1] -0.5172765</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
Caso 1 y Caso 5	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON > cor(CD2\$`Lubricación`, CD2\$`Ra um`) [1] -0.4406802</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	

3.4.5. Influencia de los ángulos de incidencia del fluido y número de racores en la rugosidad.

3.4.5.1. Influencia del ángulo de incidencia en la rugosidad

Se realizó la correlación que nos indica la influencia del ángulo de incidencia, la tesis con la que se trabajó fue la TTF04.

Tabla 86. Correlación de Pearson de la TTF04 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO₂ y método criogénico con CO₂ de la influencia del ángulo de incidencia en la rugosidad superficial.

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en la rugosidad	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001 vs A009	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en la rugosidad

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre> - - > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A001vsA009\$`Angulo de incidencia [1] -0.841596 </pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A002 vs A010	
<pre> > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A002vsA010\$`Angulo de incidencia [1] -0.9848302 </pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A003 vs A011	
<pre> > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A003vsA011\$`Angulo de incidencia [1] -0.8192032 </pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A004 vs A012	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en la rugosidad

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A004vsA012\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.8873337</pre>	

La correlación es **NEGATIVA** y de incidencia **FUERTE**

A005 vs A013	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A005vsA013\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.9417755</pre>	

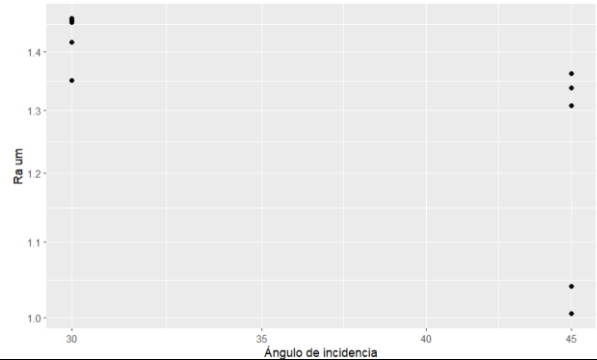
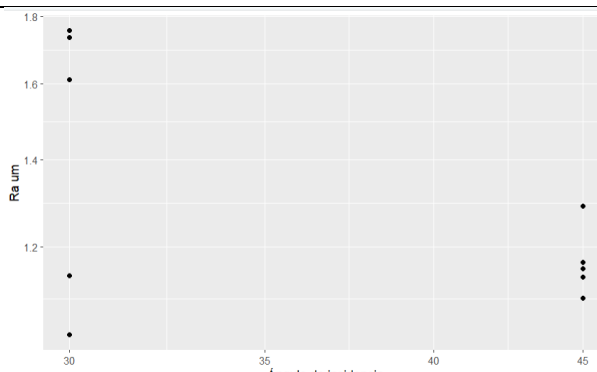
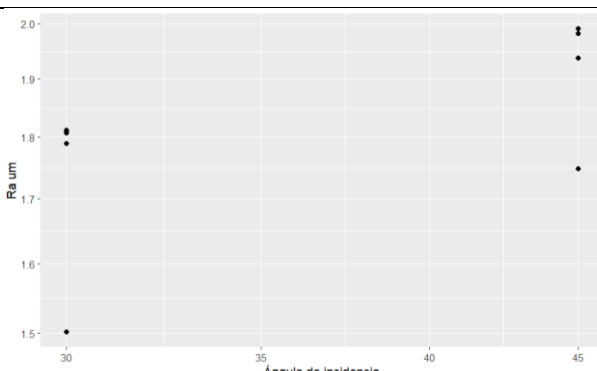
La correlación es **NEGATIVA** y de incidencia **FUERTE**

A006 vs A014	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A006vsA014\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.7620647</pre>	

La correlación es **NEGATIVA** y de incidencia **FUERTE**

A007 vs A015	
--------------	--

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en la rugosidad

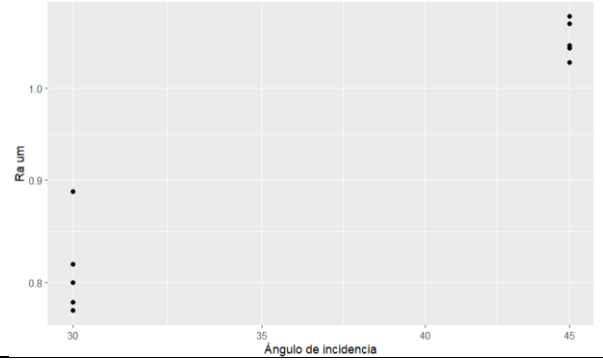
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A007vsA015\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.6912714</pre>	 Scatter plot showing the correlation between Ra um (Y-axis, ranging from 1.0 to 1.4) and Ángulo de incidencia (X-axis, ranging from 30 to 45). The data points show a negative correlation, with Ra um values generally decreasing as the angle increases.
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A008 vs A016	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A008vsA016\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.5387437</pre>	 Scatter plot showing the correlation between Ra um (Y-axis, ranging from 1.2 to 1.8) and Ángulo de incidencia (X-axis, ranging from 30 to 45). The data points show a negative correlation, with Ra um values generally decreasing as the angle increases.
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A017 vs A025	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A017vsA025\$`Ángulo de incidencia` [1] 0.6032325</pre>	 Scatter plot showing the correlation between Ra um (Y-axis, ranging from 1.5 to 2.0) and Ángulo de incidencia (X-axis, ranging from 30 to 45). The data points show a positive correlation, with Ra um values generally increasing as the angle increases.
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A018 vs A026	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO₂ y método criogénico con CO₂ de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en la rugosidad

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A018vsA026\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.1137</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL	
A019 vs A027	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A019vsA027\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.9576957</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A020 vs A028	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A020vsA028\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.4185024</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	
A021 vs A029	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en la rugosidad

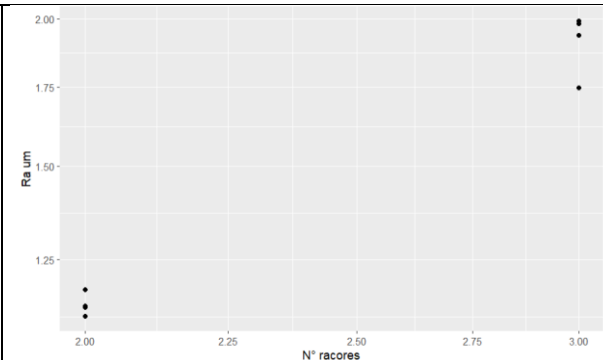
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A021vsA029\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.9366581</pre>	Scatter plot showing the correlation between Ra um (Y-axis, ranging from 1.25 to 2.00) and Ángulo de incidencia (X-axis, ranging from 30 to 45). The data points show a strong negative correlation, with Ra um values decreasing as the angle increases.
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A022 vs A030	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A022vsA030\$`Ángulo de incidencia` [1] 0.7818713</pre>	Scatter plot showing the correlation between Ra um (Y-axis, ranging from 1.35 to 1.55) and Ángulo de incidencia (X-axis, ranging from 30 to 45). The data points show a strong positive correlation, with Ra um values increasing as the angle increases.
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A023 vs A031	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A023vsA031\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.9485556</pre>	Scatter plot showing the correlation between Ra um (Y-axis, ranging from 1.4 to 1.7) and Ángulo de incidencia (X-axis, ranging from 30 to 45). The data points show a strong negative correlation, with Ra um values decreasing as the angle increases.
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A024 vs A032	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en la rugosidad	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A024vsA032\$`Ángulo de incidencia` [1] 0.9674223</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	

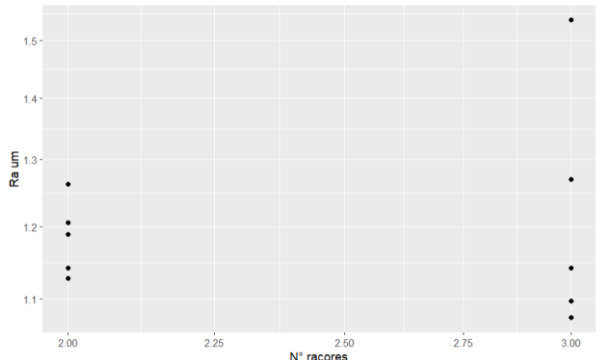
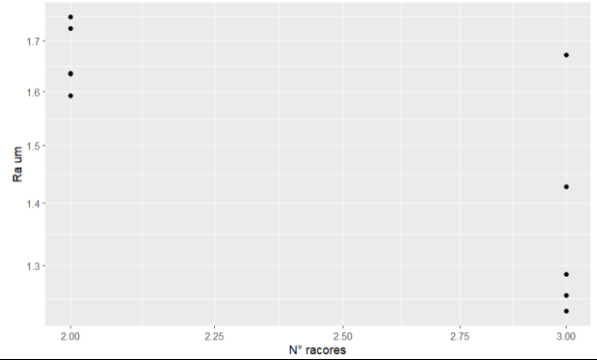
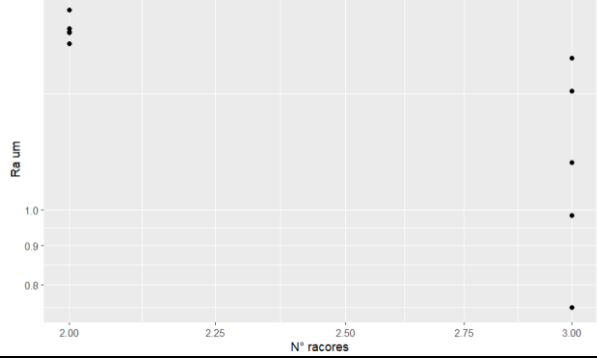
Se nota una interferencia al cambiar el ángulo de incidencia por lo que ya no hay una correlación consistente por lo que mejora o perjudica en algunos casos, sería necesario realizar más investigaciones controladas de esta influencia.

3.4.5.2. Influencia del número de racores en la rugosidad

Tabla 87. Correlación de Pearson de la TTF04 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO₂ y método criogénico con CO₂ de la influencia del número de racores en la rugosidad superficial.

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ de correlación de la influencia del número de racores en la rugosidad	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001 vs A017	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A001vsA017\$`N° racores`, A001vsA [1] 0.9843672</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A002 vs A018	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO₂ y método criogénico con CO₂ de correlación de la influencia del número de racores en la rugosidad

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A002vsA018\$`N° racores`, A002vsA018\$`Ra um`) [1] 0.1540999</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia DÉBIL	
A003 vs A019	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A003vsA019\$`N° racores`, A003vsA019\$`Ra um`) [1] -0.7648508</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A004 vs A020	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A004vsA020\$`N° racores`, A004vsA020\$`Ra um`) [1] -0.7825884</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A005 vs A021	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en la rugosidad

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A005vsA021\$`N° racores`, A005vsA021\$`Ra um`) [1] -0.1180722</pre>	

La correlación es **NEGATIVA** y de incidencia **DÉBIL**

A006 vs A022	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A006vsA022\$`N° racores`, A006vsA022\$`Ra um`) [1] 0.9818231</pre>	

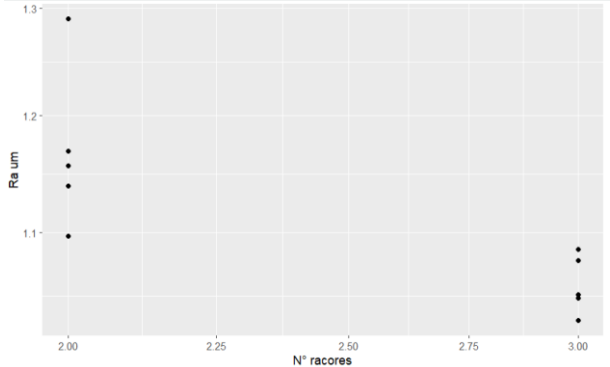
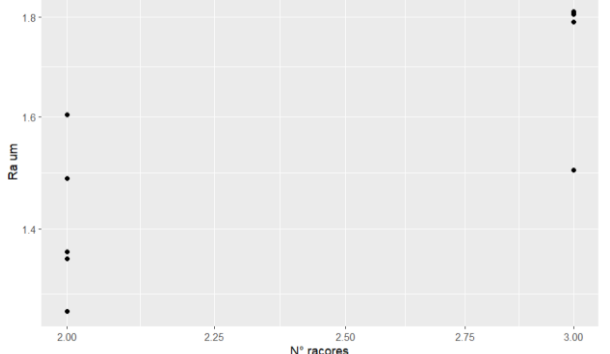
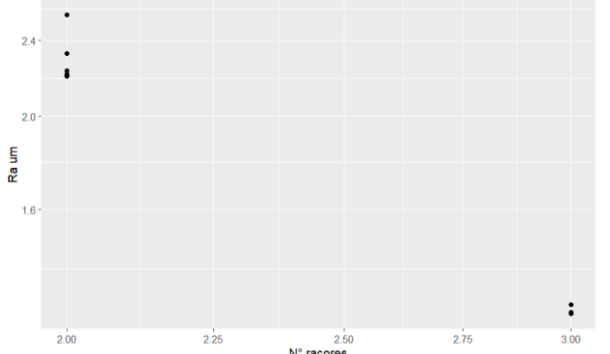
La correlación es **POSITIVA** y de incidencia **FUERTE**

A007 vs A023	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A007vsA023\$`N° racores`, A007vsA023\$`Ra um`) [1] 0.596107</pre>	

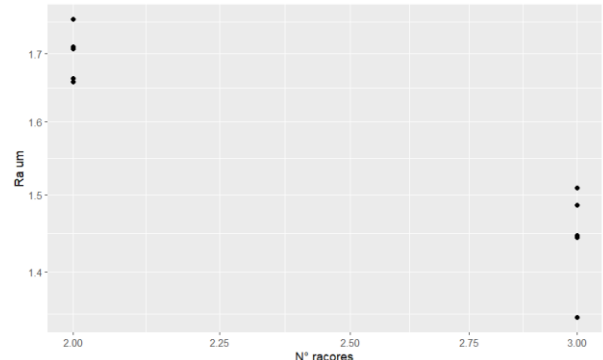
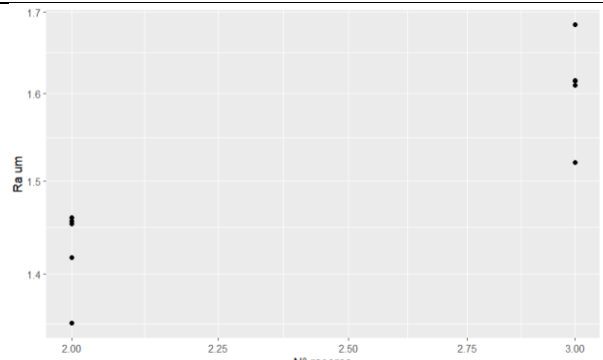
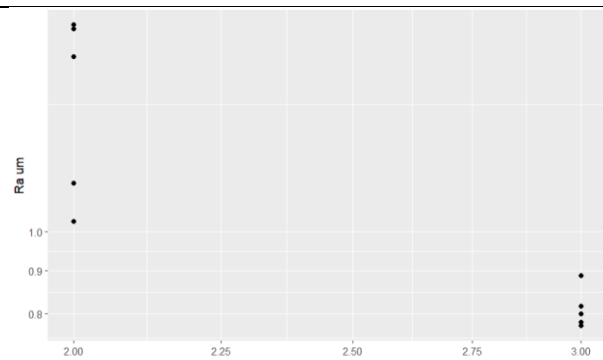
La correlación es **POSITIVA** y de incidencia **FUERTE**

A008 vs A024	
--------------	--

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en la rugosidad

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A008vsA024\$`N° racores`, A008vsA024\$`Ra um`) [1] -0.7601033</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A009 vs A025	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A009vsA025\$`N° racores`, A009vsA025\$`Ra um`) [1] 0.809654</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A010 vs A026	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A010vsA026\$`N° racores`, A010vsA026\$`Ra um`) [1] -0.984776</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A011 vs A027	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en la rugosidad	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A011vsA027\$`N° racores`, A011vsA027\$`Ra um`) [1] 0.9259599</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A012 vs A028	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A012vsA028\$`N° racores`, A012vsA028\$`Ra um`) [1] -0.7128561</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A013 vs A029	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A013vsA029\$`N° racores`, A013vsA029\$`Ra um`) [1] 0.9742525</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A014 vs A030	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en la rugosidad	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A014vsA030\$`N° racores`, A014vsA030\$`Ra um`) [1] -0.9376322</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A015 vs A031	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A015vsA031\$`N° racores`, A015vsA031\$`Ra um`) [1] 0.888494</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A016 vs A032	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A016vsA032\$`N° racores`, A016vsA032\$`Ra um`) [1] -0.8254396</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

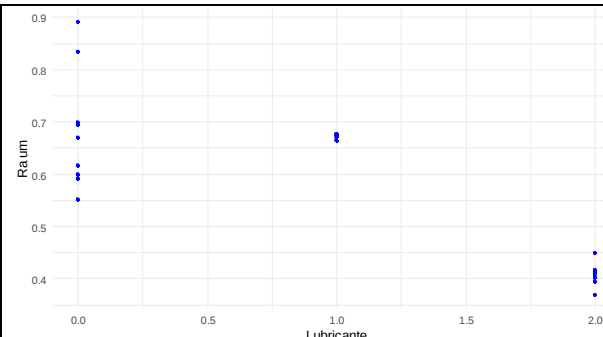
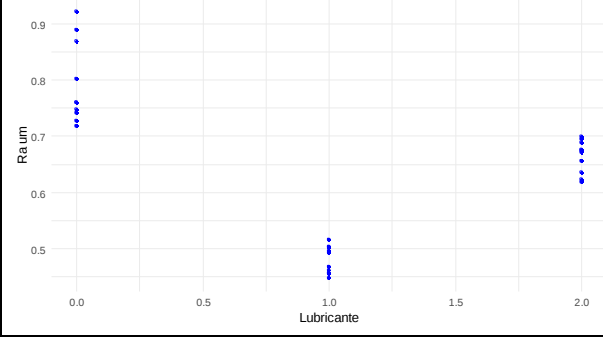
Se nota una interferencia al aumentar un racor por lo que ya no hay una correlación consistente por lo que mejora o perjudica en algunos casos, sería necesario realizar más investigaciones controladas de esta influencia.

3.4.6. Influencia de los líquidos iónicos en la rugosidad superficial.

Tabla 88. Codificación para realizar el análisis correlacional de la TTF05.

Caso	Codificación
Seco	0
MQL + 1BF4	1
MQL + 1PF6	2

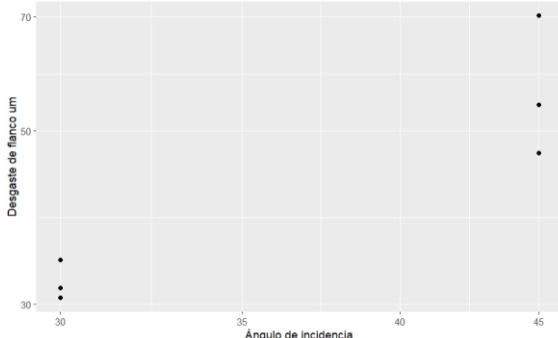
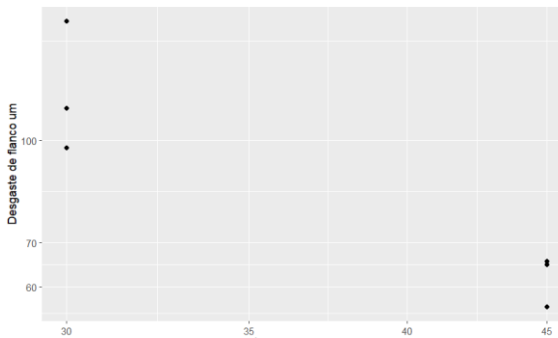
Tabla 89. Correlación de Pearson de la influencia de los líquidos iónicos en la rugosidad superficial.

TTF05 Correlaciones de los líquidos iónicos en la rugosidad superficial.	
Correlación de Pearson	Gráfico
Caso 0 vs Caso 1 vs Caso 2	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(ABC1\$`Lubricación`, ABC1\$`Ra um`) [1] -0.7858462</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
Caso 0 vs Caso 1 vs Caso 2	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(ABC2\$`Lubricación`, ABC2\$`Ra um`) [1] -0.3880759</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	

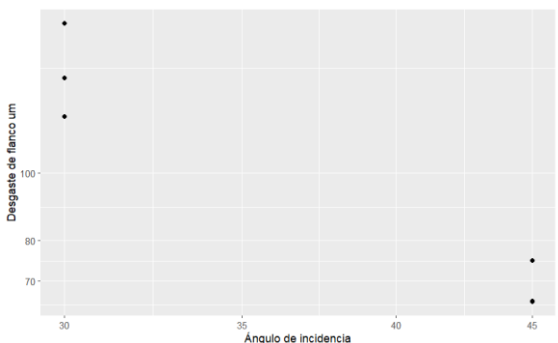
3.5. Influencia del ángulo de incidencia y número de racores en el desgaste de flanco

3.5.1. Influencia de los ángulos de incidencia en la evolución del desgaste

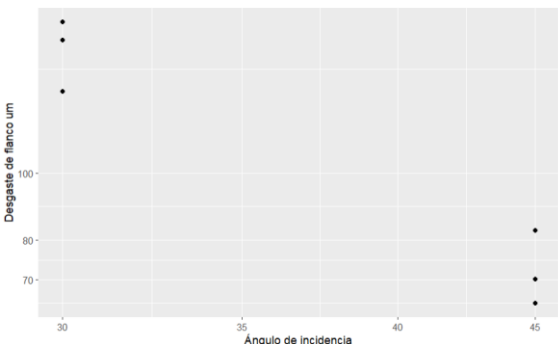
Tabla 90. Correlación de Pearson de la TTF04 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO₂ y método criogénico con CO₂ de la influencia del ángulo de incidencia en la evolución del desgaste de flanco.

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ y método criogénico con CO ₂ de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en el desgaste de flanco.	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001 vs A009	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A001vsA009\$`Ángulo de incidencia`, A [1] 0.8721197</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A002 vs A010	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A002vsA010\$`Ángulo de incidencia`, A [1] -0.8696892</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A003 vs A011	

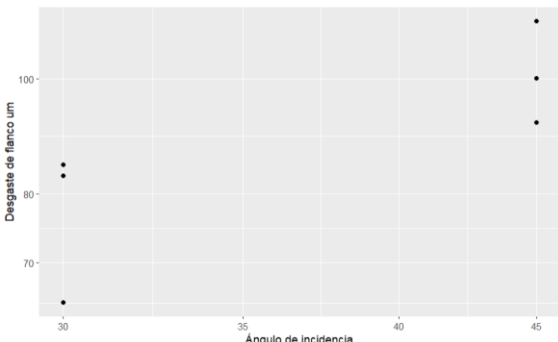
TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en el desgaste de flanco.

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A003vsA011\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.9403101</pre>	

La correlación es **NEGATIVA** y de incidencia **FUERTE**

A004 vs A012	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A004vsA012\$`Ángulo de incidencia` [1] -0.9598435</pre>	

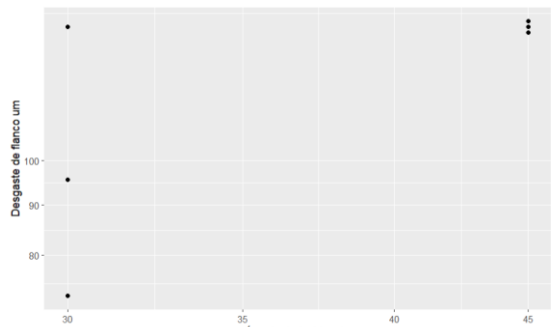
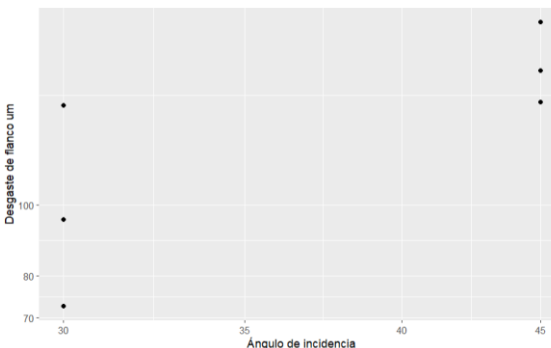
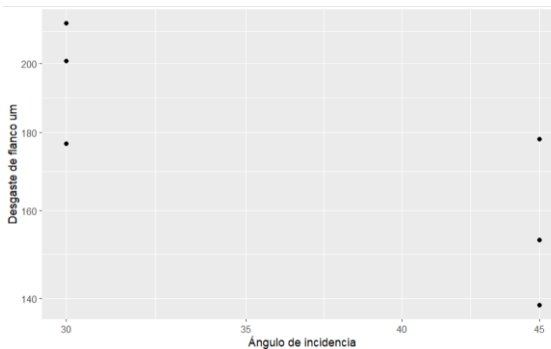
La correlación es **NEGATIVA** y de incidencia **FUERTE**

A005 vs A013	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A005vsA013\$`Ángulo de incidencia`, [1] 0.8111906</pre>	

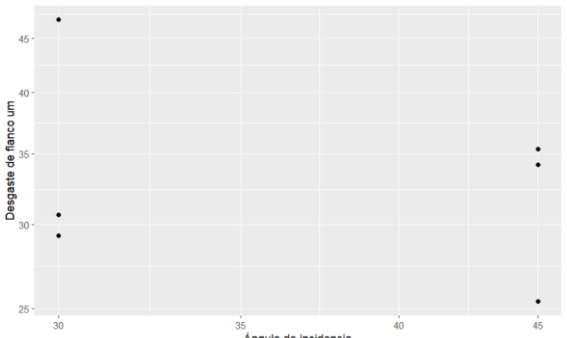
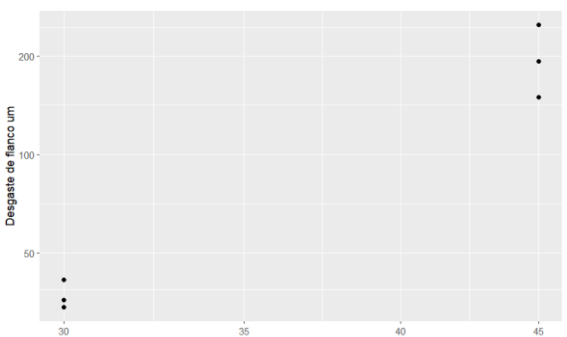
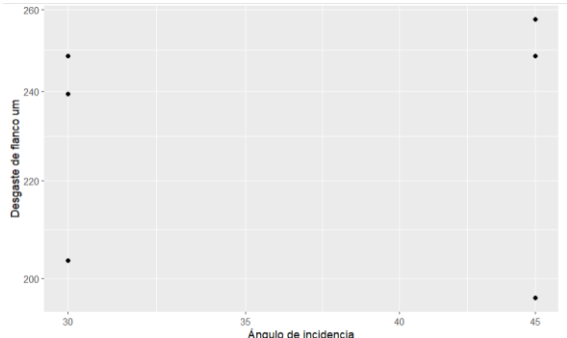
La correlación es **POSITIVA** y de incidencia **FUERTE**

A006 vs A014	
--------------	--

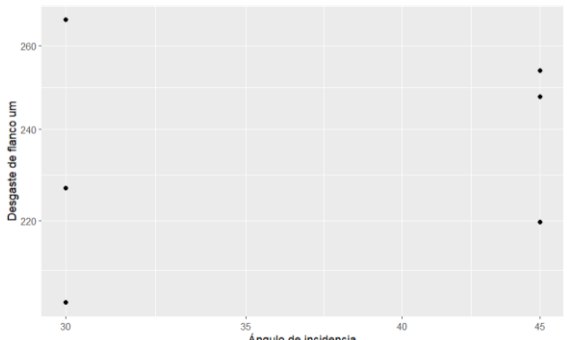
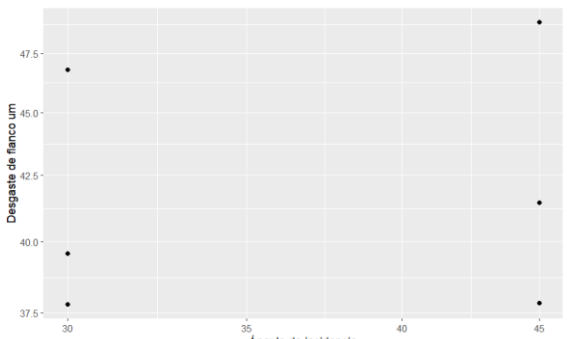
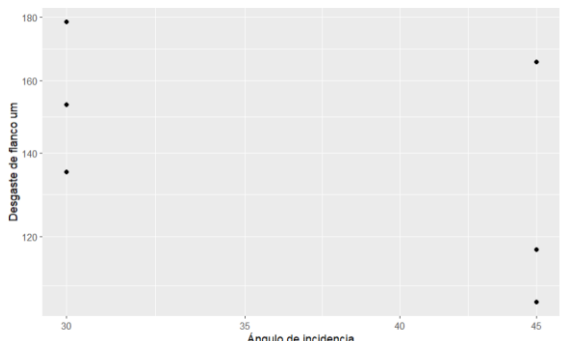
TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en el desgaste de flanco.

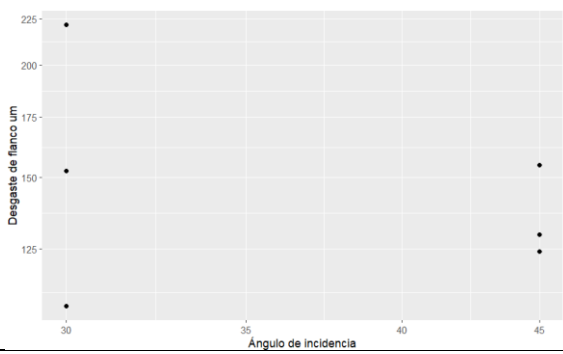
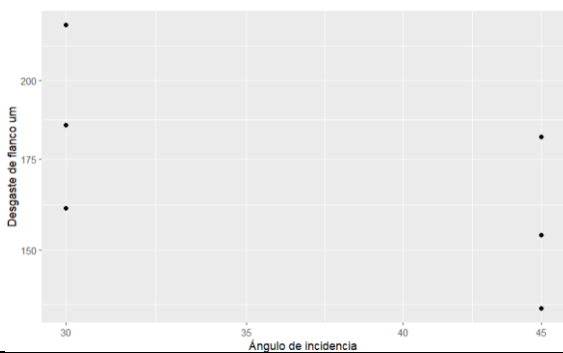
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A006vsA014\$`Ángulo de incidencia`, [1] 0.683112</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A007 vs A015	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A007vsA015\$`Ángulo de incidencia`, A [1] 0.7792675</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A008 vs A016	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A008vsA016\$`Ángulo de incidencia`, [1] -0.7903978</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A017 vs A025	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO₂ y método criogénico con CO₂ de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en el desgaste de flanco.

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre> > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A017vsA025\$`Ángulo de incidencia`, [1] -0.2926772 </pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL	
A018 vs A026	
<pre> > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A018vsA026\$`Ángulo de incidencia`, [1] 0.9408583 </pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A019 vs A027	
<pre> > #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A019vsA027\$`Ángulo de incidencia`, [1] 0.07622958 </pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia NULA	
A020 vs A028	

TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO₂ y método criogénico con CO₂ de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en el desgaste de flanco.

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A020vsA028\$`Angulo de incidencia`, [1] 0.1877357</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia DÉBIL	
A021 vs A029	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A021vsA029\$`Angulo de incidencia`, A [1] 0.1538407</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia DÉBIL	
A022 vs A030	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A022vsA030\$`Angulo de incidencia`, A [1] -0.503299</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A023 vs A031	

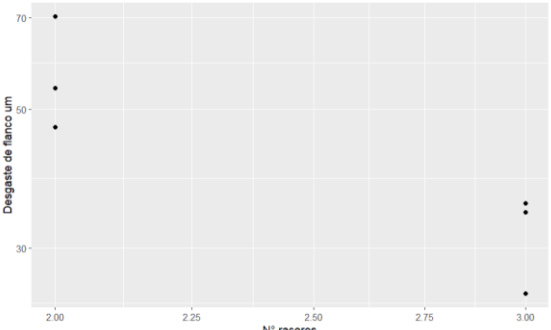
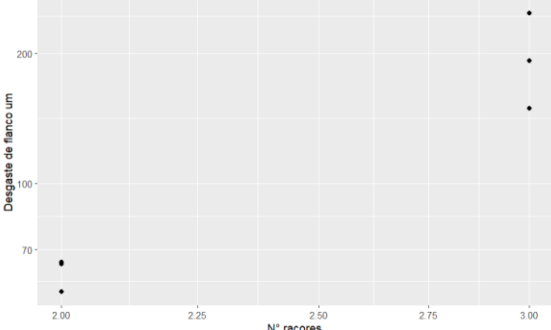
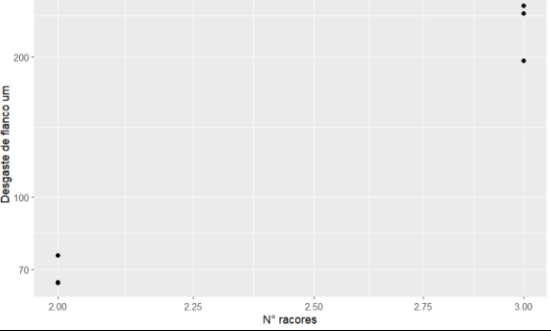
TTF04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del ángulo de incidencia en el desgaste de flanco.	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A023vsA031\$`Ángulo de incidencia`, A023vsA031\$`Desgaste de flanco um`) [1] -0.3350991</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	
A024 vs A032	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A024vsA032\$`Ángulo de incidencia`, A024vsA032\$`Desgaste de flanco um`) [1] -0.5892649</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	

3.5.2. Influencia del número de racores en la evolución del desgaste.

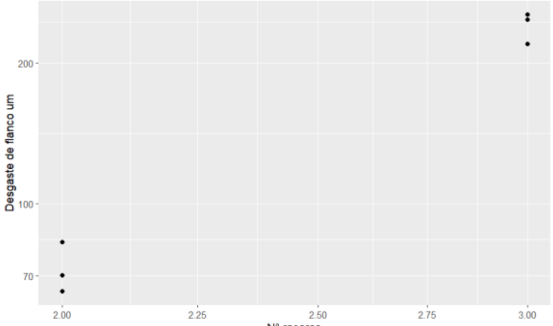
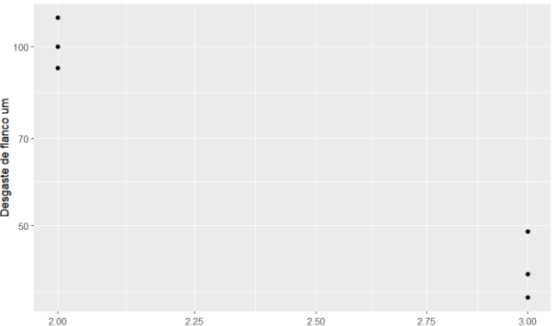
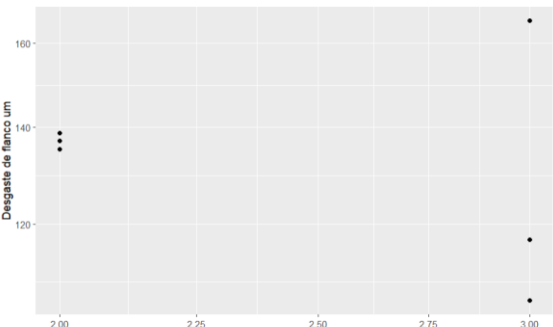
Tabla 91. Correlación de Pearson de la TTF04 con método de lubricación MQL y una concentración de nanopartículas del 0.5% de TiO2 y método criogénico con CO2 de la influencia del número de racores en el desgaste de flanco.

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en el desgaste de flanco.	
Correlación de Pearson	Gráfico
A001 vs A017	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en el desgaste de flanco.

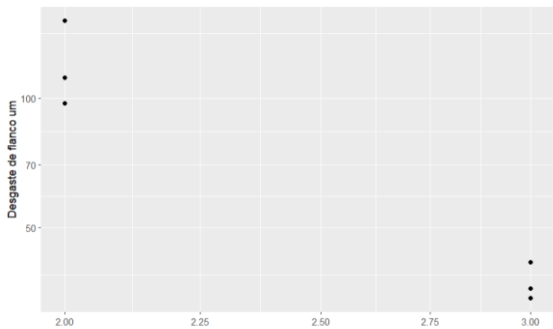
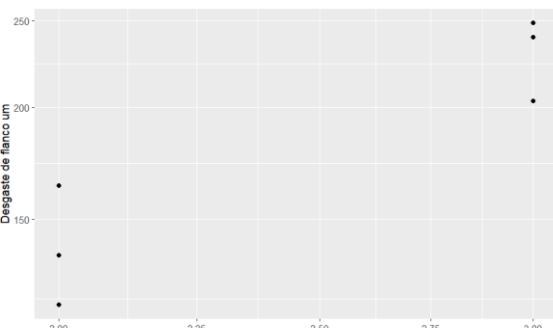
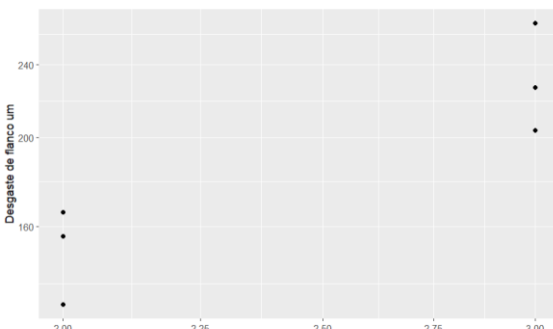
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A001vsA017\$`N° racores`, A001vsA017\$`Desgaste de flanco um`) [1] -0.8581785</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A002 vs A018	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A002vsA018\$`N° racores`, A002vsA018\$`Desgaste de flanco um`) [1] 0.9193747</pre>	
La correlación es POSTIVA y de incidencia FUERTE	
A003 vs A019	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A003vsA019\$`N° racores`, A003vsA019\$`Desgaste de flanco um`) [1] 0.9737296</pre>	
La correlación es POSTIVA y de incidencia FUERTE	
A004 vs A020	

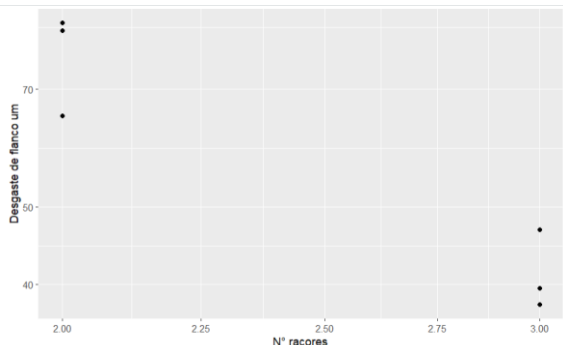
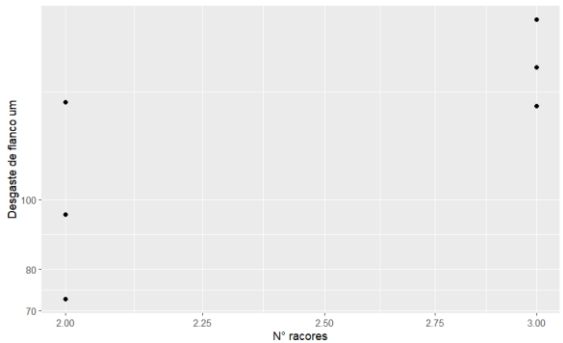
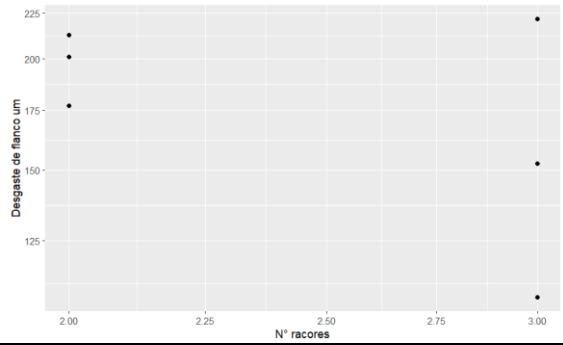
TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en el desgaste de flanco.

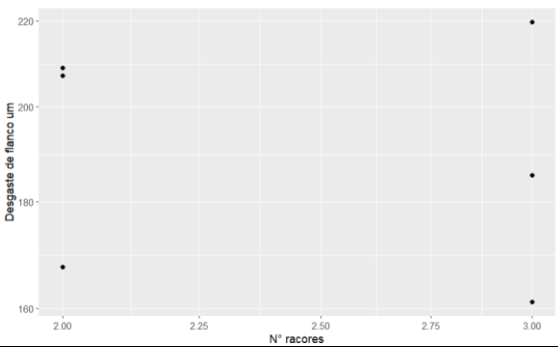
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A004vsA020\$`N° racores`, A004vsA020\$`Desgaste de flanco um`) [1] 0.9903229</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A005 vs A021	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A005vsA021\$`N° racores`, A005vsA021\$`Desgaste de flanco um`) [1] -0.9754611</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A006 vs A022	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A006vsA022\$`N° racores`, A006vsA022\$`Desgaste de flanco um`) [1] -0.1930951</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL	
A007 vs A023	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en el desgaste de flanco.	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A007vsA023\$`N° racores`, A007vsA02 [1] -0.2866011</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL	
A008 vs A024	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A008vsA024\$`N° racores`, A008vsA0 [1] 0.01716423</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia NULA	
A009 vs A025	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A009vsA025\$`N° racores`, A009vsA [1] 0.2924044</pre>	
La correlación es POSTIVA y de incidencia MODERADA	
A010 vs A026	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en el desgaste de flanco.

Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A010vsA026\$`N° racores`, A010vsA026\$`Desgaste de flanco um`) [1] -0.9305795</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A011 vs A027	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A011vsA027\$`N° racores`, A011vsA027\$`Desgaste de flanco um`) [1] 0.9238108</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A012 vs A028	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A012vsA028\$`N° racores`, A012vsA028\$`Desgaste de flanco um`) [1] 0.8880233</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A013 vs A029	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en el desgaste de flanco.	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A013vsA029\$`N° racores`, A013vsA0 [1] -0.9340957</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia FUERTE	
A014 vs A030	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A014vsA030\$`N° racores`, A014vsA [1] 0.7659209</pre>	
La correlación es POSITIVA y de incidencia FUERTE	
A015 vs A031	
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A015vsA031\$`N° racores`, A015vsA [1] -0.4628917</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia MODERADA	
A016 vs A032	

TTT04 con método de lubricación MQL y concentración del 0.5% de nanopartículas de TiO2 y método criogénico con CO2 de correlación de la influencia del número de racores en el desgaste de flanco.	
Correlación de Pearson	Gráfico
<pre>> #Obtener la correlación de PEARSON# > cor(A016vsA032\$`N° racores`, A016vsA0 [1] -0.1303917</pre>	
La correlación es NEGATIVA y de incidencia DÉBIL	

3.6. Análisis

Se realiza un análisis de todos los resultados obtenidos a partir de las correlaciones realizadas, el resumen que indica todos los resultados se plasmó en la Tabla 98 y Tabla 99 de la rugosidad superficial y desgaste de flanco respectivamente.

Para la rugosidad superficial se obtuvieron los siguientes análisis:

- La influencia del radio de punta generó correlaciones negativas y de incidencia fuerte.
- La velocidad de avance generó correlaciones positivas y de incidencia fuerte.
- El índice de viscosidad generó correlaciones negativas y de incidencia fuerte y moderada.
- El método híbrido generó correlaciones negativas y de incidencia fuerte.
- La influencia de concentración de nanopartículas generó una positiva y tres negativas con incidencia débil en la positiva y moderada y fuerte en las negativas.
- La influencia de lubricación híbrida generó correlaciones negativas y de incidencias fuerte moderada y débil.
- La influencia del ángulo de incidencia y número de racores se obtenían correlaciones positivas y negativas con incidencias fuertes moderadas y débiles por lo que es necesario

realizar más estudios acerca del tema ya que los datos obtenidos son muy distantes y aleatorios.

- La influencia de los líquidos iónicos generó correlaciones negativas con incidencias fuerte y moderada.

La Tabla 92 muestra un resumen de como influyen los distintos parámetros estudiados a la rugosidad superficial al momento de realizar un mecanizado:

Tabla 92. Resultado de la incidencia de los parámetros de mecanizado, tipo de lubricación y fluidos iónicos en el mecanizado del acero AISI 304 y 1018, son todos aceros AISI 304 en caso de que no se especifique.

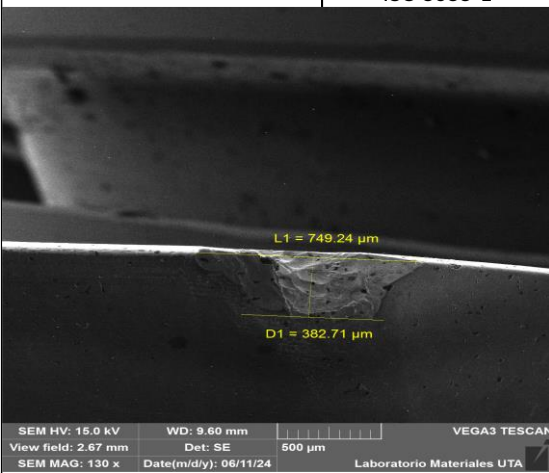
Tipo de influencia	Correlación	Incidencia	Comentario
Radio de punta	Negativa	Fuerte	A MAYOR radio de punta MENOR será el valor de la rugosidad superficial
Velocidad de avance	Positiva	Fuerte	A MAYOR velocidad de avance MAYOR será el valor de la rugosidad superficial
Índice de viscosidad	Negativa	Fuerte/Moderada	A MAYOR índice de viscosidad del fluido refrigerante MENOR será el valor de la rugosidad superficial
Método híbrido (MQL vs MQL+CO ₂ vs MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂)	Negativa	Fuerte	El método de MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂ obtendrá MENOR valor de rugosidad superficial independientemente del tipo de lubricante a utilizar
Concentración de nanopartículas (0% vs 0.25% vs 0.5% vs 1%)	Positiva	Débil	Se determinó que a una concentración de 0.5% de nanopartículas de TiO ₂ se obtienen mejores resultados
	Negativa	Moderada/Fuerte	

Tipo de influencia	Correlación	Incidencia	Comentario
			respecto a las otras concentraciones
Lubricación híbrida (MQL vs MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂)	Negativa	Fuerte/Moderada/Débil	El método de lubricación MQL+0.5%TiO ₂ +CO ₂ tanto en el acero AISI 1018 como en el 304 se obtienen mejores resultados en el acabado sin embargo trabaja mejor con el AISI 304
Líquidos iónicos	Negativa	Fuerte/Moderada	Es necesario más estudios con diferentes velocidades de corte, pero a velocidades de 195 y 235 m/min se obtuvo que el líquido iónico que mejor se desenvolvió fue 1PF6 y 1BF4 respectivamente.

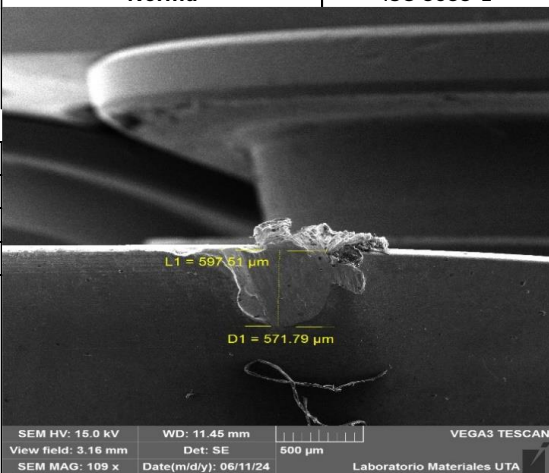
3.7. Toma de datos

Se realizó la toma de datos de las pruebas realizadas con las condiciones de mecanizado mencionadas en Tabla 15 para poder cumplir con los objetivos planteados, que busca analizar de manera integral la influencia de los parámetros de mecanizado y los lubricantes ecoeficientes en la productividad y calidad superficial, para validación de las hipótesis, comparar y discutir los resultados obtenidos con las curvas de Taylor de las investigaciones previamente seleccionadas para el diseño de experimentos y su generalización de resultados, mediante el registro en fichas preestablecidas que especifican los parámetros de mecanizado como su sistema de refrigeración y uso de herramental con las imágenes de los resultados obtenidos bajo el microscopio de barrido.

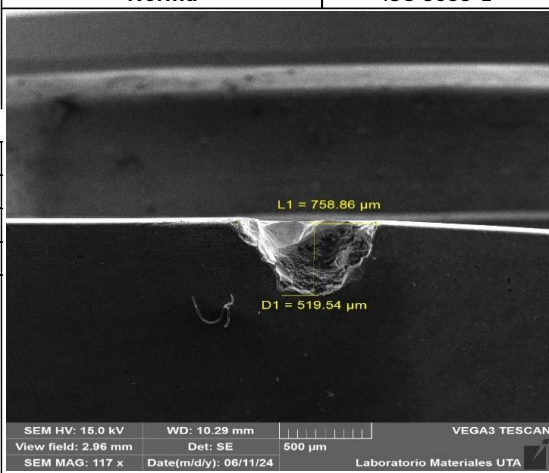
3.7.1. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 1 inserto 1 (Refrigeración con taladrina a 13 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																	
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																			
FRESADO FRONTAL																			
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 1													
Fecha de ejecución (d/m/a)				11/6/2024															
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por		Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																			
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material															
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304															
Grado		YBG 202		Dureza															
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB															
PARÁMETROS DE MECANIZADO																			
Velocidad de corte		230 m/min		Tiempo de mecanizado		13 minutos													
Profundidad de corte axial		0,3 mm																	
Profundidad de corte radial		48 mm																	
Avance		0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo		1160 rpm																	
Velocidad de avance		580 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																			
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido		Soluble oil D													
Proporción		10:01		Ángulo de incidencia		30°													
Caudal		3 l/min		Número de boquillas		1													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																			
		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal													
				<table border="1"> <tr> <td>VM</td> <td>749.24</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>382.71</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1131.95</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>565.98</td> <td>µm</td> </tr> </table>				VM	749.24	µm	VS	382.71	µm	Suma	1131.95	µm	Promedio	565.98	µm
				VM	749.24	µm													
				VS	382.71	µm													
				Suma	1131.95	µm													
				Promedio	565.98	µm													
Observación: Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores no superaron el criterio de vida útil de 0,4 mm pero estan muy proximos.																			

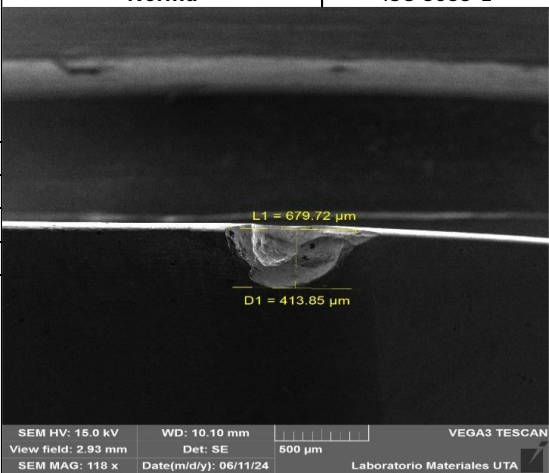
3.7.2. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 1 inserto 2 (Refrigeración con taladrina a 13 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 																	
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																	
FRESADO FRONTAL																	
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 1														
Fecha de ejecución (d/m/a)	11/6/2024																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez														
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																	
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material															
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304															
Grado	YBG 202	Dureza															
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB															
PARÁMETROS DE MECANIZADO																	
Velocidad de corte	230 m/min	Tiempo de mecanizado		13 minutos													
Profundidad de corte axial	0,3 mm																
Profundidad de corte radial	48 mm																
Avance	0,1 mm/diente																
Velocidad de husillo	1160 rpm																
Velocidad de avance	580 mm/min																
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																	
Sistema de lubricación	Inundación	Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:01												
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia	30°												
MEDICIÓN DEL DESGASTE																	
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal														
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VB</td> <td>597.51</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>571.79</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1169.3</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>584.65</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>				VB	597.51	µm	VS	571.79	µm	Suma	1169.3	µm	Promedio	584.65	µm
		VB	597.51	µm													
		VS	571.79	µm													
		Suma	1169.3	µm													
		Promedio	584.65	µm													
Observación: Se observa un desgaste de macro chipping con deformación plástica. Los valores superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.																	

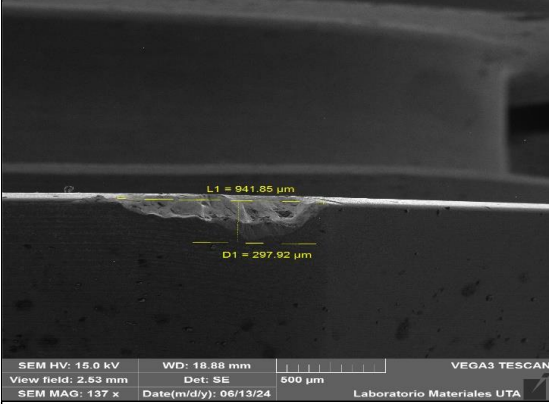
3.7.3. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 1 inserto 3 (Refrigeración con taladrina a 13 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 																	
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																	
FRESADO FRONTAL																	
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 1														
Fecha de ejecución (d/m/a)	11/6/2024																
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM																
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez														
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																	
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material															
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304															
Grado	YBG 202	Dureza															
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB															
PARÁMETROS DE MECANIZADO																	
Velocidad de corte	230 m/min	Tiempo de mecanizado		13 minutos													
Profundidad de corte axial	0,3 mm																
Profundidad de corte radial	48 mm																
Avance	0,1 mm/diente																
Velocidad de husillo	1160 rpm																
Velocidad de avance	580 mm/min																
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																	
Sistema de lubricación	Inundación	Fluido	Soluble oil D	Proporción	10:01												
Caudal	3 l/min	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia	30°												
MEDICIÓN DEL DESGASTE																	
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal														
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VB</td> <td>758.86</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>519.54</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1278.4</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>639.20</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>				VB	758.86	µm	VS	519.54	µm	Suma	1278.4	µm	Promedio	639.20	µm
		VB	758.86	µm													
		VS	519.54	µm													
		Suma	1278.4	µm													
		Promedio	639.20	µm													
Observación:																	
Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.																	

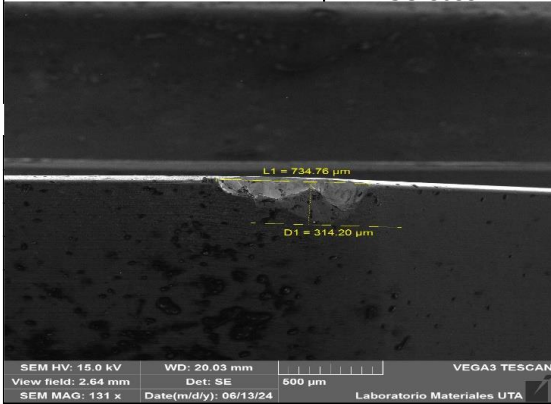
3.7.4. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 1 inserto 4 (Refrigeración con taladrina a 13 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																	
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																			
FRESADO FRONTAL																			
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 1													
Fecha de ejecución (d/m/a)				11/6/2024															
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por		Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																			
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material															
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304															
Grado		YBG 202		Dureza															
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB															
PARÁMETROS DE MECANIZADO																			
Velocidad de corte		230 m/min		Tiempo de mecanizado		13 minutos													
Profundidad de corte axial		0,3 mm																	
Profundidad de corte radial		48 mm																	
Avance		0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo		1160 rpm																	
Velocidad de avance		580 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																			
Sistema de lubricación		Inundación		Fluido		Soluble oil D													
Proporción		10:01		Ángulo de incidencia		30°													
Caudal		3 l/min		Número de boquillas		1													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																			
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal													
				<table border="1"> <tr> <td>VB</td> <td>679.72</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>413.85</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1093.57</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>546.79</td> <td>µm</td> </tr> </table>				VB	679.72	µm	VS	413.85	µm	Suma	1093.57	µm	Promedio	546.79	µm
				VB	679.72	µm													
				VS	413.85	µm													
				Suma	1093.57	µm													
				Promedio	546.79	µm													
Observación: Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.																			

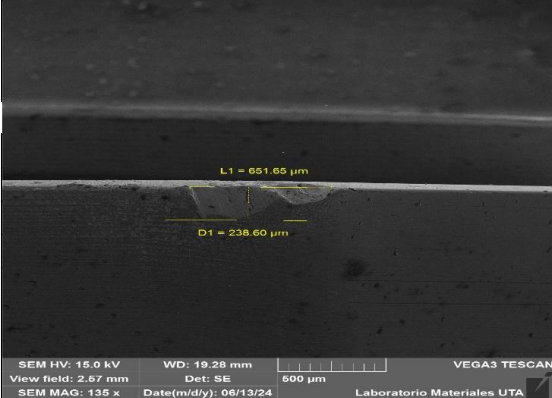
3.7.5. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ fluido criogénico a 34 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA															
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA															
FRESADO FRONTAL															
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2												
Fecha de ejecución (d/m/a)		13/06/2024													
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM														
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez												
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL															
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material													
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304													
Grado	YBG 202	Dureza													
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB													
PARÁMETROS DE MECANIZADO															
Velocidad de corte	290 m/min	Tiempo de mecanizado	34 minutos												
Profundidad de corte axial	0,3 mm														
Profundidad de corte radial	48 mm														
Avance	0,1 mm/diente														
Velocidad de husillo	1465 rpm														
Velocidad de avance	730 mm/min														
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE															
Sistema de lubricación		Híbrido													
NMQL		Criogénico													
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO ₂												
Nanopartículas	TiO ₂ al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares												
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°												
MEDICIÓN DEL DESGASTE															
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal												
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VB</td> <td>941.85</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>297.92</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1239.77</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>619.89</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VB	941.85	µm	VS	297.92	µm	Suma	1239.77	µm	Promedio	619.89	µm
		VB	941.85	µm											
		VS	297.92	µm											
		Suma	1239.77	µm											
		Promedio	619.89	µm											
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB1 . Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0,35 mm.															

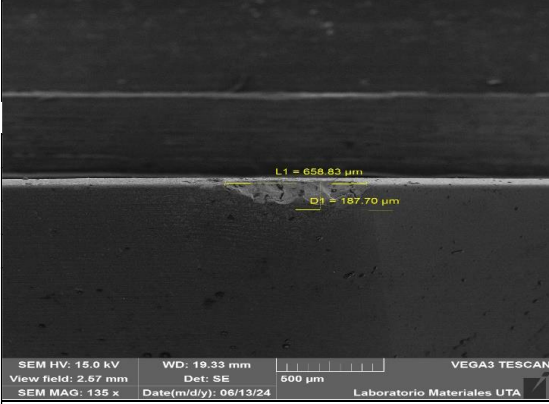
3.7.6. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 2 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ más fluido criogénico 34 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																	
		REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																	
FRESADO FRONTAL																			
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 2													
Fecha de ejecución (d/m/a)				13/06/2024															
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por		Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																			
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material															
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304															
Grado		YBG 202		Dureza															
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB															
PARÁMETROS DE MECANIZADO																			
Velocidad de corte		290 m/min		Tiempo de mecanizado		34 minutos													
Profundidad de corte axial		0,3 mm																	
Profundidad de corte radial		48 mm																	
Avance		0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo		1465 rpm																	
Velocidad de avance		730 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																			
Sistema de lubricación				Híbrido															
NMQL				Criogénico															
Fluido		UNIST COOLUBE 2210XP		Fluido		CO ₂													
Nanopartículas		TiO ₂ al 0,5% en peso		Estado		Líquido Gaseoso													
Caudal		480 ml/h		Flujo másico		0,2 kg/min 0,45 kg/min													
Presión		2 bares		Presión		60 bares													
Ángulo de incidencia		30°		Ángulo de incidencia		45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																			
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal													
				<table border="1"> <tr> <td>VB</td> <td>734.76</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>314.2</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1048.96</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>524.48</td> <td>µm</td> </tr> </table>				VB	734.76	µm	VS	314.2	µm	Suma	1048.96	µm	Promedio	524.48	µm
				VB	734.76	µm													
				VS	314.2	µm													
				Suma	1048.96	µm													
				Promedio	524.48	µm													
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB2 . Los valores no superarán el criterio de vida útil de 1.2 mm.																			

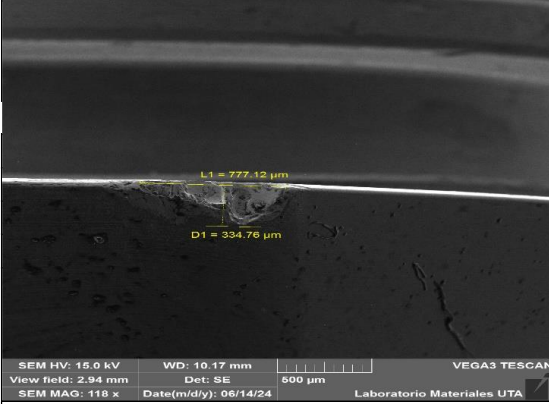
3.7.7. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 3 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ más fluido criogénico a 34 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																	
		REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																	
FRESADO FRONTAL																			
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 2													
Fecha de ejecución (d/m/a)				13/06/2024															
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por		Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																			
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material															
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304															
Grado		YBG 202		Dureza															
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB															
PARÁMETROS DE MECANIZADO																			
Velocidad de corte		290 m/min		Tiempo de mecanizado		34 minutos													
Profundidad de corte axial		0,3 mm																	
Profundidad de corte radial		48 mm																	
Avance		0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo		1465 rpm																	
Velocidad de avance		730 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																			
Sistema de lubricación				Híbrido															
NMQL				Criogénico															
Fluido		UNIST COOLUBE 2210XP		Fluido		CO ₂													
Nanopartículas		TiO ₂ al 0,5% en peso		Estado		Líquido Gaseoso													
Caudal		480 ml/h		Flujo másico		0,2 kg/min 0,45 kg/min													
Presión		2 bares		Presión		60 bares													
Ángulo de incidencia		30°		Ángulo de incidencia		45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																			
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal													
																			
				<table border="1"> <tr> <td>VB</td> <td>651.65</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>238.6</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>890.25</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>445.13</td> <td>µm</td> </tr> </table>				VB	651.65	µm	VS	238.6	µm	Suma	890.25	µm	Promedio	445.13	µm
				VB	651.65	µm													
				VS	238.6	µm													
				Suma	890.25	µm													
Promedio	445.13	µm																	
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB2 . Los valores no superarán el criterio de vida útil de 1.2 mm.																			

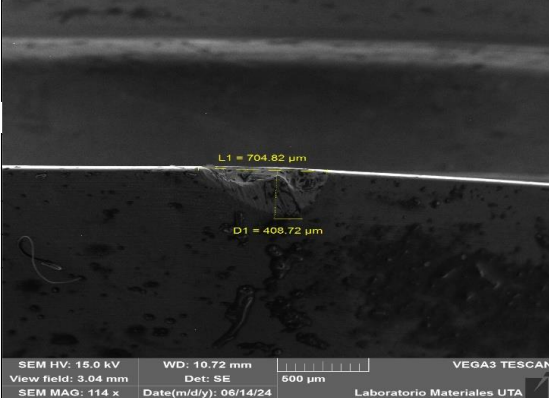
3.7.8. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 4 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ más fluido criogénico a 34 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA															
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																	
FRESADO FRONTAL																	
Tipo de estudio		Experimental		Ítem													
				Experimento 2													
Fecha de ejecución (d/m/a)			13/06/2024														
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM															
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																	
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material													
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304													
Grado		YBG 202		Dureza													
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB													
PARÁMETROS DE MECANIZADO																	
Velocidad de corte		290 m/min		Tiempo de mecanizado 34 minutos													
Profundidad de corte axial		0,3 mm															
Profundidad de corte radial		48 mm															
Avance		0,1 mm/diente															
Velocidad de husillo		1465 rpm															
Velocidad de avance		730 mm/min															
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																	
Sistema de lubricación			Híbrido														
NMQL			Criogénico														
Fluido		UNIST COOLUBE 2210XP		Fluido CO ₂													
Nanopartículas		TiO ₂ al 0,5% en peso		Estado Líquido Gaseoso													
Caudal		480 ml/h		Flujo másico 0,2 kg/min 0,45 kg/min													
Presión		2 bares		Presión 60 bares													
Ángulo de incidencia		30°		Ángulo de incidencia 45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																	
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil Normal													
			<table border="1"> <tr> <td>VB</td> <td>658.83</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>187.7</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>846.53</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>423.27</td> <td>µm</td> </tr> </table>			VB	658.83	µm	VS	187.7	µm	Suma	846.53	µm	Promedio	423.27	µm
			VB	658.83	µm												
			VS	187.7	µm												
			Suma	846.53	µm												
			Promedio	423.27	µm												
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB1 . Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0.35 mm.																	

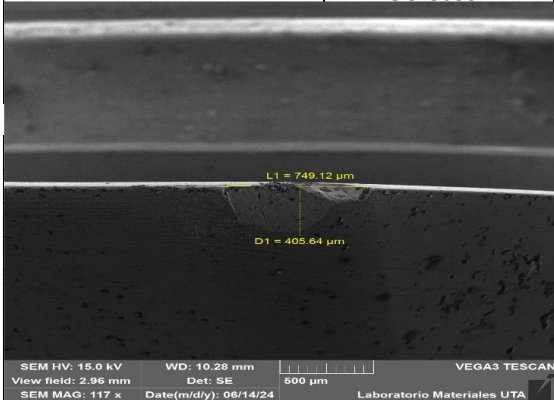
3.7.9. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ más fluido criogénico a 40 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA															
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																	
FRESADO FRONTAL																	
Tipo de estudio		Experimental		Ítem													
				Experimento 2													
Fecha de ejecución (d/m/a)			14/06/2024														
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM															
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																	
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material													
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304													
Grado		YBG 202		Dureza													
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB													
PARÁMETROS DE MECANIZADO																	
Velocidad de corte		290 m/min		Tiempo de mecanizado 40 minutos													
Profundidad de corte axial		0,3 mm															
Profundidad de corte radial		48 mm															
Avance		0,1 mm/diente															
Velocidad de husillo		1465 rpm															
Velocidad de avance		730 mm/min															
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																	
Sistema de lubricación				Híbrido													
NMQL				Criogénico													
Fluido		UNIST COOLUBE 2210XP		Fluido CO ₂													
Nanopartículas		TiO ₂ al 0,5% en peso		Estado Líquido Gaseoso													
Caudal		480 ml/h		Flujo másico 0,2 kg/min 0,45 kg/min													
Presión		2 bares		Presión 60 bares													
Ángulo de incidencia		30°		Ángulo de incidencia 45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																	
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil Normal													
																	
<table border="1"> <tr> <td>VB</td> <td>777.12</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>334.76</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1111.88</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>555.94</td> <td>µm</td> </tr> </table>						VB	777.12	µm	VS	334.76	µm	Suma	1111.88	µm	Promedio	555.94	µm
VB	777.12	µm															
VS	334.76	µm															
Suma	1111.88	µm															
Promedio	555.94	µm															
Observación: Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm, sin embargo esta muy próximo.																	

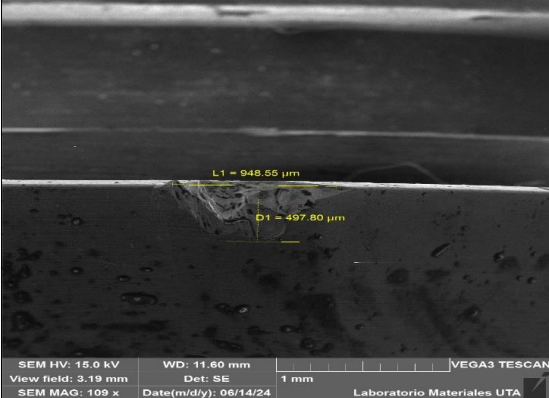
3.7.10. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 2 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ más fluido criogénico a 40 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA															
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																	
FRESADO FRONTAL																	
Tipo de estudio		Experimental		Ítem													
				Experimento 2													
Fecha de ejecución (d/m/a)			14/06/2024														
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM															
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																	
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material													
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304													
Grado		YBG 202		Dureza													
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB													
PARÁMETROS DE MECANIZADO																	
Velocidad de corte		290 m/min		Tiempo de mecanizado 40 minutos													
Profundidad de corte axial		0,3 mm															
Profundidad de corte radial		48 mm															
Avance		0,1 mm/diente															
Velocidad de husillo		1465 rpm															
Velocidad de avance		730 mm/min															
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																	
Sistema de lubricación				Híbrido													
NMQL				Criogénico													
Fluido		UNIST COOLUBE 2210XP		Fluido CO ₂													
Nanopartículas		TiO ₂ al 0,5% en peso		Estado Líquido Gaseoso													
Caudal		480 ml/h		Flujo másico 0,2 kg/min 0,45 kg/min													
Presión		2 bares		Presión 60 bares													
Ángulo de incidencia		30°		Ángulo de incidencia 45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																	
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil Normal													
				<table border="1"> <tr> <td>VB</td> <td>704.62</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>408.72</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1113.34</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>556.67</td> <td>µm</td> </tr> </table>		VB	704.62	µm	VS	408.72	µm	Suma	1113.34	µm	Promedio	556.67	µm
				VB	704.62	µm											
				VS	408.72	µm											
				Suma	1113.34	µm											
				Promedio	556.67	µm											
Observación:																	
Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.																	

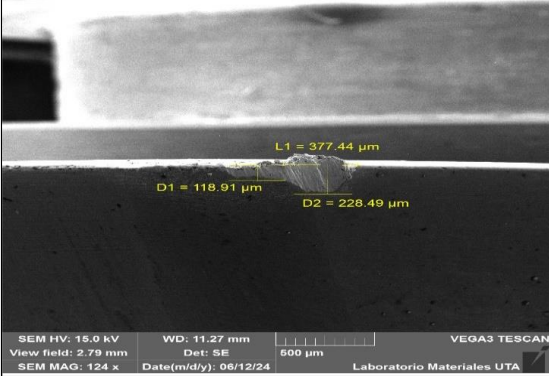
3.7.11. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 3 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ más fluido criogénico a 40 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																	
		REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																	
FRESADO FRONTAL																			
Tipo de estudio		Experimental		Ítem		Experimento 2													
Fecha de ejecución (d/m/a)				14/06/2024															
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																	
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por		Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																			
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material															
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304															
Grado		YBG 202		Dureza															
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB															
PARÁMETROS DE MECANIZADO																			
Velocidad de corte		290 m/min		Tiempo de mecanizado		40 minutos													
Profundidad de corte axial		0,3 mm																	
Profundidad de corte radial		48 mm																	
Avance		0,1 mm/diente																	
Velocidad de husillo		1465 rpm																	
Velocidad de avance		730 mm/min																	
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																			
Sistema de lubricación				Híbrido															
NMQL				Criogénico															
Fluido		UNIST COOLUBE 2210XP		Fluido		CO ₂													
Nanopartículas		TiO ₂ al 0,5% en peso		Estado		Líquido Gaseoso													
Caudal		480 ml/h		Flujo másico		0,2 kg/min 0,45 kg/min													
Presión		2 bares		Presión		60 bares													
Ángulo de incidencia		30°		Ángulo de incidencia		45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																			
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil		Normal													
																			
				<table border="1"> <tr> <td>VB</td> <td>749.12</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>405.64</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1154.76</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>577.38</td> <td>µm</td> </tr> </table>				VB	749.12	µm	VS	405.64	µm	Suma	1154.76	µm	Promedio	577.38	µm
				VB	749.12	µm													
				VS	405.64	µm													
				Suma	1154.76	µm													
Promedio	577.38	µm																	
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB3 . Los valores no superarán el criterio de vida útil de 1 mm.																			

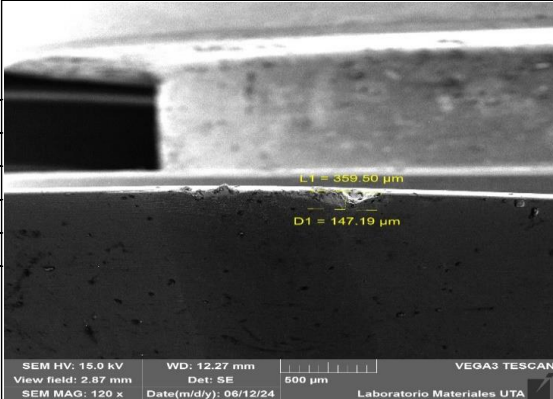
3.7.12. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 2 inserto 4 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ más fluido criogénico a 40 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA															
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA															
FRESADO FRONTAL															
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 2												
Fecha de ejecución (d/m/a)		14/06/2024													
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM														
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez												
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL															
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material													
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304													
Grado	YBG 202	Dureza													
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB													
PARÁMETROS DE MECANIZADO															
Velocidad de corte	290 m/min	Tiempo de mecanizado	40 minutos												
Profundidad de corte axial	0,3 mm														
Profundidad de corte radial	48 mm														
Avance	0,1 mm/diente														
Velocidad de husillo	1465 rpm														
Velocidad de avance	730 mm/min														
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE															
Sistema de lubricación		Híbrido													
NMQL		Criogénico													
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO ₂												
Nanopartículas	TiO ₂ al 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares												
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°												
MEDICIÓN DEL DESGASTE															
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal												
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VB</td> <td>948.55</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>497.8</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1446.35</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>723.18</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VB	948.55	µm	VS	497.8	µm	Suma	1446.35	µm	Promedio	723.18	µm
		VB	948.55	µm											
		VS	497.8	µm											
		Suma	1446.35	µm											
		Promedio	723.18	µm											
Observación:															
Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.															

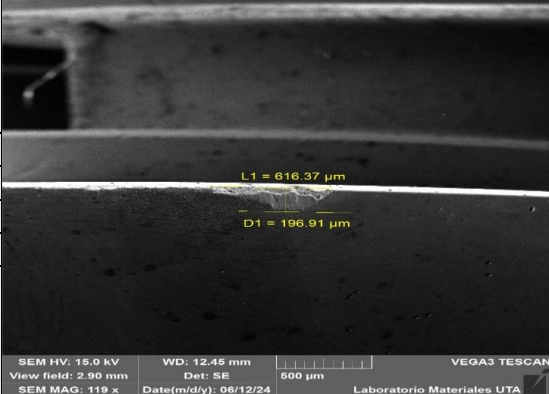
3.7.13. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 1 (Refrigeración con MQL a 26 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA			
FRESADO FRONTAL			
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 3
Fecha de ejecución (d/m/a)		12/6/2024	
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM		
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL			
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material	
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304	
Grado	YBG 202	Dureza	
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB	
PARÁMETROS DE MECANIZADO			
Velocidad de corte	250 m/min	Tiempo de mecanizado	26 minutos
Profundidad de corte axial	0,5 mm		
Profundidad de corte radial	48 mm		
Avance	0,1 mm/diente		
Velocidad de husillo	1260 rpm		
Velocidad de avance	630 mm/min		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE			
Sistema de lubricación		Híbrido	
MQL			
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP		
Nanopartículas	-		
Caudal	480 ml/h		
Presión	2 bares		
Ángulo de incidencia	30°	Numero de boquillas	1
MEDICIÓN DEL DESGASTE			
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal
		VM	377.44 µm
		VB	228.49 µm
		VS	118.91 µm
		Suma	724.84 µm
		Promedio	241.61 µm
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB2 con deformación plástica. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 1.2 mm.			

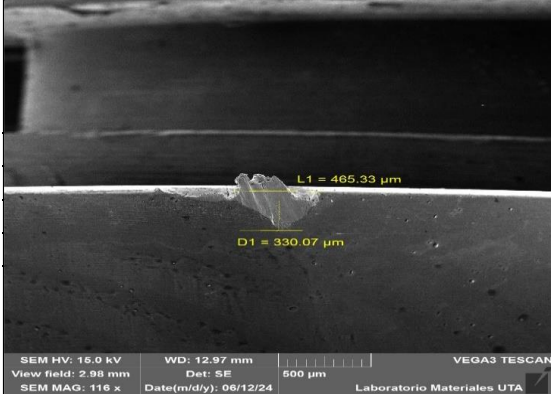
3.7.14. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 2 (Refrigeración con MQL a 26 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA							
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA									
FRESADO FRONTAL									
Tipo de estudio		Experimental		Ítem					
				Experimento 3					
Fecha de ejecución (d/m/a)			12/6/2024						
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM							
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por Ing. Diego Núñez					
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL									
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material					
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304					
Grado		YBG 202		Dureza					
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB					
PARÁMETROS DE MECANIZADO									
Velocidad de corte		250 m/min		Tiempo de mecanizado 26 minutos					
Profundidad de corte axial		0,5 mm							
Profundidad de corte radial		48 mm							
Avance		0,1 mm/diente							
Velocidad de husillo		1260 rpm							
Velocidad de avance		630 mm/min							
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE									
Sistema de lubricación				Híbrido					
MQL									
Fluido		UNIST COOLUBE 2210XP							
Nanopartículas		-							
Caudal		480 ml/h							
Presión		2 bares							
Ángulo de incidencia		30°		Numero de boquillas					
				1					
MEDICIÓN DEL DESGASTE									
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil					
				Normal					
									
						VB		359.5	µm
						VS		147.19	µm
						Suma		506.69	µm
						Promedio		253.35	µm
Observación: Se observa un desgaste de microchipping. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0,25 mm.									

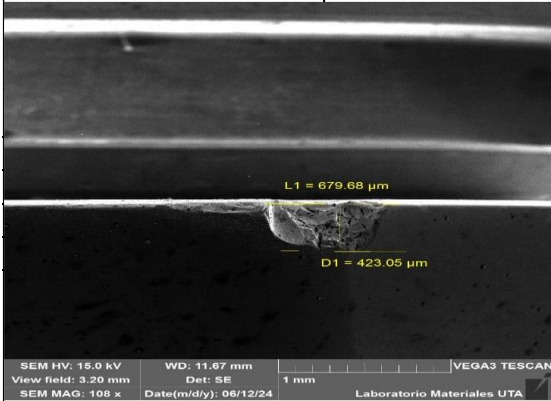
3.7.15. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 3 (Refrigeración con MQL a 26 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA				
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA						
FRESADO FRONTAL						
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 3			
Fecha de ejecución (d/m/a)	12/6/2024					
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM					
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez			
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL						
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material				
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304				
Grado	YBG 202	Dureza				
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB				
PARÁMETROS DE MECANIZADO						
Velocidad de corte	250 m/min	Tiempo de mecanizado		26 minutos		
Profundidad de corte axial	0,5 mm					
Profundidad de corte radial	48 mm					
Avance	0,1 mm/diente					
Velocidad de husillo	1260 rpm					
Velocidad de avance	630 mm/min					
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE						
Sistema de lubricación			Híbrido			
MQL						
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP					
Nanopartículas	-					
Caudal	480 ml/h					
Presión	2 bares					
Ángulo de incidencia	30°	Numero de boquillas	1			
MEDICIÓN DEL DESGASTE						
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal			
						
		VB	616.37	μm		
		VS	196.91	μm		
		Suma	813.28	μm		
		Promedio	406.64	μm		
Observación:						
Se observa un desgaste de flanco VB1. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0.35 mm.						

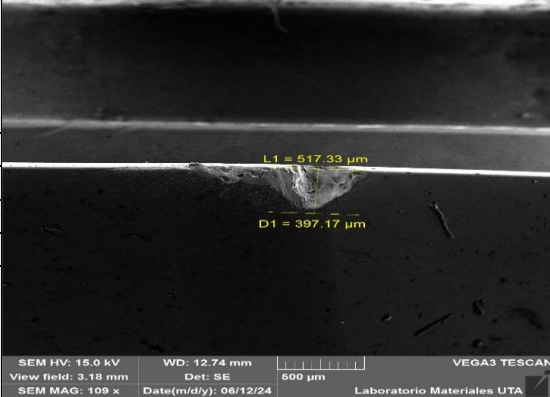
3.7.16. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 4 (Refrigeración con MQL a 26 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA															
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																	
FRESADO FRONTAL																	
Tipo de estudio		Experimental		Ítem													
				Experimento 3													
Fecha de ejecución (d/m/a)			12/6/2024														
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM															
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																	
Portaherramienta		FMA01-063-A22-SE12-05		Material													
Inserto		SEET12T3-DM		Acero inoxidable AISI 304													
Grado		YBG 202		Dureza													
Recubrimiento		PVD nc-TiAlN		190 HB													
PARÁMETROS DE MECANIZADO																	
Velocidad de corte		250 m/min		Tiempo de mecanizado 26 minutos													
Profundidad de corte axial		0,5 mm															
Profundidad de corte radial		48 mm															
Avance		0,1 mm/diente															
Velocidad de husillo		1260 rpm															
Velocidad de avance		630 mm/min															
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																	
Sistema de lubricación				Híbrido													
MQL																	
Fluido		UNIST COOLUBE 2210XP															
Nanopartículas		-															
Caudal		480 ml/h															
Presión		2 bares															
Ángulo de incidencia		30°		Numero de boquillas													
				1													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																	
Norma		ISO 8688-1		Criterio de vida útil													
				Normal													
				<table border="1"> <tr> <td>VB</td> <td>465.33</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>330.07</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>795.4</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>397.70</td> <td>µm</td> </tr> </table>		VB	465.33	µm	VS	330.07	µm	Suma	795.4	µm	Promedio	397.70	µm
				VB	465.33	µm											
				VS	330.07	µm											
				Suma	795.4	µm											
				Promedio	397.70	µm											
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB2 con deformación plástica. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 1.2 mm.																	

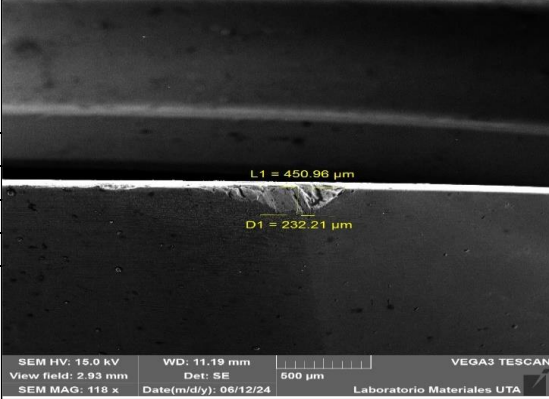
3.7.17. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 1 (Refrigeración con MQL a 30 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 				
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA				
FRESADO FRONTAL				
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 3	
Fecha de ejecución (d/m/a)		12/6/2024		
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM			
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL				
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material		
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304		
Grado	YBG 202	Dureza		
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB		
PARÁMETROS DE MECANIZADO				
Velocidad de corte	250 m/min	Tiempo de mecanizado	30 minutos	
Profundidad de corte axial	0,5 mm			
Profundidad de corte radial	48 mm			
Avance	0,1 mm/diente			
Velocidad de husillo	1260 rpm			
Velocidad de avance	630 mm/min			
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE				
Sistema de lubricación		Híbrido		
MQL				
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP			
Nanopartículas	-			
Caudal	480 ml/h			
Presión	2 bares			
Ángulo de incidencia	30°	Numero de boquillas	1	
MEDICIÓN DEL DESGASTE				
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal	
				
		VB	679.68	µm
		VS	423.05	µm
		Suma	1102.73	µm
		Promedio	551.37	µm
Observación: Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.				

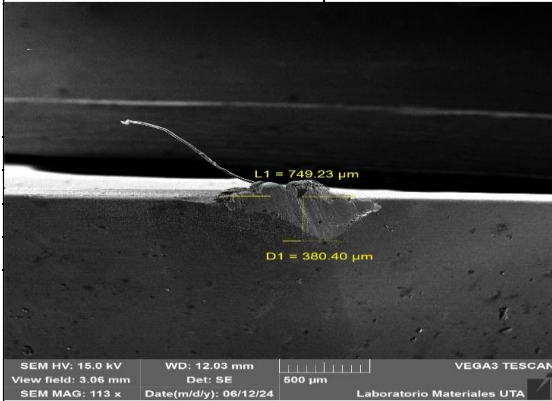
3.7.18. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 2 (Refrigeración con MQL a 30 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 				
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA				
FRESADO FRONTAL				
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 3	
Fecha de ejecución (d/m/a)		12/6/2024		
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM			
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez	
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL				
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material		
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304		
Grado	YBG 202	Dureza		
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB		
PARÁMETROS DE MECANIZADO				
Velocidad de corte	250 m/min	Tiempo de mecanizado	30 minutos	
Profundidad de corte axial	0,5 mm			
Profundidad de corte radial	48 mm			
Avance	0,1 mm/diente			
Velocidad de husillo	1260 rpm			
Velocidad de avance	630 mm/min			
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE				
Sistema de lubricación		Híbrido		
MQL				
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP			
Nanopartículas	-			
Caudal	480 ml/h			
Presión	2 bares			
Ángulo de incidencia	30°	Numero de boquillas	1	
MEDICIÓN DEL DESGASTE				
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal	
				
		VB	517.33	µm
		VS	397.17	µm
		Suma	914.5	µm
		Promedio	457.25	µm
Observación: Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm, sin embargo esta muy próximo.				

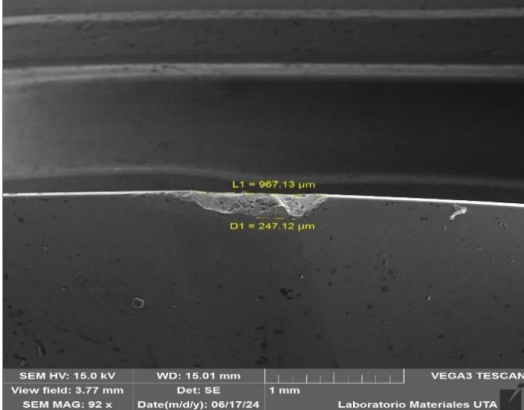
3.7.19. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 3 (Refrigeración con MQL a 30 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA				
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA						
FRESADO FRONTAL						
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 3			
Fecha de ejecución (d/m/a)	12/6/2024					
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM					
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez			
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL						
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material				
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304				
Grado	YBG 202	Dureza				
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB				
PARÁMETROS DE MECANIZADO						
Velocidad de corte	250 m/min	Tiempo de mecanizado		30 minutos		
Profundidad de corte axial	0,5 mm					
Profundidad de corte radial	48 mm					
Avance	0,1 mm/diente					
Velocidad de husillo	1260 rpm					
Velocidad de avance	630 mm/min					
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE						
Sistema de lubricación			Híbrido			
MQL						
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP					
Nanopartículas	-					
Caudal	480 ml/h					
Presión	2 bares					
Ángulo de incidencia	30°	Numero de boquillas	1			
MEDICIÓN DEL DESGASTE						
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal			
						
		VB	450.96	µm		
		VS	232.21	µm		
		Suma	683.17	µm		
		Promedio	341.59	µm		
Observación:						
Se observa un desgaste de flanco VB1. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0.35 mm.						

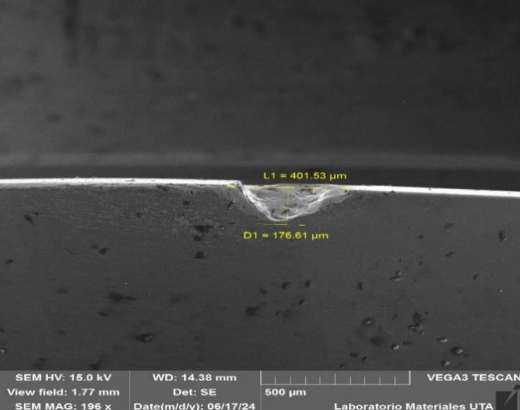
3.7.20. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 3 inserto 4 (Refrigeración con MQL a 24 min) del AISI 30

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA					
FRESADO FRONTAL					
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 3		
Fecha de ejecución (d/m/a)	12/6/2024				
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM				
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez		
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL					
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material			
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304			
Grado	YBG 202	Dureza			
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB			
PARÁMETROS DE MECANIZADO					
Velocidad de corte	250 m/min	Tiempo de mecanizado		30 minutos	
Profundidad de corte axial	0,5 mm				
Profundidad de corte radial	48 mm				
Avance	0,1 mm/diente				
Velocidad de husillo	1260 rpm				
Velocidad de avance	630 mm/min				
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE					
Sistema de lubricación		Híbrido			
MQL					
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP				
Nanopartículas	-				
Caudal	480 ml/h				
Presión	2 bares				
Ángulo de incidencia	30°	Numero de boquillas	1		
MEDICIÓN DEL DESGASTE					
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal		
		VB	749.23	µm	
		VS	380.4	µm	
		Suma	1129.63	µm	
		Promedio	564.82	µm	
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB1 con deformación plástica. Los valores superarán el criterio de vida útil de 0.35 mm.					

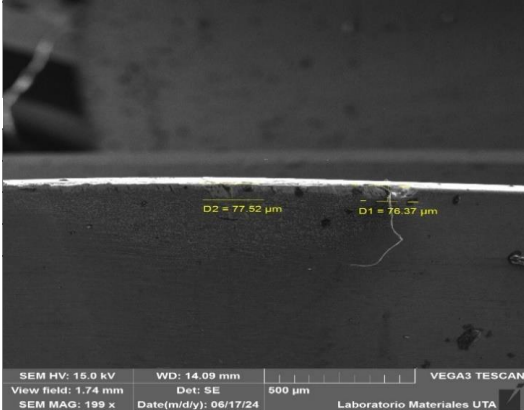
3.7.21. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL Al₂O₃ más fluido criogénico a 18 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 																
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																
FRESADO FRONTAL																
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4													
Fecha de ejecución		17/06/2024														
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM															
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material														
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304														
Grado	YBG 202	Dureza														
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB														
PARÁMETROS DE MECANIZADO																
Velocidad de corte	300 m/min	Tiempo de mecanizado		18 minutos												
Profundidad de corte axial	0,5 mm															
Profundidad de corte radial	48 mm															
Avance	0,1 mm/diente															
Velocidad de husillo	1515 rpm															
Velocidad de avance	750 mm/min															
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																
Sistema de lubricación		Híbrido														
NMQL		Criogénico														
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO ₂													
Nanopartículas	Al ₂ O ₃ 0,5% en peso	Estado	Líquido	Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min	0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares													
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal													
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">VB</td> <td style="text-align: center;">967.13</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VS</td> <td style="text-align: center;">247.12</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Suma</td> <td style="text-align: center;">1214.25</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">607.13</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> </tbody> </table>			VB	967.13	µm	VS	247.12	µm	Suma	1214.25	µm	Promedio	607.13	µm
		VB	967.13	µm												
		VS	247.12	µm												
		Suma	1214.25	µm												
		Promedio	607.13	µm												
Observación: Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.																

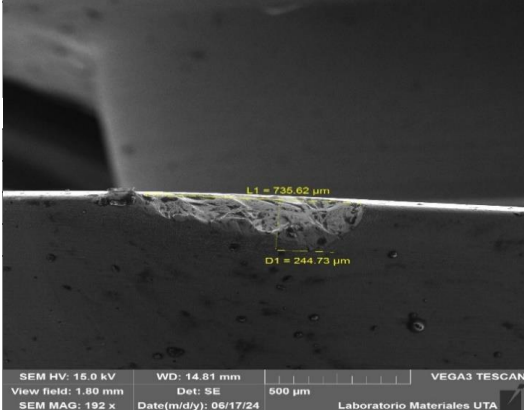
3.7.22. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 2 (Refrigeración con nano MQL Al₂O₃ más fluido criogénico a 18 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA															
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA															
FRESADO FRONTAL															
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4												
Fecha de ejecución		17/06/2024													
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM														
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez												
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL															
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material													
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304													
Grado	YBG 202	Dureza													
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB													
PARÁMETROS DE MECANIZADO															
Velocidad de corte	300 m/min	Tiempo de mecanizado	18 minutos												
Profundidad de corte axial	0,5 mm														
Profundidad de corte radial	48 mm														
Avance	0,1 mm/diente														
Velocidad de husillo	1515 rpm														
Velocidad de avance	750 mm/min														
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE															
Sistema de lubricación		Híbrido													
NMQL		Criogénico													
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO ₂												
Nanopartículas	Al ₂ O ₃ 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares												
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°												
MEDICIÓN DEL DESGASTE															
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal												
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VB</td> <td>401.53</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>176.61</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>578.14</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>289.07</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VB	401.53	µm	VS	176.61	µm	Suma	578.14	µm	Promedio	289.07	µm
VB	401.53	µm													
VS	176.61	µm													
Suma	578.14	µm													
Promedio	289.07	µm													
Observación: Se observa un desgaste de microchipping. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.															

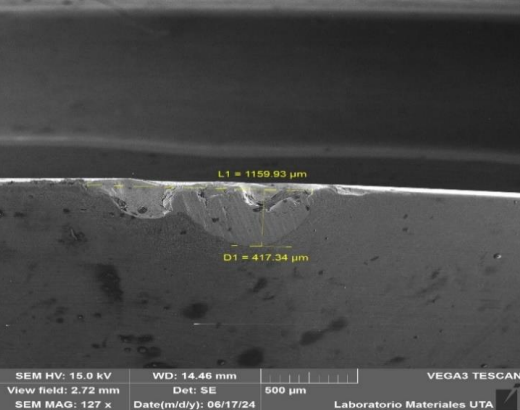
3.7.23. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 3 (Refrigeración con nano MQL Al₂O₃ más fluido criogénico a 18 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 																
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																
FRESADO FRONTAL																
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4													
Fecha de ejecución		17/06/2024														
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM															
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material														
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304														
Grado	YBG 202	Dureza														
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB														
PARÁMETROS DE MECANIZADO																
Velocidad de corte	300 m/min	Tiempo de mecanizado		18 minutos												
Profundidad de corte axial	0,5 mm															
Profundidad de corte radial	48 mm															
Avance	0,1 mm/diente															
Velocidad de husillo	1515 rpm															
Velocidad de avance	750 mm/min															
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																
Sistema de lubricación		Híbrido														
NMQL		Criogénico														
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO2													
Nanopartículas	Al ₂ O ₃ 0,5% en peso	Estado	Líquido	Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min	0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares													
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal													
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">VB</td> <td style="text-align: center;">77.52</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VS</td> <td style="text-align: center;">76.37</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Suma</td> <td style="text-align: center;">153.89</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">76.95</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> </tbody> </table>			VB	77.52	µm	VS	76.37	µm	Suma	153.89	µm	Promedio	76.95	µm
		VB	77.52	µm												
		VS	76.37	µm												
		Suma	153.89	µm												
		Promedio	76.95	µm												
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB1. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0.35 mm.																

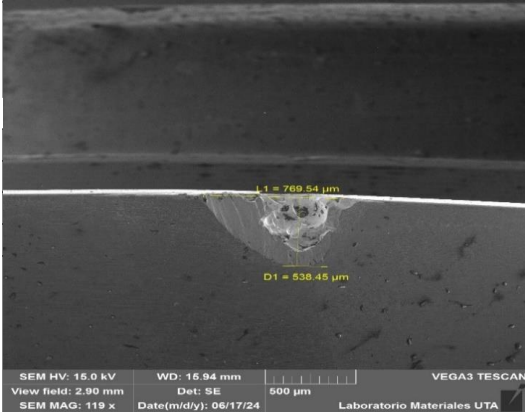
3.7.24. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 4 (Refrigeración con nano MQL Al₂O₃ más fluido criogénico a 18 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 																
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																
FRESADO FRONTAL																
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4													
Fecha de ejecución		17/06/2024														
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM															
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material														
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304														
Grado	YBG 202	Dureza														
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB														
PARÁMETROS DE MECANIZADO																
Velocidad de corte	300 m/min	Tiempo de mecanizado	18 minutos													
Profundidad de corte axial	0,5 mm															
Profundidad de corte radial	48 mm															
Avance	0,1 mm/diente															
Velocidad de husillo	1515 rpm															
Velocidad de avance	750 mm/min															
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																
Sistema de lubricación		Híbrido														
NMQL		Criogénico														
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO ₂													
Nanopartículas	Al ₂ O ₃ 0,5% en peso	Estado	Líquido	Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min	0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares													
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal													
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">VB</td> <td style="text-align: center;">736.62</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VS</td> <td style="text-align: center;">244.73</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Suma</td> <td style="text-align: center;">981.35</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">490.68</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> </tbody> </table>			VB	736.62	µm	VS	244.73	µm	Suma	981.35	µm	Promedio	490.68	µm
		VB	736.62	µm												
		VS	244.73	µm												
		Suma	981.35	µm												
		Promedio	490.68	µm												
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB1. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0.35 mm.																

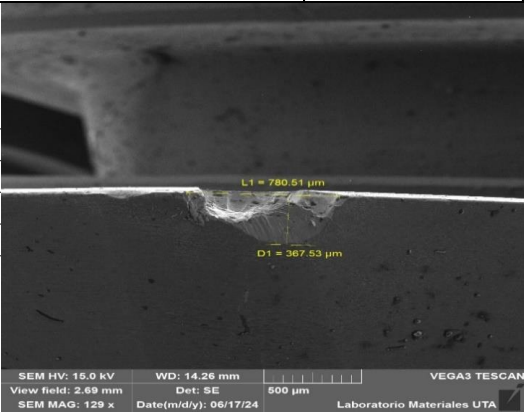
3.7.25. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL Al₂O₃ más fluido criogénico a 24 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA															
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA															
FRESADO FRONTAL															
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4												
Fecha de ejecución		17/06/2024													
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM														
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez												
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL															
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material													
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304													
Grado	YBG 202	Dureza													
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB													
PARÁMETROS DE MECANIZADO															
Velocidad de corte	300 m/min	Tiempo de mecanizado	24 minutos												
Profundidad de corte axial	0,5 mm														
Profundidad de corte radial	48 mm														
Avance	0,1 mm/diente														
Velocidad de husillo	1515 rpm														
Velocidad de avance	750 mm/min														
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE															
Sistema de lubricación		Híbrido													
NMQL		Criogénico													
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO ₂												
Nanopartículas	Al ₂ O ₃ 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares												
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°												
MEDICIÓN DEL DESGASTE															
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal												
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VB</td> <td>1159.93</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>417.34</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1577.27</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>788.64</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VB	1159.93	µm	VS	417.34	µm	Suma	1577.27	µm	Promedio	788.64	µm
VB	1159.93	µm													
VS	417.34	µm													
Suma	1577.27	µm													
Promedio	788.64	µm													
Observación: Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.															

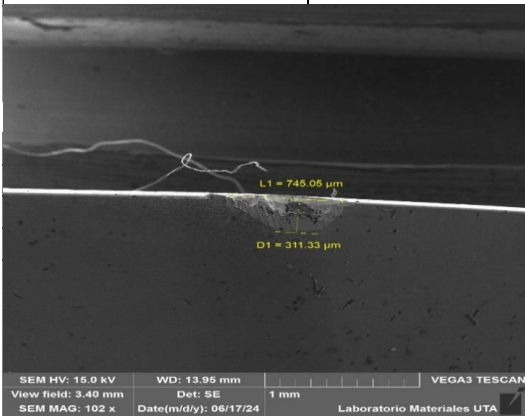
3.7.26. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 2 (Refrigeración con nano MQL Al₂O₃ más fluido criogénico a 24 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 																
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																
FRESADO FRONTAL																
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4													
Fecha de ejecución		17/06/2024														
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM															
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material														
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304														
Grado	YBG 202	Dureza														
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB														
PARÁMETROS DE MECANIZADO																
Velocidad de corte	300 m/min	Tiempo de mecanizado	24 minutos													
Profundidad de corte axial	0,5 mm															
Profundidad de corte radial	48 mm															
Avance	0,1 mm/diente															
Velocidad de husillo	1515 rpm															
Velocidad de avance	750 mm/min															
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																
Sistema de lubricación		Híbrido														
NMQL		Criogénico														
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO ₂													
Nanopartículas	Al ₂ O ₃ 0,5% en peso	Estado	Líquido	Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min	0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares													
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal													
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">VB</td> <td style="text-align: center;">769.54</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VS</td> <td style="text-align: center;">538.45</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Suma</td> <td style="text-align: center;">1307.99</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">654.00</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> </tbody> </table>			VB	769.54	µm	VS	538.45	µm	Suma	1307.99	µm	Promedio	654.00	µm
		VB	769.54	µm												
		VS	538.45	µm												
		Suma	1307.99	µm												
		Promedio	654.00	µm												
Observación: Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm.																

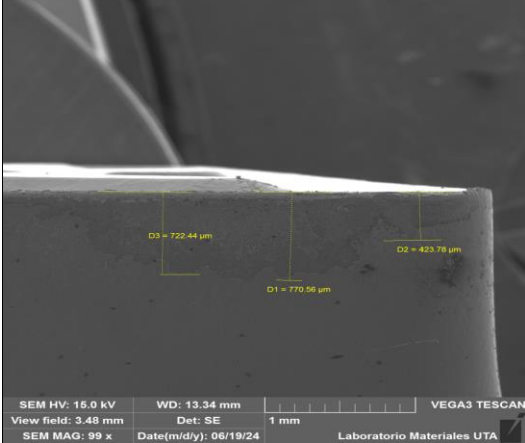
3.7.27. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 3 (Refrigeración con nano MQL Al₂O₃ más fluido criogénico a 24 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA															
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA															
FRESADO FRONTAL															
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4												
Fecha de ejecución		17/06/2024													
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM														
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez												
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL															
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material													
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304													
Grado	YBG 202	Dureza													
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB													
PARÁMETROS DE MECANIZADO															
Velocidad de corte	300 m/min	Tiempo de mecanizado	24 minutos												
Profundidad de corte axial	0,5 mm														
Profundidad de corte radial	48 mm														
Avance	0,1 mm/diente														
Velocidad de husillo	1515 rpm														
Velocidad de avance	750 mm/min														
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE															
Sistema de lubricación		Híbrido													
NMQL		Criogénico													
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO ₂												
Nanopartículas	Al ₂ O ₃ 0,5% en peso	Estado	Líquido Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min 0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares												
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°												
MEDICIÓN DEL DESGASTE															
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal												
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VB</td> <td>780.51</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>367.53</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1148.04</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>574.02</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VB	780.51	µm	VS	367.53	µm	Suma	1148.04	µm	Promedio	574.02	µm
		VB	780.51	µm											
		VS	367.53	µm											
		Suma	1148.04	µm											
		Promedio	574.02	µm											
Observación:															
Se observa un desgaste de macro chipping. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0,4 mm, sin embargo esta muy próximo.															

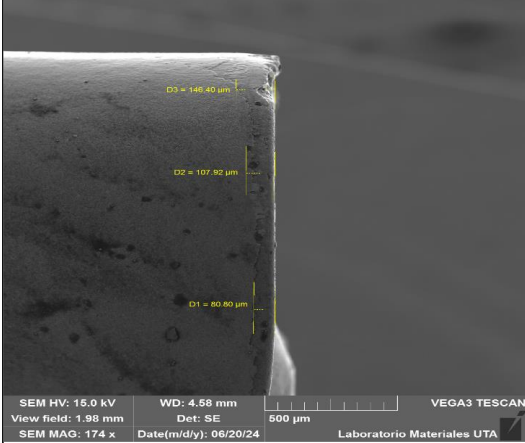
3.7.28. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 4 inserto 4 (Refrigeración con nano MQL Al₂O₃ más fluido criogénico a 24 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 																
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																
FRESADO FRONTAL																
Tipo de estudio	Experimental	Ítem	Experimento 4													
Fecha de ejecución		17/06/2024														
Lugar de estudio	Laboratorio de Materiales - FICM															
Elaborado por	Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez													
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																
Portaherramienta	FMA01-063-A22-SE12-05	Material														
Inserto	SEET12T3-DM	Acero inoxidable AISI 304														
Grado	YBG 202	Dureza														
Recubrimiento	PVD nc-TiAlN	190 HB														
PARÁMETROS DE MECANIZADO																
Velocidad de corte	300 m/min	Tiempo de mecanizado	24 minutos													
Profundidad de corte axial	0,5 mm															
Profundidad de corte radial	48 mm															
Avance	0,1 mm/diente															
Velocidad de husillo	1515 rpm															
Velocidad de avance	750 mm/min															
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																
Sistema de lubricación		Híbrido														
NMQL		Criogénico														
Fluido	UNIST COOLUBE 2210XP	Fluido	CO ₂													
Nanopartículas	Al ₂ O ₃ 0,5% en peso	Estado	Líquido	Gaseoso												
Caudal	480 ml/h	Flujo másico	0,2 kg/min	0,45 kg/min												
Presión	2 bares	Presión	60 bares													
Ángulo de incidencia	30°	Ángulo de incidencia	45°													
MEDICIÓN DEL DESGASTE																
Norma	ISO 8688-1	Criterio de vida útil	Normal													
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">VB</td> <td style="text-align: center;">745.05</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">VS</td> <td style="text-align: center;">311.33</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Suma</td> <td style="text-align: center;">1056.38</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">528.19</td> <td style="text-align: center;">µm</td> </tr> </tbody> </table>			VB	745.05	µm	VS	311.33	µm	Suma	1056.38	µm	Promedio	528.19	µm
		VB	745.05	µm												
		VS	311.33	µm												
		Suma	1056.38	µm												
		Promedio	528.19	µm												
Observación: Se observa un desgaste de flanco VB1. Los valores no superarán el criterio de vida útil de 0.35 mm, sin embargo esta muy proximo.																

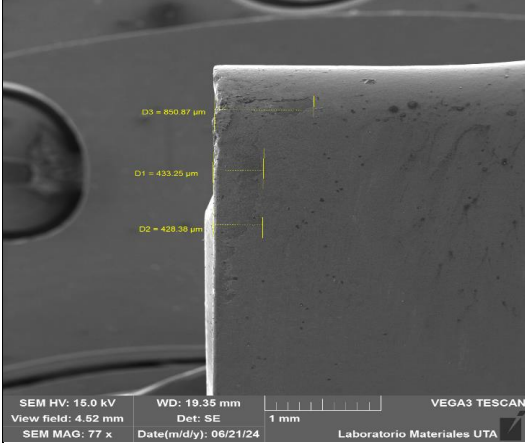
3.7.29. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 5 inserto 1 (Seco a 36 min) del AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA 																				
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																				
FRESADO FRONTAL																				
Tipo de estudio		Experimental	Ítem		Experimento 5															
Fecha de ejecución (d/m/a)			19/6/2024																	
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																		
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie	Revisado por	Ing. Diego Núñez																
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																				
Portaherramienta		MCLNR-2020K12	Material																	
Inserto		CNMG 120404 MF	Acero inoxidable AISI 304																	
Grado		2025	Dureza																	
Recubrimiento		CVD Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	190 HB																	
PARÁMETROS DE MECANIZADO																				
Velocidad de corte		200 m/min	Tiempo de mecanizado		36 minutos															
Profundidad de corte		0,4 mm																		
Velocidad de husillo		1250 rpm																		
Velocidad de avance		220 mm/min																		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																				
Sistema de lubricación		Seco	Fluido	-																
Caudal	-	Número de boquillas	-	Ángulo de incidencia	-															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																				
		ISO 3685	Criterio de vida útil	A																
			<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VBC</td> <td>423.78</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Vbmax</td> <td>770.56</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VBN</td> <td>755.44</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1949.78</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>649.93</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>			VBC	423.78	µm	Vbmax	770.56	µm	VBN	755.44	µm	Suma	1949.78	µm	Promedio	649.93	µm
			VBC	423.78	µm															
			Vbmax	770.56	µm															
			VBN	755.44	µm															
			Suma	1949.78	µm															
			Promedio	649.93	µm															
Observación: Se observa un desgaste irregular por lo que se acepta el criterio A, la herramienta ha superado el valor máximo permitido.																				

3.7.30. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 6 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ al 0.5% a 24 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																				
FRESADO FRONTAL																				
Tipo de estudio		Experimental		Ítem Experimento 6																
Fecha de ejecución (d/m/a)		19/6/2024																		
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																		
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por Ing. Diego Núñez																
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																				
Portaherramienta		MCLNR-2020K12		Material																
Inserto		CNMG 120404 MF		Acero inoxidable AISI 304																
Grado		2025		Dureza																
Recubrimiento		CVD Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN		190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																				
Velocidad de corte		300 m/min		Tiempo de mecanizado 24 minutos																
Profundidad de corte		0,4 mm																		
Velocidad de husillo		2100 rpm																		
Velocidad de avance		300 mm/min																		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																				
Sistema de lubricación		MQL		Fluido UNIST COOLUBE 2210XP																
Caudal	480 ml/h	Número de boquillas	1	Ángulo de incidencia	30°															
MEDICIÓN DEL DESGASTE																				
		ISO 3685		Criterio de vida útil	B															
																				
		<table border="1"> <tr> <td>VBC</td> <td>146.4</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Vbmax</td> <td>107.92</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VBN</td> <td>80.8</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>335.12</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>111.71</td> <td>μm</td> </tr> </table>				VBC	146.4	μm	Vbmax	107.92	μm	VBN	80.8	μm	Suma	335.12	μm	Promedio	111.71	μm
VBC	146.4	μm																		
Vbmax	107.92	μm																		
VBN	80.8	μm																		
Suma	335.12	μm																		
Promedio	111.71	μm																		
Observación: Se observa un desgaste regular por lo que se acepta el criterio B, la herramienta aún no supera el valor máximo promedio permitido.																				

3.7.31. Ficha de registro de desgaste de flanco experimento 6 inserto 1 (Refrigeración con nano MQL TiO₂ al 0.5% a 35 min) del AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA																		
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE HERRAMIENTA																				
FRESADO FRONTAL																				
Tipo de estudio		Experimental		Ítem																
				Experimento 6																
Fecha de ejecución (d/m/a)				19/6/2024																
Lugar de estudio		Laboratorio de Materiales - FICM																		
Elaborado por		Celi Fabián - Núñez Melanie		Revisado por Ing. Diego Núñez																
PARÁMETROS DE HERRAMIENTA Y MATERIAL																				
Portaherramienta		MCLNR-2020K12		Material																
Inserto		CNMG 120404 MF		Acero inoxidable AISI 304																
Grado		2025		Dureza																
Recubrimiento		CVD Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN		190 HB																
PARÁMETROS DE MECANIZADO																				
Velocidad de corte		300 m/min		Tiempo de mecanizado 35 minutos																
Profundidad de corte		0,4 mm																		
Velocidad de husillo		2100 rpm																		
Velocidad de avance		300 mm/min																		
PARÁMETROS DEL FLUIDO DE CORTE																				
Sistema de lubricación		MQL		Fluido UNIST COOLUBE 2210XP																
Caudal		480 ml/h		Ángulo de incidencia 30°																
		Número de boquillas 1																		
MEDICIÓN DEL DESGASTE																				
		ISO 3685		Criterio de vida útil A																
																				
Observación: Se observa un desgaste irregular por lo que se acepta el criterio A, la herramienta ha superado el valor máximo permitido en un pico sin embargo los otros picos aun no llegan al valor máximo.		<table border="1"> <tr> <td>VBC</td> <td>850.87</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Vbmax</td> <td>433.25</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VBN</td> <td>428.38</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1712.5</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>570.83</td> <td>μm</td> </tr> </table>				VBC	850.87	μm	Vbmax	433.25	μm	VBN	428.38	μm	Suma	1712.5	μm	Promedio	570.83	μm
VBC	850.87	μm																		
Vbmax	433.25	μm																		
VBN	428.38	μm																		
Suma	1712.5	μm																		
Promedio	570.83	μm																		

3.8. Recomendaciones prácticas y estrategias óptimas para un mecanizado de alto rendimiento.

3.8.1. Manual Técnico de Recomendaciones e Instalación para Mecanizado por MQL

Objetivo

El objetivo principal de este manual es proporcionar recomendaciones e instrucciones detalladas para la instalación y el uso del sistema MQL en aplicaciones de mecanizado. El manual busca:

- **Garantizar el correcto funcionamiento del sistema MQL:** Se detallan los pasos necesarios para la preparación del sistema, incluyendo la depuración, el ensamblaje, la carga del MQL, las pruebas preliminares y el acoplamiento de las boquillas.
- **Obtener el máximo rendimiento del MQL:** Se proporcionan recomendaciones para utilizar el sistema MQL de manera eficiente, incluyendo la selección del aceite lubricante adecuado, el monitoreo del nivel de aceite, la limpieza del sistema y las medidas de seguridad.
- **Optimizar el proceso de mecanizado:** Se describen las ventajas del MQL sobre los métodos tradicionales de lubricación y se explica cómo el uso correcto del sistema puede mejorar la calidad superficial, reducir el consumo de lubricante y proteger el medio ambiente.

Alcance

Este manual abarca los siguientes aspectos:

- **Preparación del sistema MQL:** Incluye instrucciones para la depuración, el ensamblaje, la carga del MQL, las pruebas preliminares y el acoplamiento de las boquillas.
- **Funcionamiento del sistema MQL:** Se describen los principios básicos del MQL y su funcionamiento en aplicaciones de mecanizado.
- **Recomendaciones para el uso del MQL:** Se proporcionan recomendaciones para seleccionar el aceite lubricante adecuado, monitorear el nivel de aceite, limpiar el sistema y seguir las medidas de seguridad.

- **Beneficios del MQL:** Se detallan las ventajas del MQL sobre los métodos tradicionales de lubricación, como la reducción del consumo de lubricante, la mejora de la calidad superficial y la protección del medio ambiente.

No se incluye:

- Información específica sobre sistemas MQL de diferentes fabricantes.
- Instrucciones detalladas para el uso de máquinas herramienta del Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
- El usuario debe consultar la documentación del fabricante del sistema MQL y de la máquina herramienta para obtener información específica sobre su funcionamiento y uso.

Introducción

El mecanizado por MQL (Minimum Quantity Lubrication) es una técnica de lubricación mínima que utiliza pequeñas cantidades de fluido refrigerante y lubricante para enfriar y lubricar la herramienta de corte y la pieza de trabajo durante el proceso de mecanizado. Esta técnica ofrece una serie de ventajas sobre los métodos tradicionales de lubricación por inundación, como la reducción del consumo de lubricante, la mejora de la calidad superficial y la protección del medio ambiente.

Este manual proporciona recomendaciones e instrucciones detalladas para la instalación y el uso del sistema MQL en aplicaciones de mecanizado. El objetivo es garantizar el correcto funcionamiento del sistema y obtener el máximo rendimiento del MQL.

Preparación del Sistema

1. Depuración del Sistema

Antes de utilizar el sistema MQL, es fundamental realizar una depuración completa para garantizar su correcto funcionamiento. Esta depuración incluye los siguientes pasos:

- **Desarmar los cilindros:** Retirar los cilindros del sistema para inspeccionarlos y limpiarlos a fondo. Eliminar cualquier residuo o suciedad que pueda obstruir el flujo del aceite.



- **Limpiar los filtros:** Retirar y limpiar los filtros del sistema para eliminar cualquier partícula contaminante que pueda afectar el rendimiento del MQL.

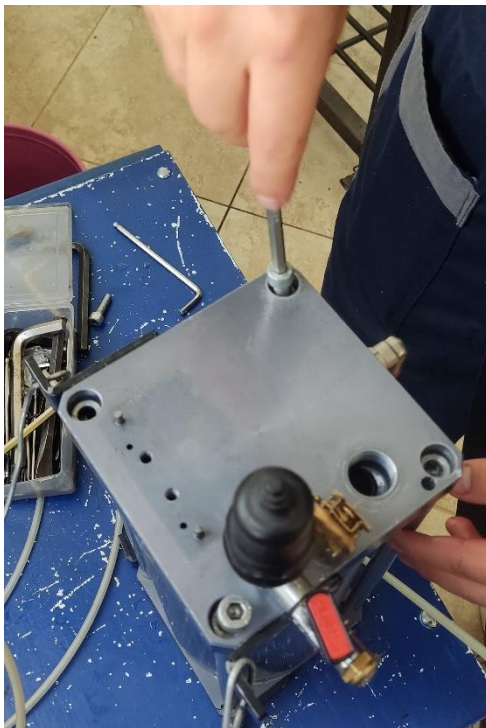


- **Sopletear la válvula de salida:** Utilizar aire comprimido para limpiar la válvula de salida del MQL y eliminar cualquier obstrucción.



2. Ensamblaje del Sistema

Una vez que los componentes del sistema MQL se hayan limpiado y depurado, se debe proceder a su ensamblaje correcto. Seguir cuidadosamente las instrucciones del fabricante para garantizar una instalación adecuada.



3. Carga del MQL

Llenar el depósito del MQL con el aceite lubricante adecuado. El nivel de aceite debe mantenerse dentro del rango recomendado por el fabricante. Nunca permitir que el nivel de aceite descienda por debajo del mínimo, ya que esto puede afectar el rendimiento del sistema y dañar la herramienta de corte y la pieza de trabajo.



4. Pruebas Preliminares

Antes de iniciar el mecanizado, es importante realizar pruebas preliminares para verificar el correcto funcionamiento del sistema MQL. Estas pruebas incluyen:

- **Verificar la salida de aceite:** Asegurarse de que la salida de aceite del sistema MQL sea la adecuada y esté libre de obstrucciones.

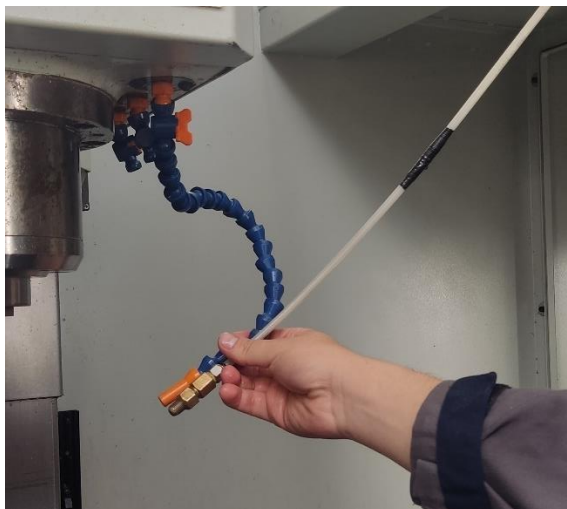


- **Comprobar el nivel de aceite:** Verificar que el nivel de aceite del depósito se encuentre dentro del rango recomendado.



5. Acoplamiento de las Boquillas

Acoplar la boquilla de salida del MQL con la boquilla de salida de la taladrina. Ajustar la posición de las boquillas para dirigir el flujo de aceite hacia la zona de corte de la herramienta. El ángulo y la distancia entre las boquillas pueden afectar la eficacia del MQL, por lo que es importante realizar ajustes finos para obtener el mejor resultado.



6. Inicio del Mecanizado

Una vez que se hayan completado todos los pasos de preparación, se puede iniciar el proceso de mecanizado. Es importante seguir las instrucciones de operación de la máquina herramienta y del sistema MQL para garantizar un mecanizado seguro y eficiente.

Recomendaciones Técnicas para el Sistema MQL

Mantenimiento Preventivo

Para garantizar el correcto funcionamiento y optimizar el rendimiento del sistema MQL, se recomienda seguir las siguientes prácticas de mantenimiento preventivo:

1. Monitoreo del Nivel de Aceite:

- Verificación periódica: Realizar una inspección visual regular del nivel de aceite en el depósito del sistema MQL.
- Nivel adecuado: Mantener el nivel de aceite dentro del rango recomendado por el fabricante.

- Relleno oportuno: Rellenar el depósito con aceite lubricante adecuado cuando sea necesario, utilizando un embudo para evitar derrames.

2. Limpieza del Sistema:

- Eliminación de residuos: Limpiar periódicamente el sistema MQL para eliminar cualquier residuo o suciedad que pueda afectar su rendimiento.
- Frecuencia de limpieza: La frecuencia de limpieza dependerá de las condiciones de trabajo y la cantidad de aceite que se utilice. Se recomienda realizar una limpieza profunda al menos una vez al mes.
- Procedimiento de limpieza: Seguir las instrucciones del fabricante para la limpieza del sistema MQL. Esto puede incluir el desmontaje de algunos componentes, el uso de detergentes específicos y el enjuague con agua limpia.

3. Prevención de Fugas de Aceite

Para minimizar las fugas de aceite en el sistema MQL, se recomienda seguir estos pasos al apagar el compresor de aire:

4. Despresurización del Sistema:

- a) Apagado del compresor: Apagar el compresor de aire para detener el suministro de aire comprimido al sistema MQL.
- b) Apertura de la válvula de escape: Abrir la válvula de escape de aire del desfogue para liberar la presión residual del sistema.
- c) Apertura de la válvula de entrada: Finalmente, abrir la válvula de entrada de aire para permitir que el aire atmosférico ingrese al sistema y complete la despresurización.

5. Secuencia Importante:

Es fundamental seguir el orden correcto al realizar estos pasos. Si se abre la válvula de entrada de aire antes de despresurizar el sistema, el aceite residual podría ser expulsado con fuerza, lo que podría provocar derrames y salpicaduras.

3.8.2. Manual Técnico: Implementación de Nanopartículas en Sistema MQL

Objetivo

El objetivo principal de este manual es proporcionar recomendaciones e instrucciones detalladas para la implementación de nanopartículas en un sistema MQL (Minimum Quantity Lubrication) existente. El manual busca:

- **Mejorar el rendimiento del sistema MQL:** Se describen los beneficios potenciales de la implementación de nanopartículas, como la mejora de la lubricación, la reducción del consumo de aceite y la mejora de la calidad superficial.
- **Optimizar el proceso de mecanizado:** Se detallan los pasos necesarios para la preparación del sistema, la homogeneización de las nanopartículas, la selección del aglutinante y la aplicación de la solución de nanopartículas.
- **Proporcionar recomendaciones de seguridad:** Se enfatiza la importancia de utilizar nanopartículas de tamaño adecuado, limpiar el sistema correctamente después de cada uso y seguir las instrucciones del fabricante del sistema MQL y de la máquina herramienta.

Alcance

Este manual abarca los siguientes aspectos:

- **Preparación del sistema MQL:** Incluye instrucciones para la depuración del sistema, la limpieza de los componentes y la homogenización de las nanopartículas.
- **Selección de aglutinante:** Se explica la importancia del aglutinante para retardar la sedimentación de las nanopartículas y se proporcionan recomendaciones para su selección.
- **Aplicación de la solución de nanopartículas:** Se detallan los pasos para aplicar la mezcla de nanopartículas y aceite COOLUBE al sistema MQL.
- **Recomendaciones de seguridad:** Se enfatiza la importancia de utilizar nanopartículas de tamaño adecuado, limpiar el sistema correctamente después de cada uso y seguir las instrucciones del fabricante.

No se incluye:

- Información específica sobre sistemas MQL de diferentes fabricantes.
- Instrucciones detalladas para el uso de máquinas herramienta específicas.

Preparación del Sistema

1. Depuración del Sistema

Si el sistema MQL se ha utilizado previamente, es fundamental realizar una depuración exhaustiva para eliminar cualquier impureza o residuo que pueda afectar la mezcla de las nanopartículas con el aceite. Esto incluye:

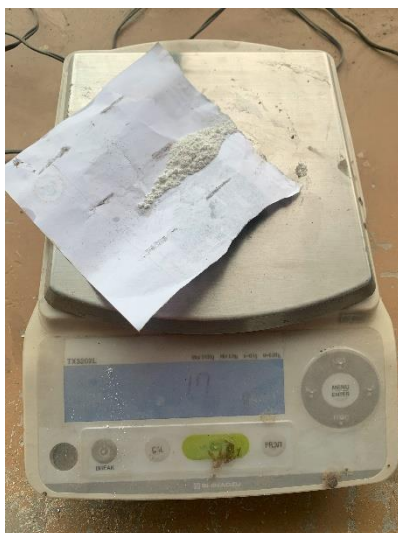
- Desarmar y limpiar los cilindros del sistema.
- Limpiar los filtros del sistema para eliminar cualquier partícula contaminante.
- Sopletear la válvula de salida del MQL para eliminar cualquier obstrucción.

2. Homogenización de Nanopartículas

Dado que el aceite COOLUBE es insoluble, es crucial realizar una correcta homogeneización de las nanopartículas para obtener una mezcla uniforme y estable. Se recomienda utilizar una homogeneizadora de alta calidad para garantizar una dispersión adecuada de las nanopartículas en el aceite.

3. Aplicación de Nanopartículas

Una vez que la mezcla de nanopartículas y aceite COOLUBE esté lista, se puede aplicar al sistema MQL siguiendo las instrucciones del fabricante. Asegurarse de que la mezcla se distribuya uniformemente en todo el sistema.



Recomendaciones

- **Tamaño de las Nanopartículas:** Es fundamental utilizar nanopartículas de tamaño comprendido entre 80 – 100 nm para evitar obstrucciones en las vías de conducción de aceite del sistema MQL.
- **Limpieza del Sistema:** Después de cada sesión de mecanizado, es esencial limpiar el sistema MQL a fondo para eliminar cualquier residuo de nanopartículas que pueda sedimentarse en los filtros o tuberías.
- **Monitoreo del Rendimiento:** Es importante monitorear el rendimiento del sistema MQL durante el mecanizado para detectar cualquier problema o anomalía que pueda estar relacionada con la implementación de las nanopartículas.
- **Limpiar el homogeneizador antes de su utilización** para eliminar cualquier residuo de la mezcla anterior. La limpieza del homogeneizador evita que los residuos de la mezcla anterior afecten la homogeneización de la nueva mezcla de aceite y nanopartículas.



Beneficios de la Implementación de Nanopartículas

La implementación de nanopartículas en el sistema MQL ofrece una serie de beneficios potenciales, incluyendo:

- **Mejora de la Lubricación:** Las nanopartículas pueden mejorar la capacidad de lubricación del aceite, reduciendo la fricción y el desgaste entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo.
- **Reducción del Consumo de Aceite:** La mejor lubricación puede conducir a una reducción en el consumo de aceite, lo que se traduce en ahorros económicos y beneficios ambientales.
- **Mejora de la Calidad Superficial:** Las nanopartículas pueden contribuir a mejorar la calidad superficial de la pieza de trabajo, reduciendo los defectos y mejorando el acabado final.

3.8.3. Manual Técnico: Implementación de CO₂ en Sistema MQL

Objetivo

El objetivo principal de este manual es proporcionar recomendaciones e instrucciones detalladas para la implementación de CO₂ (dióxido de carbono) en un sistema MQL (Minimum Quantity Lubrication) existente. El manual busca:

- **Mejorar el rendimiento del sistema MQL:** Se describen los beneficios potenciales de la implementación de CO₂, como la refrigeración eficaz, la mejora de la calidad superficial y la reducción del consumo de lubricante.
- **Optimizar el proceso de mecanizado:** Se detallan los pasos necesarios para la configuración de los tanques de CO₂, la mezcla de fases, la ubicación del racor de salida, la verificación de válvulas y mangueras, y el control de la salida de CO₂.
- **Proporcionar recomendaciones de seguridad:** Se enfatiza la importancia de seguir las normas de seguridad para el manejo de CO₂ a alta presión, monitorear la presión del sistema y realizar un mantenimiento preventivo regular.

Alcance

Este manual abarca los siguientes aspectos:

- **Preparación del sistema MQL:** Incluye instrucciones para la configuración de los tanques de CO₂, la mezcla de fases, la instalación del racor de salida y la verificación de válvulas y mangueras.
- **Control de la salida de CO₂:** Se explica la importancia de regular la salida de CO₂ de los dos tanques de manera uniforme para evitar la formación de hielo en el sistema.

- Recomendaciones de seguridad: Se enfatiza la importancia de seguir las normas de seguridad para el manejo de CO₂ a alta presión, monitorear la presión del sistema y realizar un mantenimiento preventivo regular.

No se incluye:

- Información específica sobre sistemas MQL de diferentes fabricantes.
- Instrucciones detalladas para el uso de máquinas herramienta específicas.
- Asesoramiento especializado para aplicaciones de mecanizado específicas.

Introducción

Este manual proporciona recomendaciones e instrucciones para la implementación de CO₂ (dióxido de carbono) en un sistema MQL (Minimum Quantity Lubrication) existente. El objetivo es aprovechar las propiedades criogénicas del CO₂ para mejorar el rendimiento del sistema y obtener resultados óptimos en aplicaciones de mecanizado.

Preparación del Sistema**1. Configuración de Tanques de CO₂**

Se recomienda utilizar dos tanques de CO₂ independientes para trabajar con el CO₂ en estado líquido y gaseoso:

- Tanque líquido: Girar el tanque 180° para que el CO₂ líquido se ubique en la parte inferior.



- Tanque gaseoso: Mantener el tanque en posición normal.



2. Mezcla de Fases

Conectar los tanques de CO₂ a un mezclador para obtener una mezcla de CO₂ líquido y gaseoso. Este proceso generará una corriente de fluido criogénico.



3. Ubicación del Racor de Salida

Instalar un racor de salida a 45° y a una distancia de 80 mm de la zona de contacto entre la herramienta y la pieza de trabajo. Esta ubicación asegura una distribución uniforme del CO₂ criogénico.



4. Verificación de válvulas y mangueras

Revisar cuidadosamente el estado de las válvulas y mangueras del sistema, ya que se trabaja con presiones altas. Asegurarse de que no haya fugas que puedan comprometer la seguridad del proceso.

5. Control de Salida de CO₂

Regular la salida de CO₂ de los dos tanques de manera uniforme para evitar la formación de hielo en el sistema. La formación de hielo puede obstruir el racor de salida y provocar explosiones en las tuberías.



Recomendaciones

- Seguridad: Es fundamental seguir las normas de seguridad establecidas para el manejo de CO₂ a alta presión. Utilizar ropa y equipo de protección adecuados, y trabajar en un área bien ventilada.
- Monitoreo de Presión: Monitorear constantemente la presión del sistema para evitar fugas o sobrecargas.
- Mantenimiento: Realizar un mantenimiento preventivo regular del sistema para garantizar su correcto funcionamiento y seguridad.
- Trabajar con los tanques de CO₂ llenos, ya que los tanques vacíos expulsarán el líquido o sólido a una menor presión, lo cual no sería efectivo para el mecanizado.
- Verificar que los tanques de CO₂ estén estables y bien sujetos para evitar que se caigan y ocasionen un accidente.
- Inspeccionar periódicamente los tanques de CO₂ para detectar posibles daños, fugas o corrosiones.
- Implementar un sistema de sifón para optimizar la utilización de los tanques de CO₂. Este sistema permite aprovechar tanto la parte sólida como la líquida del CO₂, reduciendo las pérdidas y la formación de hielo en los conductos de salida.
- Debido a las altas temperaturas, la condensación del sistema de CO₂ puede generar obstrucciones o explosiones. Es crucial implementar medidas para prevenir la condensación, como el uso de aislamiento térmico o sistemas de deshumidificación.
- Asegurarse de que las válvulas utilizadas en el sistema MQL con CO₂ sean las adecuadas para soportar las altas presiones y temperaturas del gas.

Beneficios de la Implementación de CO₂

La implementación de CO₂ en el sistema MQL ofrece una serie de beneficios potenciales, incluyendo:

- Refrigeración eficaz: El CO₂ criogénico proporciona una refrigeración efectiva de la herramienta de corte y la pieza de trabajo, reduciendo la fricción y el desgaste.
- Mejora de la Calidad Superficial: La refrigeración adecuada puede mejorar la calidad superficial de la pieza de trabajo, reduciendo los defectos y mejorando el acabado final.
- Reducción del Consumo de Lubricante: El CO₂ puede actuar como lubricante, reduciendo la necesidad de aceite lubricante tradicional.

3.8.4. Recomendaciones generales

- Antes de realizar cualquier operación en el sistema MQL, consultar los manuales de seguridad del fabricante del sistema y de la máquina herramienta.
- Utilizar el equipo de protección personal adecuado, como guantes, gafas de seguridad y ropa protectora, durante las tareas de mecanizado.
- Trabajar en un área bien ventilada y seguir las normas de seguridad establecidas para el manejo de maquinaria y productos químicos.
- Inspeccionar periódicamente las conexiones, mangueras y sellos del sistema MQL para detectar posibles fugas o daños.
- Asegurarse de que todas las conexiones estén bien apretadas para evitar fugas de aceite.
- Reemplazar los componentes desgastados o dañados del sistema MQL de manera oportuna para evitar fugas y garantizar un funcionamiento seguro.
- Mantener una documentación detallada de las mezclas de nanopartículas utilizadas, los parámetros de mecanizado y el rendimiento del sistema.

3.9. Contraste de resultados

3.9.1. Comparación de contrastes de los ensayos realizados en la fresadora

De la TTF08 y TTF06 ecuaciones de Taylor que describen el tiempo al cual los insertos van a llegar al fallo, despejada la variable de tiempo tenemos las ecuaciones (8), (9), (10) y (11) que describen la vida útil de la herramienta por inundación, nanocriomecanizado con TiO₂, MQL y nanocriomecanizado por Al₂O₃ respectivamente.

Ecuaciones de Taylor de la TTF08:

$$T = \frac{0.28869361}{\sqrt{V_c}} \sqrt{549.1279719} \quad (8)$$

$$T = \frac{0.55006601}{\sqrt{V_c}} \sqrt{2016.443744} \quad (9)$$

Ecuaciones de Taylor de la TTF06:

$$T = \frac{1682.66^{1.714}}{V_c} \quad (10)$$

$$T = \frac{1187.88^{2.318}}{V_c} \quad (11)$$

Con las ecuaciones previas se determinó el tiempo de desgaste de los insertos de cada prueba, los resultados se plasmaron en la Tabla 93.

Tabla 93. Resumen de los resultados obtenidos del mecanizado en la fresadora.

Velocidad de corte (m/min)	Sistema de lubricación	Tiempo para el fallo (min)	Tiempo mecanizado realizado (min)	Desgaste de flanco (μm)	Tipo de fallo (min)	Medida para el fallo (μm)
230	Inundación	20.3778	13	382.71	CH B	400
				571.79	CH B	400
				519.54	CH B	400
				413.85	CH B	400
290	Nanocriomecanizado TiO2	33.9677	40	334.76	CH B	400
				408.72	CH B	400
				405.64	CH B	400
				497.8	CH B	400
250	MQL	26.2596	30	423.05	CH B	400

Velocidad de corte (m/min)	Sistema de lubricación	Tiempo para el fallo (min)	Tiempo mecanizado realizado (min)	Desgaste de flanco (μm)	Tipo de fallo (min)	Medida para el fallo (μm)
300	Nanocriomecanizado Al_2O_3	24.2859	24	397.17	CH B	400
				232.21	VB1	350
				380.4	VB1	350
				417.34	CH B	400
				538.45	CH B	400
				367.53	CH B	400
				311.33	VB1	350

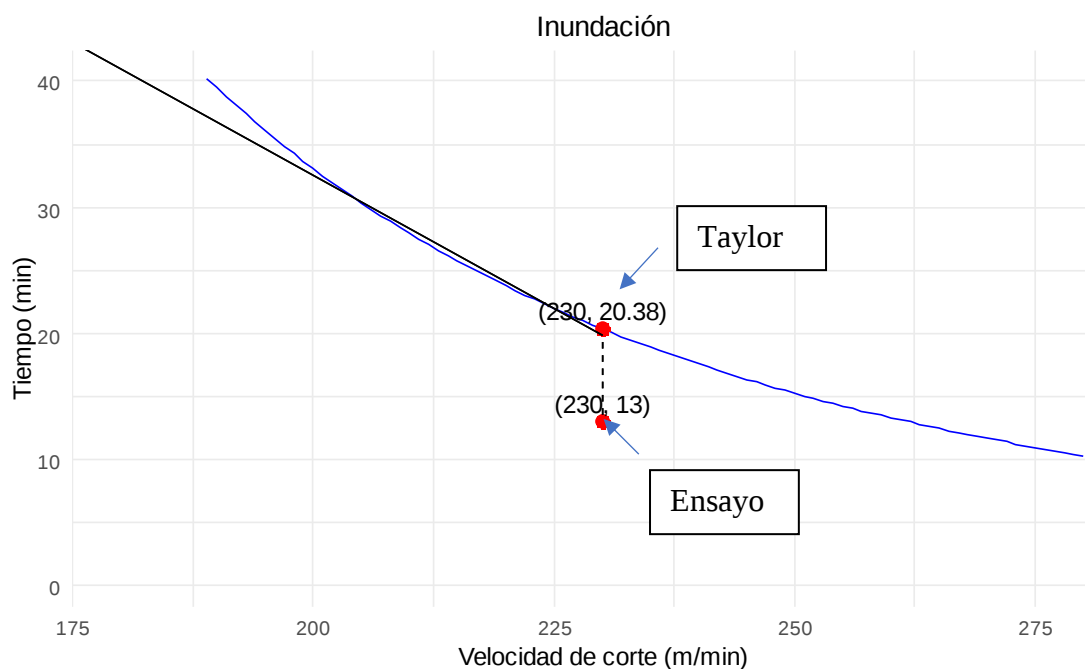


Figura 29. Gráfica de Taylor del método por inundación con el resultado obtenido.

Discusión de los resultados obtenidos: En la Figura 29, se observa una gráfica del tiempo de vida útil en minutos de la herramienta de corte versus la velocidad de corte en m/min. Se verifica

que el tiempo obtenido en el experimento de esta investigación es de 7.38 min hasta el fallo de la herramienta; ligeramente menor al previsto por la ecuación de Taylor (20.38 min) en la investigación TTF08 la disminución de un 36.21% en el tiempo previsto puede deberse entre otras causas a:

- Inexistencia de instrumentos de precisión para la medición de caudal por inundación, estos pueden provocar intermitencias en el abastecimiento del fluido de corte (taladrina) que provoca un aumento de la temperatura en la zona de corte
- Heterogeneidad del material, para una misma denominación de aceros puede existir pequeñas diferencias o variaciones en su composición y estructura que afectan la resistencia al corte, la formación de virutas y por tanto el tiempo de vida útil de la herramienta, más aún si se trata de materiales de diferente procedencia
- Precisión en la medición, a pesar del cuidado y control de los parámetros de mecanizado y posterior medición de las herramientas de corte en el microscopio de barrido pueden generarse errores de apreciación y ejecución en la lectura de resultados

En este sentido, se recomienda para futuras investigaciones el uso de instrumentos que permitan una medición efectiva y precisa de la temperatura en la zona de corte y de caudal de lubricación y refrigeración, Adicionalmente es muy beneficioso la medición de las fuerzas de corte ya que permiten hacer cálculos más avanzados del proceso. En esta investigación esos parámetros no

fueron tomados en cuenta debido a los altos costos que representan y que casi ninguna institución de educación superior del país posee.

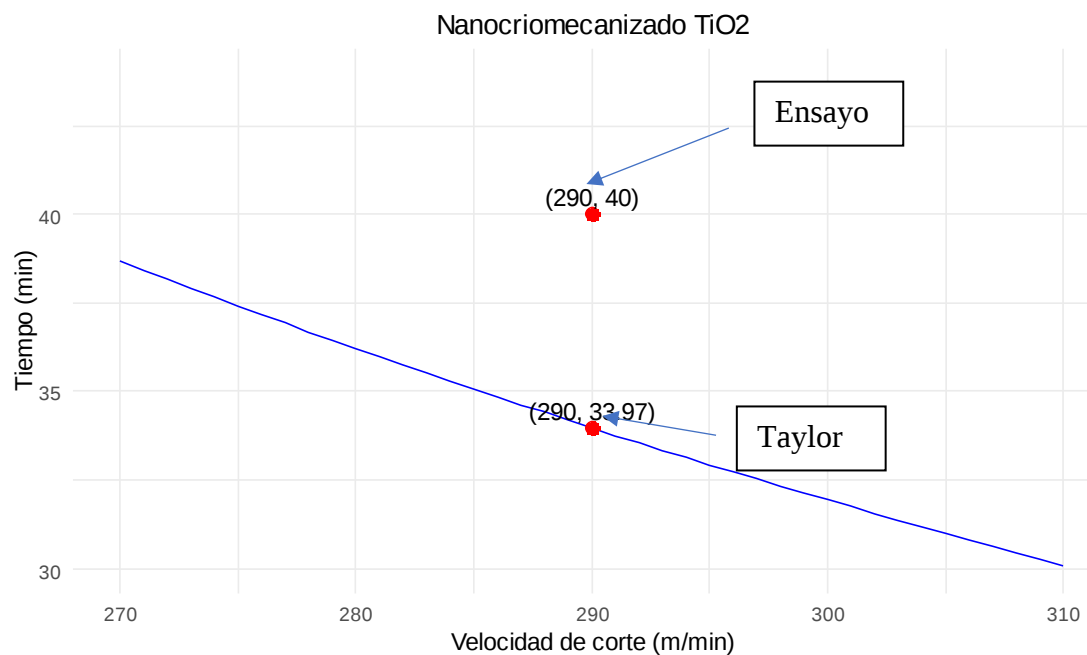


Figura 30. Gráfica de Taylor del método por Nanocriomecanizado TiO₂ con el resultado obtenido.

Discusión de los resultados obtenidos: En la Figura 30, se observa una gráfica del tiempo de vida útil en minutos de la herramienta de corte versus la velocidad de corte en m/min. Se verifica que el tiempo obtenido en el experimento de esta investigación es de 6.03 min hasta el fallo de la herramienta; ligeramente mayor al previsto por la ecuación de Taylor (33.97 min) en la

investigación TTF08 el aumento de un 17.75% en el tiempo previsto puede deberse entre otras causas a:

- Endurecimiento del material, la baja temperatura utilizada en el criomecanizado puede provocar un endurecimiento del TiO_2 , lo que dificulta el corte y aumenta la vida útil de la herramienta.
- Reducción de la adherencia, las bajas temperaturas pueden disminuir la adherencia de las virutas a la herramienta, reduciendo el desgaste por adhesión.
- Recubrimientos especiales, la herramienta utilizada podría tener recubrimientos especiales diseñados para resistir las condiciones extremas del nanocriomecanizado, lo que aumenta su vida útil.
- Pequeñas variaciones en la pureza del TiO_2 pueden afectar su maquinabilidad y, por consiguiente, la vida útil de la herramienta.
- Influencia en las propiedades del fluido, la presencia de aglomerados puede modificar las propiedades reológicas del fluido, afectando su capacidad de lubricación y enfriamiento.

En conclusión, el aumento en el tiempo de vida útil de la herramienta en comparación con las predicciones de la ecuación de Taylor puede atribuirse a una combinación de factores relacionados con las características del material, la herramienta, las condiciones de la prueba y las limitaciones del modelo teórico.

Para futuras investigaciones se recomienda, asegurar un sistema de enfriamiento eficiente y estable para mantener una temperatura constante durante todo el proceso de mecanizado, y calibrar las herramientas antes y después de cada ensayo para verificar su desgaste garantizando que se encuentren en las mismas condiciones iniciales que las investigaciones ya realizadas.

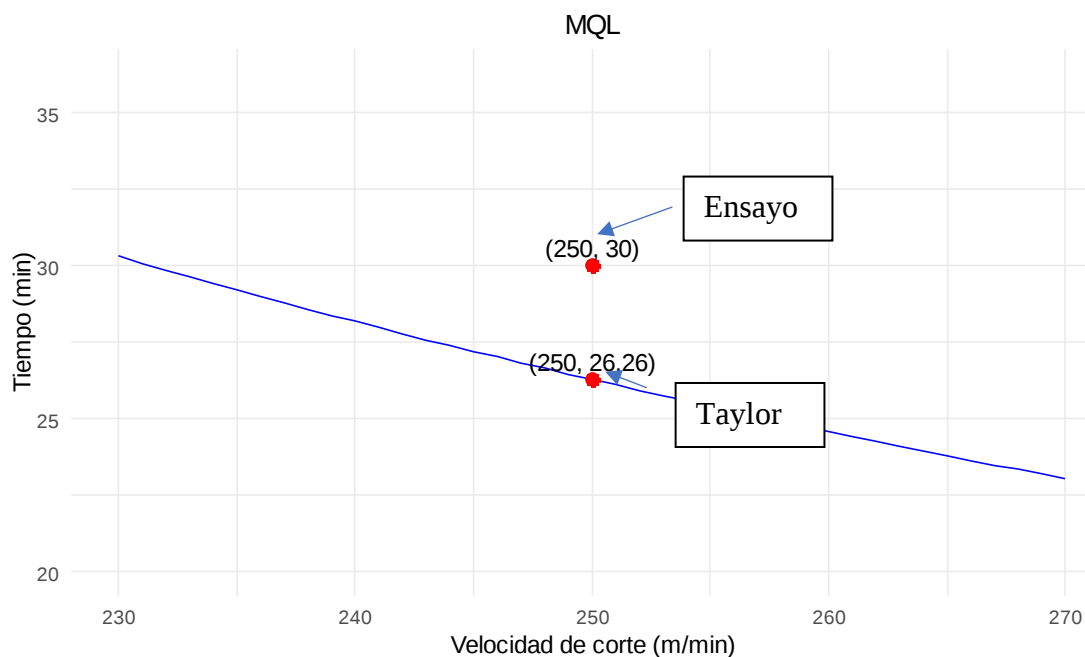


Figura 31. Gráfica de Taylor del método por MQL con el resultado obtenido.

Discusión de los resultados obtenidos: En la Figura 31, se observa una gráfica del tiempo de vida útil en minutos de la herramienta de corte versus la velocidad de corte en m/min. Se verifica que el tiempo obtenido en el experimento de esta investigación es de 3.74 min hasta el fallo de la herramienta; ligeramente mayor al previsto por la ecuación de Taylor (26.26 min) en la investigación TTF06, el aumento de un 14.24% en el tiempo previsto puede deberse entre otras causas a:

- Geometría de la herramienta, pequeñas variaciones en el ángulo de incidencia, o el tipo de recubrimiento pueden afectar significativamente la vida útil de la herramienta.
- La aplicación de MQL (Minimum Quantity Lubrication) puede haber sido más efectiva en el experimento actual, reduciendo la fricción y el desgaste.
- Material de la pieza de trabajo, pudo existir diferencias en la composición química, la microestructura o las propiedades mecánicas del material lo que puede alterar el proceso de corte y el desgaste de la herramienta.

Por tal motivo para realizar futuros ensayos con la aplicación del MQL, se recomienda colocar de manera correcta y efectiva la boquilla de salida del MQL, además de utilizar instrumentos

que puedan medir el caudal de salida del MQL hacia la pieza de mecanizado, comprobando de esta manera que sea efectivo la dispersión del lubricante.

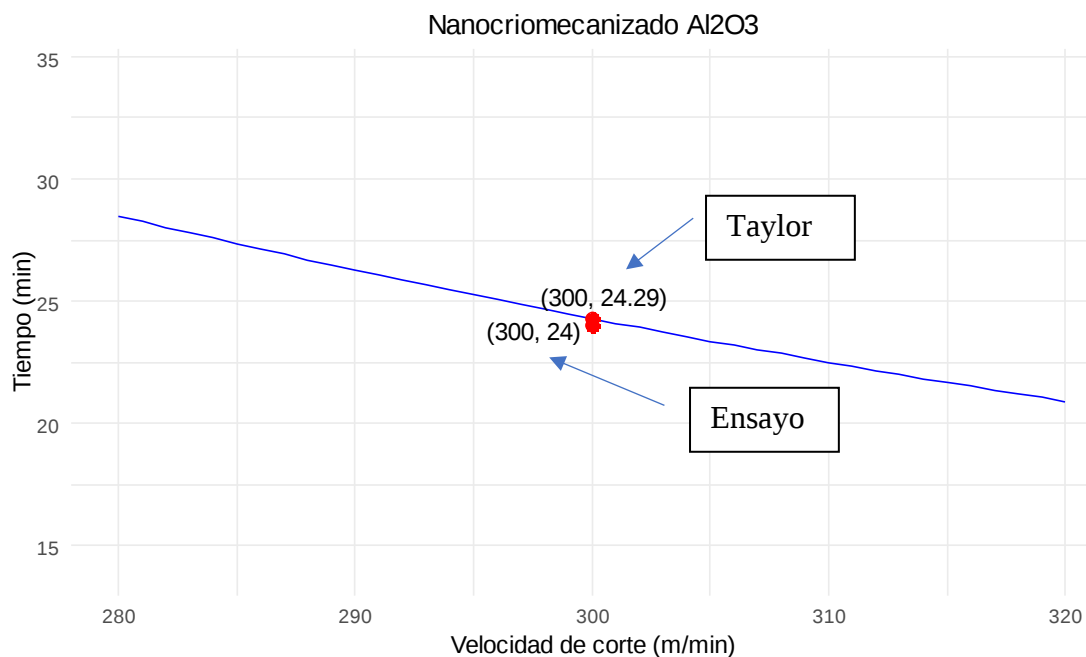


Figura 32. Gráfica de Taylor del método por Nanocriomecanizado Al₂O₃ con el resultado obtenido.

Discusión de los resultados obtenidos: En la Figura 32, se observa una gráfica del tiempo de vida útil en minutos de la herramienta de corte versus la velocidad de corte en m/min. Se verifica que el tiempo obtenido en el experimento de esta investigación es de 0.29 min hasta el fallo de la herramienta; ligeramente mayor al previsto por la ecuación de Taylor (24.29 min) en la investigación TTF06, el aumento de un 1.19% en el tiempo previsto puede deberse entre otras causas a:

- Material de la pieza de trabajo, la pureza, la microestructura y las propiedades mecánicas del Al₂O₃ pueden variar entre diferentes lotes, afectando la dificultad de mecanizado.
- Inexistencia de instrumentos de precisión para la medición de caudal por MQL, estos pueden provocar intermitencias en el abastecimiento del fluido de corte (MQL) que provoca un aumento de la temperatura en la zona de corte
- Inhomogeneidad en la mezcla, si la mezcla de nanopartículas y MQL no es completamente homogénea, pueden formarse aglomerados de nanopartículas. Estos

aglomerados pueden actuar como abrasivos, acelerando el desgaste de la herramienta, especialmente en las zonas donde se concentran.

3.9.2. Comparación de contrastes de los ensayos realizados en el torno

De la TTT02 se obtuvo la ecuación de Taylor que describen el tiempo en el cual el inserto llegará al fallo, despejada la variable de tiempo tenemos las ecuaciones (12) y (13) que describen la vida útil de la herramienta.

Ecuaciones de Taylor de la TTT02 en seco:

$$T = \sqrt[0.625]{\frac{1874.782}{V_c}} \quad (12)$$

Ecuación de Taylor de la TTT02 del sistema MQL+0.5%TiO₂

$$T = \sqrt[2.534]{\frac{2462585.143}{V_c}} \quad (13)$$

Con las ecuaciones previas se determinó el tiempo de desgaste de los insertos de cada prueba, los resultados se plasmaron en la Tabla 94.

Tabla 94. Resumen de los resultados obtenidos del mecanizado en el torno.

Velocidad de corte (m/min)	Sistema de lubricación	Tiempo para el fallo (min)	Tiempo mecanizado realizado (min)	Desgaste de flanco (μm)	Tipo de fallo (min)	Medida para el fallo (μm)
200	Seco	35.90	36	770.56	KF	600
300	MQL + 0.5%TiO ₂	35	35	850.87	KF	600

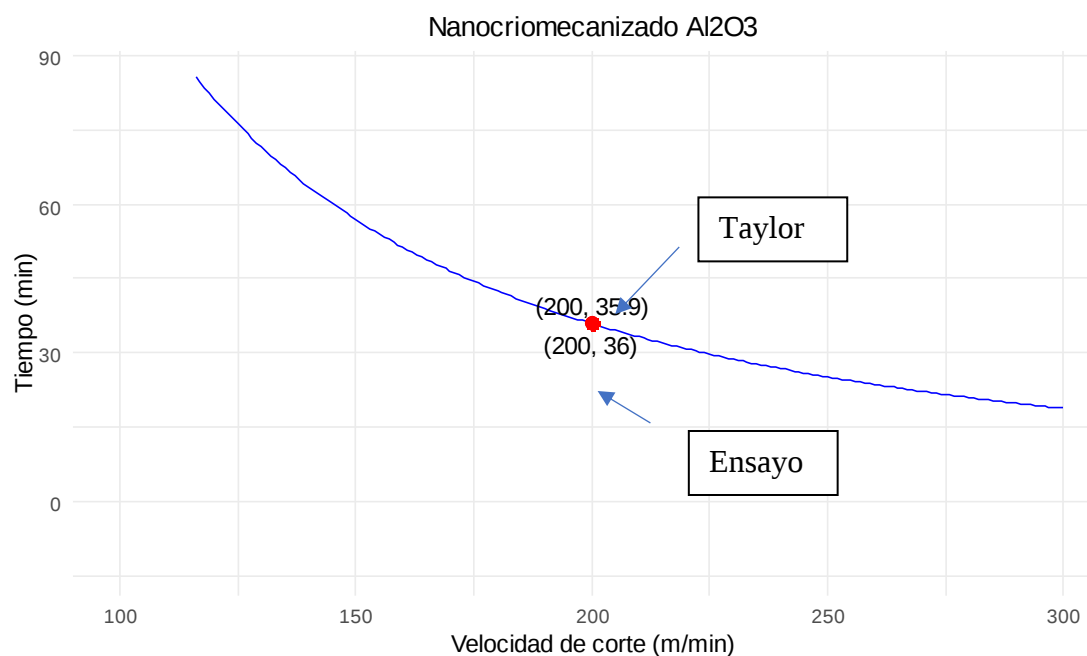


Figura 33. Gráfica de Taylor del método en seco con el resultado obtenido.

En la Figura 33, se observa una gráfica del tiempo de vida útil en minutos de la herramienta de corte versus la velocidad de corte en m/min. Se verifica que el tiempo obtenido en el experimento de esta investigación es de 36 min hasta el fallo de la herramienta; ligeramente

menor al previsto por la ecuación de Taylor (36 min) en la investigación TTT02 el aumento de un 0.27% en el tiempo previsto es muy bajo para que se considere como significativo.

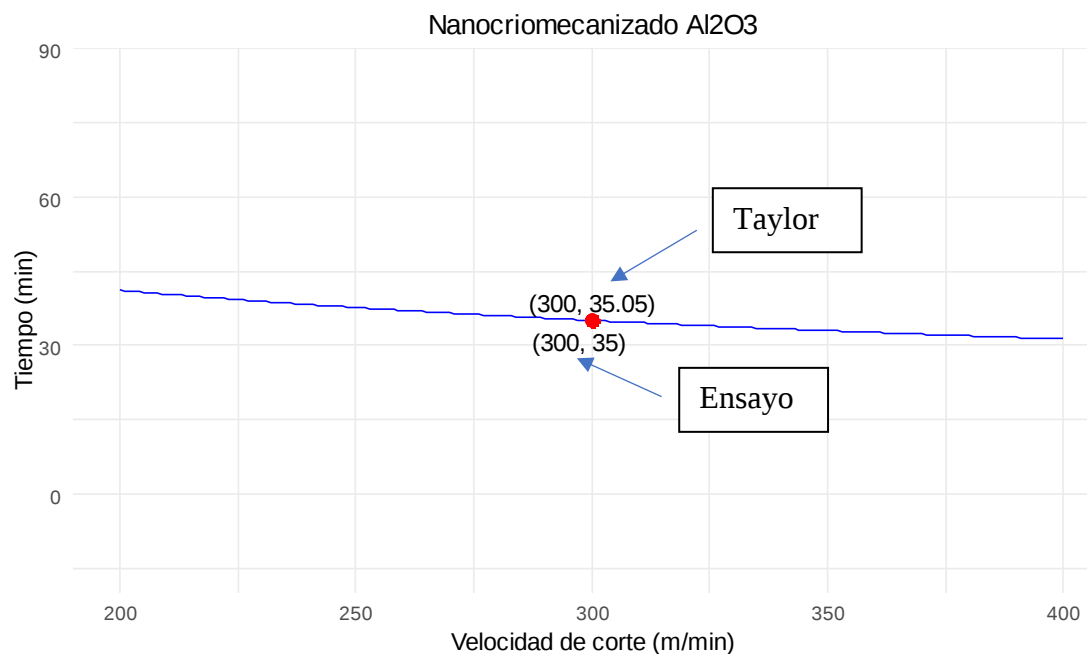


Figura 34. Gráfica de Taylor del método por MQL + 0.5% TiO₂ con el resultado obtenido.

En la Figura 34, se observa una gráfica del tiempo de vida útil en minutos de la herramienta de corte versus la velocidad de corte en m/min. Se verifica que el tiempo obtenido en el experimento de esta investigación es de 35 min hasta el fallo de la herramienta; ligeramente menor al previsto por la ecuación de Taylor (35.05 min) en la investigación TTT02 la disminución de un 0.14% en el tiempo previsto es muy bajo para que se considere como significativo.

Las curvas de Taylor coinciden con los datos obtenidos por experimentación, obteniendo como conclusión que las ecuaciones que predicen la vida útil de la herramienta de la TTT02 son muy acertadas.

3.9.3. Cálculo de errores entre los tiempos de mecanizado

Se obtuvieron los errores de cada uno de los ensayos realizados en la fresadora y torno, los cálculos que se realizaron fueron de error absoluto y el relativo, los datos considerados fueron el tiempo calculado al cual los insertos llegarían al fallo y el tiempo al cual los insertos llegaron al fallo experimentalmente, los datos se plasmaron en la Tabla 95.

Tabla 95. Errores absolutos y relativos sobre el tiempo de mecanizado calculado vs el obtenido al fallo de la herramienta de corte.

Velocidad de corte (m/min)	Sistema de lubricación	Tiempo para el fallo (min)	Tiempo mecanizado realizado (min)	Error absoluto	Error relativo
Fresadora					
230	Inundación	20.3778	13	-7.3778	36.2050
290	Nanocriomecanizado TiO ₂	33.9677	40	6.0323	17.7589
250	MQL	26.2596	30	3.7404	14.2439

Velocidad de corte (m/min)	Sistema de lubricación	Tiempo para el fallo (min)	Tiempo mecanizado realizado (min)	Error absoluto	Error relativo
300	Nanocriomecanizado Al ₂ O ₃	24.2859	24	-0.2859	1.1772
Torno					
200	Seco	35.90	36	0.1	0.2785
300	MQL+ 0.5%TiO ₂	35	35	0	0

3.10. Verificación de hipótesis

Desde los apartados 3.1 hasta el apartado 3.5, se ha realizado la verificación de la hipótesis, teniendo como resultados del análisis lo siguiente:

Tabla 96. Resumen de resultados obtenidos del análisis ANOVA en rugosidad superficial.

Análisis ANOVA - Rugosidad superficial	
Planteamiento de hipótesis	
Hipótesis nula H ₀	La rugosidad superficial promedio es la misma sin importar el tipo de probeta.
Hipótesis alternativa H ₁	La rugosidad superficial promedio es distinta al variar la probeta.

Probeta	Resultado
Tesis	TTT02
TTT02 S	H1
TTT02 MQL	H1
TTT02 MQL 25	H1
TTT02 MQL 50	H1
TTT02 MQL 100	H1
Tesis	TTT03
TTT03 S	H1
TTT03 MQL50TCO2	H1
Tesis	TTT04
TTT04	H1
Tesis	TTT05
TTT05 S	H1
TTT05 MQL 1BF4	H1
TTT05 MQL 1PF6	H1
Tesis	TTT06
TTF06 MQL 1018	H1
TTF06 MQL50TCO2 1018	H1
TTF06 MQL 304	H1
TTF06 MQL50TCO2 304	H1
Tesis	TTT07
TTF07 ACEITES MQL	H1
TTF07 ACEITES MQL CO2	H1
TTF07 ACEITES MQL CO250T	H1

La Tabla 96 muestra los resultados del análisis ANOVA en rugosidad superficial, aceptando la hipótesis alternativa (H1), en todas las tesis analizadas.

Tabla 97. Resumen de resultados obtenidos del análisis ANOVA en desgaste de flanco.

Análisis ANOVA - Desgaste de flanco	
Planteamiento de hipótesis	
Hipótesis nula H0	El desgaste de flanco es la mismo sin importar el tipo de probeta.
Hipótesis alternativa H1	El desgaste de flanco es distinto al variar la probeta.
Probeta	Resultado
Tesis	TTF01
TTF01 I	H1
TTF01 MQL	H1
Tesis	TTT02
TTT02 S	H1
TTT02 MQL 50	H1

Tesis	TTT04
TTT04	H1
Tesis	TTT05
TTT05 MQL 1BF4	H1
TTT05 MQL 1PF6	H1
Tesis	TTT06
TTF06 MQL 1018	H1
TTF06 MQL50TCO2 1018	H1
TTF06 MQL 304	H1
TTF06 MQL50TCO2 304	H1
Tesis	TTT08
TTF08 I	H1
TTF08 H	H1

Tabla 98. Resumen de las correlaciones realizadas a los datos de rugosidad superficial en todos los trabajos de titulación trabajados.

ANALISIS CORRELACIONAL EN LA RUGOSIDAD			
Influencia de los parámetros de corte en la rugosidad			
Influencia de radio de punta			
Tesis	Probetas	Correlación	Incidencia
TTT02 S	A001 vs A003	Negativa	Fuerte
	A002 vs A004	Negativa	Fuerte
TTT02 MQL	B001 vs B003	Negativa	Fuerte
	B002 vs B004	Negativa	Fuerte
TTT02 MQL 25	C001 vs C003	Negativa	Fuerte
	C002 vs C004	Negativa	Fuerte
TTT02 MQL 50	D001 vs D003	Negativa	Fuerte
	D002 vs D004	Negativa	Fuerte
TTT02 MQL 100	E001 vs E003	Negativa	Fuerte
	E002 vs E004	Negativa	Fuerte
Influencia de la velocidad de avance			
Tesis	Probetas	Correlación	Incidencia
TTT03 S	A001 vs A002	Positiva	Fuerte
	A003 vs A004	Positiva	Fuerte
TTT03 MQL50TCO2	B001 vs B002	Positiva	Fuerte
	B003 vs B004	Positiva	Fuerte
Influencia de los lubricantes - refrigerantes en la rugosidad			
Influencia del índice de viscosidad del líquido lubricante			
Tesis	Probetas	Correlación	Incidencia
TTF07 ACEITES MQL	SAE 20W50 vs Girasol vs Oliva	Negativa	Fuerte
TTF07 ACEITES MQL CO2	SAE 20W50 vs Girasol vs Oliva	Negativa	Fuerte

TTF07 ACEITES MQL CO250T	SAE 20W50 vs Girasol vs Oliva	Negativa	Moderada
Influencia del método híbrido y nanopartículas			
TTF07	SAE20W50 con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO2 y MQL+0.5%TiO2+CO2.	Negativa	Fuerte
	Aceite de girasol con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO2 y MQL+0.5%TiO2+CO2.	Negativa	Fuerte
	Aceite de oliva con los métodos de lubricación MQL, MQL+CO2 y MQL+0.5%TiO2+CO2.	Negativa	Fuerte
Influencia de la concentración de nano partículas			
TTT02	0% vs 0.25% vs 05% vs 1% de TiO2.	Positiva	Débil
	0% vs 0.25% vs 05% vs 1% de TiO2.	Negativa	Moderada
	0% vs 0.25% vs 05% vs 1% de TiO2.	Negativa	Fuerte
	0% vs 0.25% vs 05% vs 1% de TiO2.	Negativa	Fuerte
Influencia de lubricación híbrida			
TTF06	A001 vs B001	Negativa	Fuerte
	A002 vs B002	Negativa	Débil
	C001 vs D001	Negativa	Fuerte
	C002 vs D002	Negativa	Moderada
Influencia del ángulo de incidencia del fluido y números de racores en la rugosidad			
Influencia del ángulo de incidencia			
TTT04 MQL05TiO2	A001 vs A009	Positiva	Fuerte
	A002 vs A010	Negativa	Fuerte
	A003 vs A011	Negativa	Fuerte
	A004 vs A012	Negativa	Fuerte
	A005 vs A013	Positiva	Fuerte
	A006 vs A014	Positiva	Fuerte
	A007 vs A015	Positiva	Fuerte

	A008 vs A016	Negativa	Fuerte
	A017 vs A025	Negativa	Débil
	A018 vs A026	Negativa	Débil
	A019 vs A027	Positiva	Fuerte
	A020 vs A028	Positiva	Débil
	A021 vs A029	Positiva	Débil
	A022 vs A030	Negativa	Fuerte
	A023 vs A031	Negativa	Moderada
	A024 vs A032	Negativa	Fuerte
Influencia del número de racores			
TTT04 MQL05TiO2	A001 vs A017	Negativa	Fuerte
	A002 vs A018	Positiva	Fuerte
	A003 vs A019	Positiva	Fuerte
	A004 vs A020	Positiva	Fuerte
	A005 vs A021	Negativa	Fuerte
	A006 vs A022	Negativa	Fuerte
	A007 vs A023	Negativa	Débil
	A008 vs A024	Positiva	Nula
	A009 vs A025	Positiva	Moderada
	A010 vs A026	Negativa	Fuerte
	A011 vs A027	Positiva	Fuerte
	A012 vs A028	Positiva	Fuerte
	A013 vs A029	Negativa	Fuerte
	A014 vs A030	Positiva	Fuerte
	A015 vs A031	Negativa	Moderada
	A016 vs A032	Negativa	Débil
Influencia de los líquidos iónicos			
TTF05	Caso 0 vs Caso 1 vs Caso 2	Negativa	Fuerte
	Caso 0 vs Caso 1 vs Caso 2	Negativa	Moderada

Tabla 99. Resumen de las correlaciones realizadas a los datos de desgaste de flanco en todos los trabajos de titulación trabajados.

ANÁLISIS CORRELACIONAL EN EL DESGASTE DE FLANCO			
Influencia de los parámetros de corte			
Influencia de la velocidad de corte en la evolución del desgaste			
Tesis	Probetas	Correlación	Incidencia
TTF01 I	A001 vs A005	Positiva	Fuerte
	A002 vs A006	Positiva	Fuerte
	A003 vs A007	Positiva	Fuerte
	A004 vs A008	Positiva	Fuerte
TTF01 MQL	B001 vs B011	Positiva	Fuerte

	B002 vs B012	Positiva	Fuerte
	B003 vs B013	Positiva	Fuerte
	B004 vs B014	Positiva	Fuerte
	B005 vs B015	Positiva	Fuerte
TTT02 S	A001 vs A009	Positiva	Débil
	A002 vs A010	Positiva	Fuerte
	A003 vs A011	Positiva	Fuerte
	A004 vs A012	Negativa	Débil
	A005 vs A013	Positiva	Moderada
	A006 vs A014	Positiva	Fuerte
	A007 vs A015	Positiva	Fuerte
	A008 vs A016	Positiva	Moderada
TTT02 MQL 50	B001 vs B010	Positiva	Fuerte
	B002 vs B011	Positiva	Fuerte
	B003 vs B012	Negativa	Nula
	B004 vs B013	Positiva	Débil
	B005 vs B014	Negativa	Débil
	B006 vs B015	Negativa	Débil
	B007 vs B016	Negativa	Nula
	B008 vs B017	Positiva	Nula
	B009 vs B018	Positiva	Nula
TTT04 MQL05TiO2	A001 vs A005	Positiva	Fuerte
	A002 vs A006	Positiva	Fuerte
	A003 vs A007	Positiva	Fuerte
	A004 vs A008	Positiva	Fuerte
	A009 vs A013	Positiva	Fuerte
	A010 vs A014	Negativa	Moderada
	A012 vs A016	Positiva	Fuerte
	A013 vs A017	Positiva	Fuerte
	A014 vs A018	Positiva	Fuerte
	A015 vs A019	Negativa	Fuerte
	A016 vs A020	Negativa	Fuerte
	A017 vs A021	Positiva	Fuerte
	A018 vs A022	Negativa	Fuerte
	A019 vs A023	Negativa	Fuerte
	A020 vs A024	Negativa	Fuerte
	A025 vs A029	Negativa	Moderada
	A026 vs A030	Positiva	Fuerte
	A027 vs A031	Negativa	Fuerte
	A028 vs A032	Negativa	Fuerte
TTT05 MQL 1BF4	A001 vs A004	Negativa	Débil
	A002 vs A005	Positiva	Nula
	A003 vs A006	Positiva	Fuerte

TTT05 MQL 1PF6	B001 vs B004	Negativa	Fuerte
	B002 vs B005	Negativa	Moderada
	B003 vs B006	Negativa	Fuerte
Influencia del ángulo de incidencia del fluido y números de racores			
Influencia del ángulo de incidencia			
TTT04 MQL05TiO2	A001 vs A009	Positiva	Fuerte
	A002 vs A010	Negativa	Fuerte
	A003 vs A011	Negativa	Fuerte
	A004 vs A012	Negativa	Fuerte
	A005 vs A013	Positiva	Fuerte
	A006 vs A014	Positiva	Fuerte
	A007 vs A015	Positiva	Fuerte
	A008 vs A016	Negativa	Fuerte
	A017 vs A025	Positiva	Fuerte
	A018 vs A026	Negativa	Débil
	A019 vs A027	Negativa	Fuerte
	A020 vs A028	Negativa	Moderada
	A021 vs A029	Negativa	Fuerte
	A022 vs A030	Positiva	Fuerte
	A023 vs A031	Negativa	Fuerte
	A024 vs A032	Positiva	Fuerte
Influencia del número de racores			
TTT04 MQL05TiO2	A001 vs A017	Positiva	Fuerte
	A002 vs A018	Positiva	Débil
	A003 vs A019	Negativa	Fuerte
	A004 vs A020	Negativa	Fuerte
	A005 vs A021	Negativa	Débil
	A006 vs A022	Positiva	Fuerte
	A007 vs A023	Positiva	Fuerte
	A008 vs A024	Negativa	Fuerte
	A009 vs A025	Positiva	Fuerte
	A010 vs A026	Negativa	Fuerte
	A011 vs A027	Positiva	Fuerte
	A012 vs A028	Negativa	Fuerte
	A013 vs A029	Positiva	Fuerte
	A014 vs A030	Negativa	Fuerte
	A015 vs A031	Positiva	Fuerte
	A016 vs A032	Negativa	Fuerte

La Tabla 97 muestra los resultados del análisis ANOVA en desgaste de flanco, aceptando la hipótesis alternativa (H1), en todas las tesis analizadas.

La Tabla 98 muestra los resultados del análisis correlacional de los parámetros de mecanizado influyentes en la rugosidad superficial, comprobando de esta manera la hipótesis planteada en esta tesis. En esta tabla, se evidencia como cada parámetro tiene correlación y es influyente en el mecanizado de aceros, mejorando la calidad superficial.

La Tabla 99 muestra los resultados del análisis correlacional de los parámetros de mecanizado influyentes en el desgaste de flanco, comprobando de esta manera la hipótesis planteada en esta tesis. En esta tabla, se evidencia como cada parámetro tiene correlación y es influyente en el mecanizado de aceros, mejorando la productividad, aumentando significativamente la vida útil de las herramientas de mecanizado.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- En el contexto del mecanizado del acero AISI 304, los métodos ecológicos de lubricación y enfriamiento superan en rendimiento a las prácticas tradicionales, demostrando su capacidad para mejorar la productividad y la calidad superficial sin comprometer la sostenibilidad. Se ha evidenciado que la implementación de técnicas ecoeficientes en el mecanizado de aceros no es solo una necesidad ética, sino una estrategia efectiva para aumentar la competitividad en la industria, ofreciendo soluciones que contribuyen a la preservación del medio ambiente y a la protección de la salud de los trabajadores.
- Los parámetros de partida para la realización de los ensayos fueron determinados a partir del estudio previo de las tesis anteriores en donde se seleccionaron dos puntos en la proyección de la gráfica de Taylor para comprobar si la herramental llega al fallo en el tiempo precedido por las tesis anteriores, los resultados se aproximaron mucho a las gráficas a excepción del ensayo por inundación por razones previamente descritas validando así que las ecuaciones de Taylor son aproximaciones muy fiables a la realidad.
- Se utilizó el acero AISI 304 en todos los ensayos de fresado y torneado, en donde se seleccionó herramental para planeado frontal de 5 insertos a 45° de posición, con la designación “SEET12T3-DM-YBG202” para el fresado, para el torneado se seleccionó el inserto “CNMG 1204 04”.
- Se utilizó la concentración de 0.5% en peso de nanopartículas de TiO₂ y Al₂O₃ en los ensayos de nanocriomecanizado para contrastar los resultados obtenidos en la curva de Taylor y por el análisis correlacional se observó mejor rendimiento comparación a concentraciones de 0%, 0.25% y 1%.
- Al realizar los ensayos y comparar el método tradicional de lubricación por taladrina y el uso del “UNIST COOLUBE 2210 XP” por método MQL se evidencia una mejora en el desgaste del flanco y rugosidad superficial muy significativa como se evidencia en los resultados de las correlaciones realizadas.

- Bajo la norma ISO 8688-1 se determinó la vida útil de los insertos de fresado bajos los parámetros de mecanizado de velocidad de corte de 230 m/min, profundidad de corte de 0.3 mm y a inundación un tiempo de 13 minutos, velocidad de corte de 290 m/min profundidad de corte de 0.3 mm y lubricación por Cryo+NMQL TiO₂ un tiempo de 40 minutos, una velocidad de corte de 250 m/min, profundidad de pasada de 0.5 mm y lubricación por MQL un tiempo de 30 minutos y una velocidad de corte de 300 m/min una profundidad de pasada de 0.5 mm y un método de lubricación por Cryo+NMQL Al₂O₃ un tiempo de 24 minutos, siendo los insertos de Cryo+NMQL Al₂O₃ los que más se acercaron a la curva de Taylor, con tan solo un error del 1.19% respecto al tiempo de mecanizado real vs el teórico.
- Bajo la norma ISO 3685 se determinó la vida útil de la punta del inserto de torno bajos los parámetros de mecanizado de velocidad de corte de 200 m/min, profundidad de corte de 0.4 mm y a inundación un tiempo de 36 minutos, velocidad de corte de 300 m/min profundidad de corte de 0.4 mm y lubricación por NMQL TiO₂ un tiempo de 35 minutos, siendo el inserto de NMQL TiO₂ el que contactó con la curva de Taylor ya que la herramienta falló en el tiempo previsto teóricamente.
- Se obtuvieron los siguientes errores en cada uno de los tiempos en los cuales los insertos fallaron de 36.2050%, 17.7589%, 14.2439% y 1.1772% para los ensayos que se realizaron en fresado 1, 2, 3 y 4 respectivamente.
- Los resultados obtenidos en la vida útil del flanco son los siguientes: Para los ensayos realizados en la fresadora para inundación faltaron 7.33 min, para Nanocriomecanizado con TiO₂ superó 6.03 min, para MQL superó 3.74 min, para Nanocriomecanizado con Al₂O₃ faltaron 0.29 min para contactar con las curvas de las ecuaciones de Taylor, traduciéndose en un -63.78%, 17.75%, 14.24% y -1.19% de mejora respectivamente en la vida útil de los insertos, para los ensayos realizados en el torno en seco y para Nano MQL con TiO₂ los resultados se acercaron mucho a la curva de Taylor ya que el al tiempo de mecanizado llegaron al fallo según los criterios de vida útil de la normativa con un 0.27% y -0.14% de mejora respectivamente en la vida útil del inserto.
- Los tipos de influencia de fuerte incidencia, valores de correlaciones obtenidas en el rango de 0.5 hasta 1, al momento de mecanizar en el acero AISI 304 son: El radio de punta y velocidad de avance inversa y directamente proporcional respectivamente, la

influencia de los líquidos iónicos es moderada, valores de correlaciones obtenidos en el rango de 0.3 hasta 0.5, fuerte e indirectamente proporcional.

- Se determinó que el mejor método para mecanizar y obtener buenos resultados en el acabado superficial y desgaste de flanco es el híbrido que consiste en emplear MQL + 0.5% nanopartículas TiO₂ + enfriado criogénico con CO₂ siendo de fuerte incidencia respecto al método con MQL o MQL + enfriado criogénico con CO₂.
- Los resultados obtenidos a partir del estudio de los datos recopilados con los líquidos iónicos son que a la velocidad de corte de 195 y 235 m/min los 1PF6 y el 1BF4 fueron aquellos que trabajaron mejor respectivamente.

4.2. RECOMENDACIONES

- Interpretar los resultados del análisis ANOVA considerando las estadísticas de prueba, los valores p y los efectos de los factores. Determinar si las hipótesis planteadas se aceptan o rechazan en base a los resultados.
- Crear histogramas, gráficos de Q-Q (Quantile-Quantile) o gráficos de densidad de probabilidad para visualizar la distribución de los datos y detectar posibles desviaciones de la normalidad.
- En el caso de que los datos presenten asimetría, considerar aplicar transformaciones logarítmicas (log10 o log2) para normalizar su distribución.
- Interpretar los valores de correlación (r) en términos de la fuerza y dirección de la relación entre las variables. Utilizar una tabla de interpretación de correlaciones para clasificar la fuerza de la asociación (débil, moderada o fuerte) y su dirección (positiva o negativa).
- Antes de iniciar el trabajo, realizar una inspección completa de la fresadora CNC, verificando el estado de la mesa, los ejes, el husillo y las herramientas de corte.
- La correcta preparación de los equipos y materiales es crucial para el éxito de los ensayos. Esto incluye verificar el cero pieza, la sujeción del trabajo y la herramienta, la programación del código G, la limpieza previa de los insertos, y el correcto funcionamiento del sistema criogénico.
- La seguridad del personal y la integridad de los equipos deben ser prioridades absolutas. Se deben seguir las normas de seguridad industrial, utilizar el equipo de protección personal adecuado, y realizar mantenimientos preventivos a los equipos.

- El nano fluido requiere un manejo especial debido a las nanopartículas en suspensión. Se recomienda utilizar el mismo día de su preparación, homogeneizarlo antes de usar, y evitar recipientes de vidrio. La limpieza regular del módulo MQL es esencial para prevenir obstrucciones.
- Asegurarse que el área de trabajo esté bien ventilada durante el uso de MQL. La niebla de lubricante puede ser irritante para los ojos y las vías respiratorias.
- Ajustar el flujo de CO₂ líquido en función del material de la pieza de trabajo, la herramienta de corte y la profundidad de corte. Un flujo adecuado es esencial para lograr una refrigeración eficaz y evitar daños en la herramienta.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] “Informe Indicadores de Sostenibilidad 2023 - worldsteel.org.” Accessed: Apr. 24, 2024. [Online]. Available: <https://worldsteel.org/steel-topics/sustainability/sustainability-indicators-2023-report/>
- [2] Luis Schvab, *Guía didáctica Máquinas y herramientas*. Accessed: Jul. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/maquinas-y-herramientas.pdf>
- [3] Carlos Díaz Campoverde, *ALEACIONES HIERRO-CARBONO Propiedades y Aplicaciones*, 1st ed., vol. 1. Quito: EPN, 2019.
- [4] “Producción de acero bruto en marzo de 2024 - worldsteel.org.” Accessed: Apr. 24, 2024. [Online]. Available: <https://worldsteel.org/media/press-releases/2024/march-2024-crude-steel-production/>
- [5] Alpha Pernía Espinoza, Julio Blanco Fernández, José Manuel Sierra Soto, Juan Carlos Azofra Rueda, and Fco. Javier Martínez de Pisón Ascacíbar, “Practicas de Mecanizado en Torno y Fresadora”, Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: <file:///C:/Users/fabic/Downloads/Dialnet-PracticasDeMecanizadoEnTornoYFresadora-708694.pdf>
- [6] L. C. Magalhães, G. C. Carlesso, L. N. L. de Lacalle, M. T. Souza, F. de O. Palheta, and C. Binder, “Tool Wear Effect on Surface Integrity in AISI 1045 Steel Dry Turning,” *Materials* 2022, Vol. 15, Page 2031, vol. 15, no. 6, p. 2031, Mar. 2022, doi: 10.3390/MA15062031.
- [7] M. Stojković, M. Madić, M. Trifunović, and R. Turudija, “Determining the Optimal Cutting Parameters for Required Productivity for the Case of Rough External Turning of AISI 1045 Steel with Minimal Energy Consumption,” *Metals* 2022, Vol. 12, Page 1793, vol. 12, no. 11, p. 1793, Oct. 2022, doi: 10.3390/MET12111793.
- [8] JOSÉ LUIS MORAN GONZÁLEZ, *EFFECTOS TÉRMICOS EN EL MECANIZADO DE PIEZAS DE ACERO AL CARBONO*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2000.

- [9] S. Kurpiel, B. Cudok, K. Zagórski, J. Cieřlik, K. Skrzypkowski, and W. Brostow, "Influence of Tools and Cutting Strategy on Milling Conditions and Quality of Horizontal Thin-Wall Structures of Titanium Alloy Ti6Al4V," *Sensors (Basel)*, vol. 23, no. 24, Dec. 2023, doi: 10.3390/S23249905.
- [10] H. Wärner, R. Eriksson, G. Chai, J. Moverare, S. Johansson, and M. Calmunger, "Influence of ageing on thermomechanical fatigue of austenitic stainless steels," *Procedia Structural Integrity*, vol. 23, pp. 354–359, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.PROSTR.2020.01.112.
- [11] A. Chu *et al.*, "Nanofluids Minimal Quantity Lubrication Machining: From Mechanisms to Application," *Lubricants 2023, Vol. 11, Page 422*, vol. 11, no. 10, p. 422, Oct. 2023, doi: 10.3390/LUBRICANTS11100422.
- [12] 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," 2016, Accessed: Apr. 24, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/23063>
- [13] L. manuel Márquez Moya, "Estudio del efecto del sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) con aceite vegetal en la vida de las herramientas de corte de metal duro en el proceso de torneado del acero inoxidable AISI 304," 2016, Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/23309>
- [14] D. Núñez, B. Núñez, H. Vaca, and 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, no. 2, pp. 44–55, Mar. 2017, doi: 10.29019/enfoqueute.v8n2.157.
- [15] B. M. Núñez Arellano, "Estudio del efecto del sistema de mínima cantidad de lubricación (MQL) con aceite vegetal en la vida de las herramientas de corte de metal duro en el fresado del acero AISI 1018," 2016, Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/23310>

- [16] J. C. Villácrés Gavilanes, “Influencia de los sistemas de lubricación en el acabado superficial en la punta de eje posterior del Nissan Patrol en el proceso de torneado,” 2016, Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/24155>
- [17] C. R. Morales Portero, “Efecto del nanolubricante (aceite lubricante+tio2) en el acabado superficial del torneado del acero inoxidable AISI 304,” 2018, Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/26999>
- [18] L. A. Mayorga Ases and 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,” 2020, Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/31235>
- [19] J. J. González Jiménez, “Análisis comparativo de la evolución del desgaste de las herramientas de corte en procesos de fresado del acero AISI 304 lubricados mediante inundación y nanocriomecanizado,” 2024, Accessed: Jun. 23, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/40969>
- [20] Cheringuene Rachid, “ESTUDIO NUMÉRICO DE LOS FENÓMENOS DE CONTACTO EN EL MECANIZADO”.
- [21] L. S. López Telenchana, C. M. Estrada Hernández, M. D. Jurado Robayo, and G. R. Valdez Muñoz, “Impacto ambiental de los procesos industriales de mecanizado por arranque de viruta con tornos paralelos mediante métodos innovadores: revisión del estado del arte,” *ConcienciaDigital*, vol. 7, no. 2, pp. 126–140, Apr. 2024, doi: 10.33262/concienciadigital.v7i2.2993.
- [22] Mazak, “Torneado.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.mazakusa.com/es/machines/process/turning/>
- [23] Umesal, “Fresado de diferentes materiales ▷ Umesal Mecanizados.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://umesal.com/fresado-de-diferentes-materiales/>

- [24] RONNY BLADIMIR SAGÑAY MOYON, “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE TALADRADO DE PLANCHAS DE ACERO ASTM A36, EN CENTRO DE MECANIZADO CNC, CON DIFERENTES CONDICIONES DE LUBRICACIÓN, BAJO CRITERIOS DE SOTENIBILIDAD COMPONENTE DE TRABAJO: SIN LUBRICACIÓN,” ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, 2024.
- [25] 123RF, “Broca Escalonada. Detalle De Virutas Retorcidas. Realización De Agujero En Perfil De Aluminio. Primer Plano De Unibit. Perforación De Aleación De Aluminio Con Herramienta De Corte Recubierta De Titanio. Mecanizado De Viruta Sobre Fondo Negro. Trabajo En Metal. Fotos, retratos, imágenes y fotografía de archivo libres de derecho. Image 123489187.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: https://es.123rf.com/photo_123489187_broca-escalonada-detalle-de-virutas-retorcidas-realizaci%C3%B3n-de-agujero-en-perfil-de-aluminio-primer-p.html
- [26] S. Maldonado, “Guía completa del proceso de rectificado: tipos, aplicaciones y beneficios en la industria.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.metalmecanica.com/es/noticias/guia-completa-del-proceso-de-rectificado-tipos-aplicaciones-y-beneficios-en-la-industria>
- [27] ExperTool, “Roscado - ExperTool.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.exper-tool.com/es/productos/roscado/>
- [28] Luis Noboa Lopez de Lacalle, José Antonio Sánchez Galindez, and Aitzol Lamikit Menchaca, *Mecanizado de alto rendimiento*, Tecnicas Izaro. 2004.
- [29] “Fallas en Herramientas de Corte | Censa Industrial.” Accessed: Aug. 06, 2024. [Online]. Available: <https://censaindustrial.com/fallas-en-herramientas-de-corte/>
- [30] Luis Noboa Lopez de Lacalle, José Antonio Sánchez Galindez, and Aitzol Lamikit Menchaca, *Mecanizado de alto rendimiento*, Tecnicas Izaro. 2004.
- [31] V. Dubey, A. K. Sharma, P. Vats, D. Y. Pimenov, K. Giasin, and D. Chuchala, “Study of a Multicriterion Decision-Making Approach to the MQL Turning of AISI 304 Steel

- Using Hybrid Nanocutting Fluid,” *Materials* 2021, Vol. 14, Page 7207, vol. 14, no. 23, p. 7207, Nov. 2021, doi: 10.3390/MA14237207.
- [32] B. M. Núñez Arellano, “Estudio del efecto del sistema de mínima cantidad de lubricación (MQL) con aceite vegetal en la vida de las herramientas de corte de metal duro en el fresado del acero AISI 1018,” 2016, Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/23310>
- [33] A. S. Abdul Sani, E. A. Rahim, S. Sharif, and H. Sasahara, “Machining performance of vegetable oil with phosphonium- and ammonium-based ionic liquids via MQL technique,” *J Clean Prod*, vol. 209, pp. 947–964, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.317.
- [34] P. Faraldo and B. Pateiro, “Estadística y metodología de la investigación Tema 1. Estadística Descriptiva”.
- [35] Antonio Rustom J., “ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, PROBABILIDAD E INFERENCIA. Una visión conceptual y aplicada.,” 2012.
- [36] C. Peñaherrera, C. Verónica, S. Montesdeoca, and D. V. Mora, “Conocimiento especializado de un profesor universitario sobre medidas de centralización y de dispersión, aplicando el modelo MTSK Palabras clave Title”, Accessed: Mar. 20, 2024. [Online]. Available: <http://www.sinewton.org/numeros>
- [37] Antonio Rustom J., “ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, PROBABILIDAD E INFERENCIA. Una visión conceptual y aplicada.,” 2012.
- [38] C. De and I. Mecánica, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO Tesis previa a la obtención del título de: INGENIEROS MECÁNICOS”.
- [39] Joaquín Amat Rodrigo, “RPubs - ANOVA con R.” Accessed: Mar. 20, 2024. [Online]. Available: https://rpubs.com/Joaquin_AR/219148
- [40] M. P. García Sanz and P. Martínez Clares, “Guía práctica para la realización de trabajos fin de grado y trabajos fin de máster,” 2013.

- [41] B. Marcelo and N. Arellano, “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. AUTOR.”
- [42] D. A. Chadán Llumitasig, “Optimización del proceso de torneado del acero AISI 304 mediante el sistema de lubricación / enfriamiento con nanofluido criogénico,” 2021, Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33184>
- [43] D. A. Albán Ruiz and P. A. Guamán Peñafiel, “Estudio del efecto de los líquidos iónicos (BMIMBF4) y (BMIMPF6) como aditivos en el aceite vegetal para el sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) en la vida útil de las herramientas de corte de metal duro y acabado superficial en el proceso de torneado del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI/SAE 4140,” 2021, Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33256>
- [44] P. H. Cajas Lema, “Estudio de aceites de corte alternativos para procesos de mecanizado criogénico,” 2024, Accessed: Jun. 23, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/40649>
- [45] Gabriel Jaime Posada Hernández, *ELEMENTOS BÁSICOS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA para el análisis de datos*, Fondo Editorial Luis. Medellín: Luis Amigó, 2016.
- [46] “ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA Capítulo 1. INTRODUCCIÓN 1.1 ¿Qué es la estadística?,” 2001.
- [47] J. Dagnino, “ANÁLISIS DE VARIANZA”.
- [48] S. S. Monroy, “Estadística Descriptiva,” *Mexico: Instituto Politécnico Nacional*, p. 326, 2008, Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/ereader/utnorte/74722>

- [49] F. Tapia, C. Ernesto, F. Cevallos, K. L. Carlos, E. Flores Tapia, and K. Lissette, "PRUEBAS PARA COMPROBAR LA NORMALIDAD DE DATOS EN PROCESOS PRODUCTIVOS: ANDERSON-DARLING, RYAN-JOINER, SHAPIRO-WILK Y KOLMOGÓROV-SMIRNOV," *Periodicidad: Semestral*, vol. 23, no. 2, p. 2021, 2021.
- [50] E. A. Zúñiga *et al.*, "The Pearson or Spearman Correlation in physical and textile traits of alpaca fibre," *Rev Inv Vet Perú*, vol. 33, no. 3, p. 22908, 2022, doi: 10.15381/rivep.v33i3.22908.
- [51] J. Diego Hernández, "Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones On the proper use of the Pearson correlation coefficient: definitions, properties and assumptions," vol. 37, 2018, Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: <https://orcid.org/0000-0003->
- [52] "RStudio User Guide - RStudio IDE User Guide." Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: <https://docs.posit.co/ide/user/>
- [53] G. T. Smith, *Cutting Tool Technology*. London: Springer London, 2008. doi: 10.1007/978-1-84800-205-0.
- [54] "Catálogo de Aceros & Materiales 2023." Accessed: Jun. 25, 2024. [Online]. Available: <https://online.fliphtml5.com/dljug/alyk/#p=36>
- [55] "9MCLNR-1616H12-A-MTENN-2525M16.pdf." Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://mctools.co/wp-content/uploads/2019/09/9MCLNR-1616H12-A-MTENN-2525M16.pdf>
- [56] "SEET 12T3 DM YBG202 Carbide Insert." Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.shars.com/seet-12t3-dm-ybg202-carbide-insert#>
- [57] "Catálogos y manuales de Sandvik Coromant." Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/downloads?filter=%7B%22refiners%22:%7B%22languages%22:%5B%22es-es%22%5D,%22categories%22:%5B%5D%7D%7D>

- [58] “Chevron Soluble Oil D-Continuación”.
- [59] “TiO₂ Nanoparticles / TiO₂ Nanopowder (TiO₂, anatase, 99.9%, 100nm).” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.us-nano.com/inc/sdetail/47163>
- [60] “Aluminum Oxide Nanopowder / Nanoparticles (Al₂O₃, alpha, High Purity 99.9%, 135nm).” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.us-nano.com/inc/sdetail/2564>
- [61] “Producto de Unist: Coolube® 2210XP.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://unist.mx/product.html?prod=2210xp>
- [62] “ficha técnica - Haas ST-10 Máquinas de segunda mano - Exapro.” Accessed: Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.exapro.es/sp/haas-st-10-48350/>
- [63] Perea Xavier, “Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, 4th Edition Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales Página 1 de 5 Troud.” Accessed: Jul. 31, 2024. [Online]. Available: https://www.academia.edu/39261016/Fundamentos_de_la_ciencia_e_ingenier%C3%ADa_de_materiales_4th_Edition_Fundamentos_de_la_ciencia_e_ingenier%C3%ADa_de_materiales_P%C3%A1gina_1_de_5_Troud

6. ANEXOS

ANEXO A

Análisis ANOVA

Primero hay que cargar las librerías que se van a utilizar, para el análisis ANOVA solamente es necesario cargar la librería readxl para poder leer datos de un archivo de excel, también hay que indicar el directorio de trabajo donde se encuentran los archivos

```
```{r}

library(readxl)

library(dplyr) #Filtrar el tipo de probetas#

library(scatterplot3d) #Generar gráfico en 3D#

library(nortest) #Librería análisis Anderson Darling#

setwd("C:/Users/fabic/OneDrive - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO/Carrera
de Mecánica/Tesis/Directorio de trabajo") #Ubicación de archivos de trabajo#

```
```

Luego cargamos los datos del archivo a una variable dentro del programa para poder procesarlos y se obtienen los nombres de las columnas para poderlas integrar en el comando para el análisis ANOVA

```
```{r}

TTT04MQL50TCO2 <- read_excel("DATOS_TESIS_DESGASTE.xlsx", sheet =
"TTT04 MQL50TCO2")

colnames(`TTT04MQL50TCO2`)

```
```

En la línea de código (data=TT01, `salida` ~ `entrada`) primero se menciona a la variable de salida o el resultado y después la variable de entrada o la independiente

```
TTT05S <- TTT05S %>%

filter(Probeta == "TTT02S")      #Crear variable de filtro#

```{r}

summary(aov(data=TTT04MQL50TCO2, `Desgaste de flanco um` ~ `Probeta`))

```
```

Planteamos la hipótesis nula H0: La rugosidad superficial promedio es la misma sin importar la velocidad del husillo del torno.

Planteamos la hipótesis alternativa H1: La rugosidad superficial promedio es distinta al variar la velocidad del husillo del torno.

Determinamos que nuestro valor de confianza será del 95% por lo que nuestro valor de significancia es de $\alpha=0.05$

Si $Pr > \alpha$, se acepta la hipótesis nula

Si $Pr \leq \alpha$, se acepta la hipótesis alternativa

Así se concluye el análisis ANOVA

```
#####  
#####
```

Análisis correlacional

Como ya se cargó el archivo de excel en una variable dentro del programa no es necesario hacerlo de nuevo, solo es necesario cargar las librerías adicionales para poder realizar los gráficos y el análisis correlacional

Para realizar filtrado de columnas es útil utilizar la siguiente línea de código

```
filter(TT01, Probeta == "TT01I")
```

Primero determinamos el tipo de distribución de los datos para identificar el tipo de correlación adecuada

```
#Crear variable de filtro#
```

```
E004 <- filter(TTT02S, `Probeta` == "E004")
```

```
#Crear variable de filtro#
```

```
A002 <- filter(TTT02S, Probeta %in% c("A001", "A003"))
```

```
#Prueba Kolmogorov-Smirnov#
```

```
ks.test(TTT04MQL50TCO2$`Ra um`, "pnorm", mean(TTT03SS$`Ra um`),  
sd(TTT03SS$`Ra um`))
```

```
#Prueba Lilliefors#
```

```
lillie.test(TTT03MQL50TCO2$`Ra um`)
```

```
`{r}
```

```
library(ggplot2) #Generar gráficos#
```

```
library(GGally) #Generar gráficos múltiples#
```

```
#Crear variable de filtro#
```

```
A001 <- filter(TTT04MQL50TCO2, `Probeta` == "A001")
```

```
# Histograma de la variable `Ra um`
```

```
hist(A001$`Desgaste de flanco um`, breaks = 20, main = "Histograma de `Desgaste de  
flanco um`, xlab = "Desgaste de flanco um", col = "blue")
```

```
# Gráfico QQ de la variable `Ra um`
qqnorm(TTT04MQL50TCO2$`Desgaste de flanco um`)
qqline(TTT04MQL50TCO2$`Desgaste de flanco um`, col = "red")
```

```
# Pruebas de normalidad para la variable `Ra um`
shapiro.test(TTT04MQL50TCO2$`Desgaste de flanco um`)
ad.test(TTT04MQL50TCO2$`Desgaste de flanco um`)
``
```

Se plantean las dos hipótesis para determinar si la distribución es normal o no

H0: Los datos siguen una distribución normal

H1: Los datos no siguen una distribución normal

$P > 0.05$ Se acepta H0

$P < 0.05$ Se acepta H1

```
#####
#####
```

SI LA DISTRIBUCIÓN ES PARAMÉTRICA

PEARSON

Ahora se generan graficos logaritmicos para visulizar mejor la distribución y obtenemos la covarianza y la correación de PEARSON entre las variables

```
facet_wrap(~Probeta, ncol=3)
`` {r}
#Crear variable de filtro#
TTT07MQLSAE20W50 <- filter(TTT07ACEITESMQL50TCO2, Probeta %in%
c("B001", "C001", "D001", "E001"))
colnames(TTT07ACEITESMQLCO2)
#Generar gráfico logaritmico#
ggplot(CD2)+
  geom_point(aes(x=`Lubricación`, y=`Ra um`))+
  scale_y_log10()+
  scale_x_log10()
```

```
#Obtener la covarianza#
```

```
cov(TTT07ACEITESMQL$`Método de lubricación`, TTT07ACEITESMQL$`Ra um`)
```

```
#Obtener la correlación de PEARSON#
```

```
cor(ABC1$`Lubricación`, ABC1$`Ra um`)
```

```
``
```

Para gráficos que se tengan que leer desde un archivo de excel pero distintas hojas de excel

```
````{r}
```

```
Definir el nombre del archivo y las hojas específicas a leer
```

```
archivo <- "C:/Users/fabic/OneDrive - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
AMBATO/Carrera de Mecánica/Tesis/Directorio de trabajo/DATOS_TESIS1.xlsx"
```

```
hojas <- c("TTT05 S", "TTT05 MQL1BF4", "TTT05 MQL1PF6")
```

```
Leer todas las hojas específicas y combinarlas en un solo DataFrame
```

```
datos_list <- lapply(hojas, function(hoja) {
```

```
 df <- read_excel(archivo, sheet = hoja)
```

```
 # Asegurarse de que las columnas se llamen de manera uniforme
```

```
 colnames(df) <- c("Probeta", "Velocidad del husillo rpm", "Velocidad de corte m/min",
"Velocidad de avance (mm/min)", "Profundidad de avance mm", "Radio punta mm",
"Lubricación", "Ra um")
```

```
 return(df)
```

```
})
```

```
Combinar todas las hojas en un solo DataFrame
```

```
datos <- do.call(rbind, datos_list)
```

```
#Crear variable de filtro#
```

```
ABC1 <- filter(datos, Probeta %in% c("A001", "B001", "C001"))
```

```
Verificar los datos combinados
```

```
head(ABC1)
```

```
Crear la gráfica de puntos
ggplot(data = ABC1, aes(x = `Lubricación`, y = `Ra um`)) +
 geom_point(size = 1, color = "blue") +
 labs(title = "Ra vs Tipo de lubricación",
 x = "Lubricación",
 y = "Ra um") +
 theme_minimal()
````
```

Ahora podemos generar gráficos multiples para la correlacion entre las distintas variables además de generar matrices de correlacion de PEARSON y covarianza

```
````{r}

#Generar gráfico logaritmico#
ggpairs(TTT07ACEITESMQL[,c(5,6)])+
 scale_y_log10()+
 scale_x_log10()

#Genera matriz de covarianza#
cov(TTT07ACEITESMQL[,c(5,6)])

#Genera matriz de correlaciones de PEARSON#
cor(TTT07ACEITESMQL[,c(5,6)])
```

#####
#####
```

DISTRIBUCIÓN DE DATOS NO PARAMÉTRICA

SPEARMAN

Ahora se generan graficos logaritmicos para visulizar mejor la distribución y obtenemos la covarianza y la correación de SPEARMAN entre las variables

```
````{r}

colnames(TTT02MQL)

#Generar gráfico logaritmico#
ggplot(TTT02MQL)+
```

```

geom_point(aes(x=`Velocidad del husillo rpm`, y=`Ra um`))+
scale_y_log10()+
scale_x_log10()
#Obtener la covarianza#
cov(TTT02MQL$`Velocidad del husillo rpm`, TTT02MQL$`Ra um`)
#Obtener la correlación de SPEARMAN#
cor(TTT02MQL$`Velocidad del husillo rpm`, TTT02MQL$`Ra um`, method =
"spearman")
'''

```

Ahora podemos generar gráficos multiples para la correlacion entre las distintas variables además de generar matrices de correacion de SPEARMAN y covarianza

```

''' {r}
#Generar gráfico logaritmico correlación Pearson#
ggpairs(A0013[,c(5,6)])+
scale_y_log10()+
scale_x_log10()
#Genera matriz de covarianza#
cov(TTT03MQL50TCO2[,c(2,3,4,7)])
#Genera matriz de correlaciones de SPEARMAN#
cor(TTT02S[,c(2,3,5,6)], method = "spearman")
'''

```

Ahora se realizarán gráficos en 3D con las variables influyentes en el proceso de acabado superficial

```

''' {r}
scatterplot3d(TTT02S$`Velocidad de corte m/min`, TTT02S$`Radio punta mm`,
TTT02S$`Ra`,
pch = 19, main="Gráfico 3D", cex.lab=1,
color="blue", type="h",
xlab = "Velocidad de corte m/min", ylab = "Radio punta mm", zlab = "Ra")
'''

```

```

#####
```

Gráficas que permiten contrastar los resultados obtenidos con las otras tesis de estudio

```
``{r}
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(ggrepel)
```

```
Definir la función
```

```
f<- function(x) {
 (1187.88/x)^(2.318)
}
```

```
Definir los puntos de interés
```

```
x_point1 <- 300
```

```
y_point1 <- f(x_point1)
```

```
x_point2 <- 300 # Cambia esto por la coordenada x del segundo punto
```

```
y_point2 <- 24
```

```
Crear data frame para los puntos
```

```
points <- data.frame(
 x = c(x_point1, x_point2),
 y = c(y_point1, y_point2)
)
```

```
Crear data frame para la función
```

```
x_vals <- seq(50, 400, by = 1)
```

```
function_data <- data.frame(
 x = x_vals,
 y = f(x_vals)
```

)

# Crear data frame para las proyecciones

```
projections <- data.frame(
 x = c(points$x, rep(0, nrow(points))), # Agregar puntos de origen en x
 y = c(points$y, rep(0, nrow(points))), # Agregar puntos de origen en y
 xend = rep(0, nrow(points)), # Todos los xend son 0
 yend = rep(0, nrow(points)) # Todos los yend son 0
)
```

# Definir los límites para el zoom

```
x_zoom_min <- x_point1 - 20
x_zoom_max <- x_point1 + 20
y_zoom_min <- y_point2 - 10
y_zoom_max <- y_point1 + 10
```

# Graficar con zoom

```
ggplot() +
 geom_line(data = function_data, aes(x = x, y = y), color = "blue") +
 geom_point(data = points, aes(x = x, y = y), color = "red", size = 3) +
 geom_segment(data = projections, aes(x = x, y = y, xend = xend, yend = yend),
 linetype = "dashed") +
 geom_text_repel(data = points, aes(x = x, y = y, label = paste0("(", x, ", ", round(y, 2),
 "))), nudge_y = 0.5) +
 theme_minimal() +
 labs(title = "Nanocriomecanizado Al2O3", x = "Velocidad de corte (m/min)", y =
 "Tiempo (min)") +
 theme(
 plot.title = element_text(hjust = 0.5)
) +
 xlim(x_zoom_min, x_zoom_max) +
 ylim(y_zoom_min, y_zoom_max)
```

```
'''
```

Para el calculo de errores

```
```{r}
```

```
# Definir la función teórica
```

```
f <- function(x) {  
  (1187.88/x)^(2.318)  
}
```

```
# Definir el primer punto teórico
```

```
x_point1 <- 300  
y_point1_teorico <- f(x_point1)
```

```
# Definir el segundo punto experimental
```

```
x_point2 <- 300  
y_point2_experimental <- 24  
error_point2 <- 2 # Error asociado al punto experimental
```

```
# Crear data frame para los puntos teóricos y experimentales
```

```
datos <- data.frame(  
  x = c(x_point1, x_point2),  
  y = c(y_point1_teorico, y_point2_experimental),  
  tipo = c("Teórico", "Experimental"),  
  error = c(NA, error_point2) # No hay error para el punto teórico  
)
```

```
# Definir límites del zoom
```

```
x_zoom_min <- x_point1 - 20  
x_zoom_max <- x_point1 + 20
```

```

y_zoom_min <- min(datos$y) - 5
y_zoom_max <- max(datos$y) + 5

# Graficar con ggplot2
ggplot(datos, aes(x = x, y = y, color = tipo)) +
  geom_line(data = function_data, aes(x = x, y = y), color = "blue") +
  geom_point(size = 3) +
  geom_errorbar(data = subset(datos, tipo == "Experimental"), aes(ymin = y - error,
ymax = y + error), width = 0.2, color = "red") +
  xlim(x_zoom_min, x_zoom_max) +
  ylim(y_zoom_min, y_zoom_max) +
  labs(title = "Comparación de Datos Teóricos y Experimentales", x = "Variable
Independiente", y = "Variable Dependiente") +
  theme_minimal()
'''

```

ANEXO B

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.

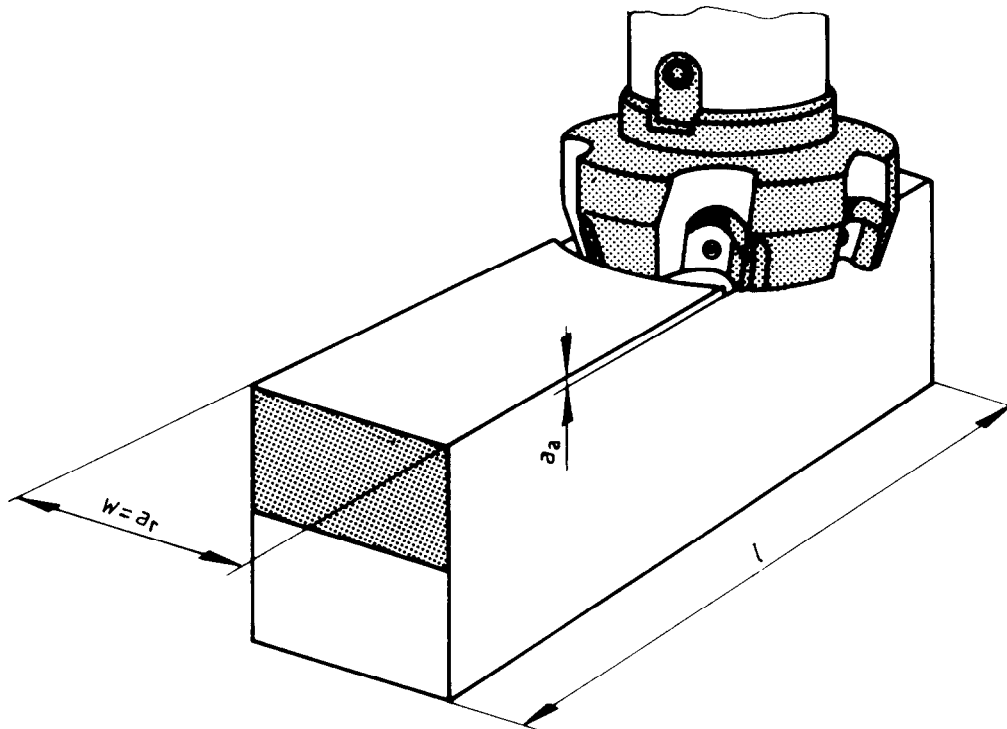


Figure 1 — Face milling — Milling operation

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).

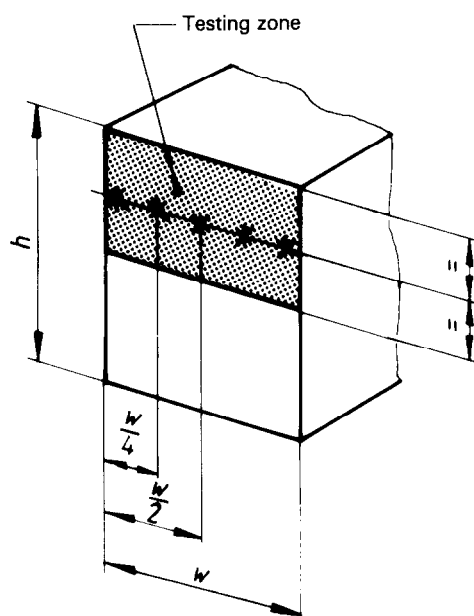


Figure 2 — Hardness testing

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).

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 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.

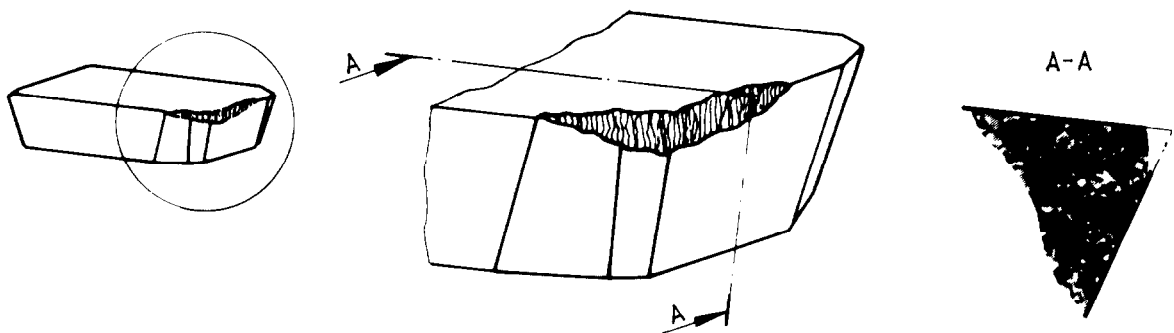
7.3 Tool deterioration phenomena

7.3.1 Coding system for tool deterioration and tool wear

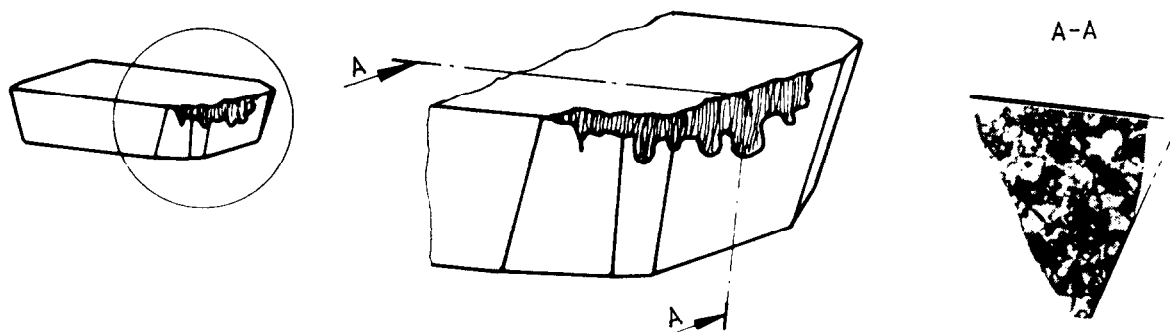
In practice, different types of deterioration will occur together during machining. It is desirable, therefore, to be able to give information concerning deterioration in a meaningful manner. Table 2 gives recommendations for and illustrations of a coding system to describe deterioration phenomena observed 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.

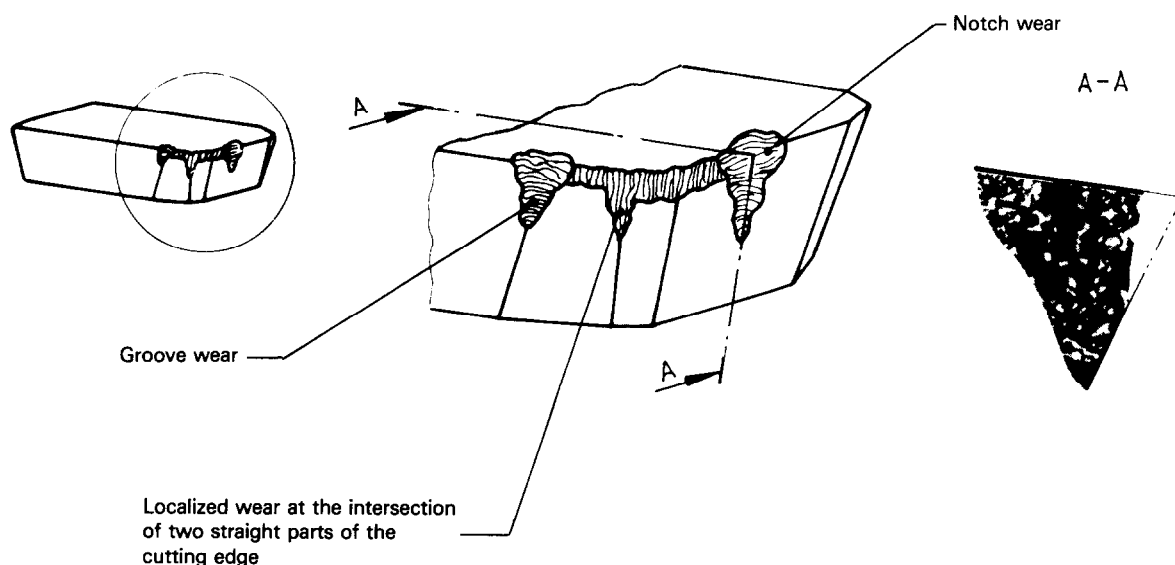


7.3.2.3 localized flank wear (VB 3) : Exaggerated form of flank wear which develops at localized points on the flanks (see figure 5, points P_1 to P_2 and P_f or zone A_1).

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.

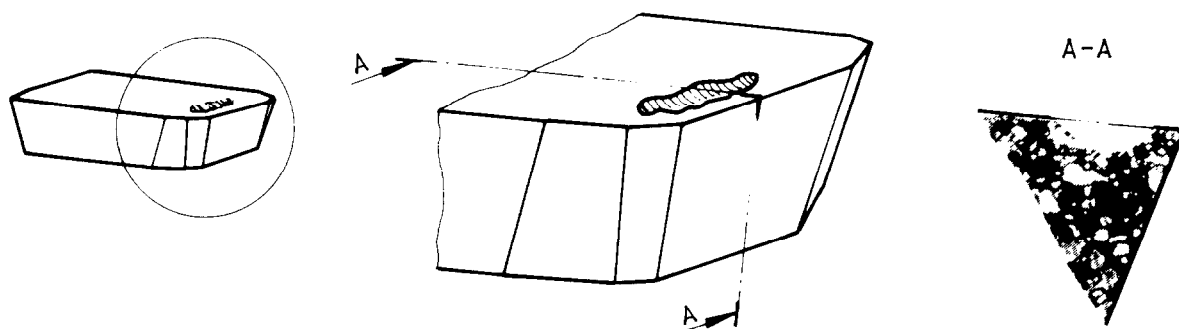
Another special form of this type of flank wear is **groove wear** which develops on that part of the minor flank adjacent to the machined surface during cutting.

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

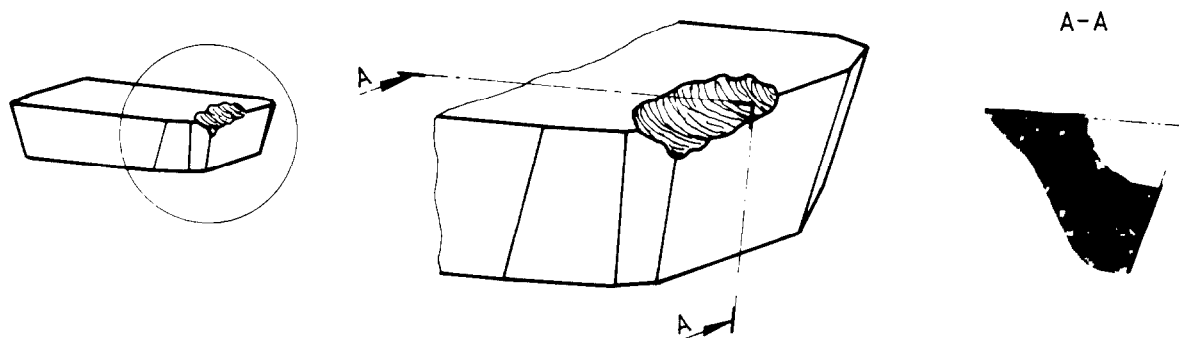


7.3.3 face wear (KT) : Gradual loss of tool material from the tool face during cutting.

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.

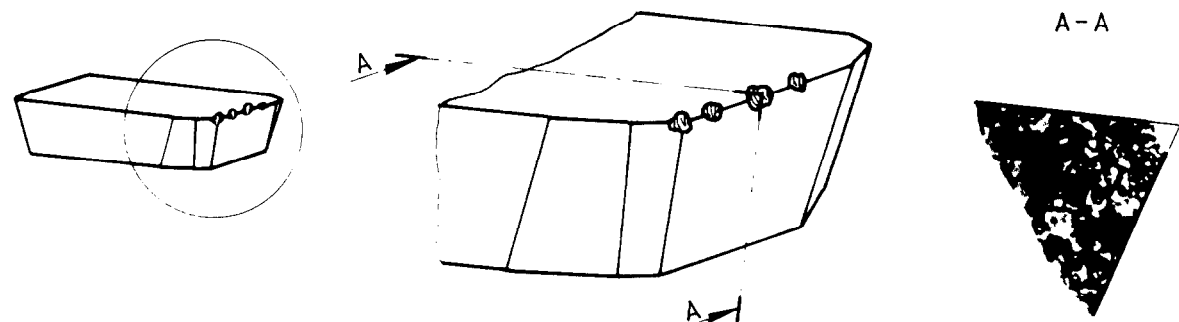


7.3.3.2 stair-formed face wear (KT 2) : Form of a face wear in which the maximum depth of the wear scar, measured perpendicular to the tool face, occurs at the intersection of the wear scar with the tool major flank.

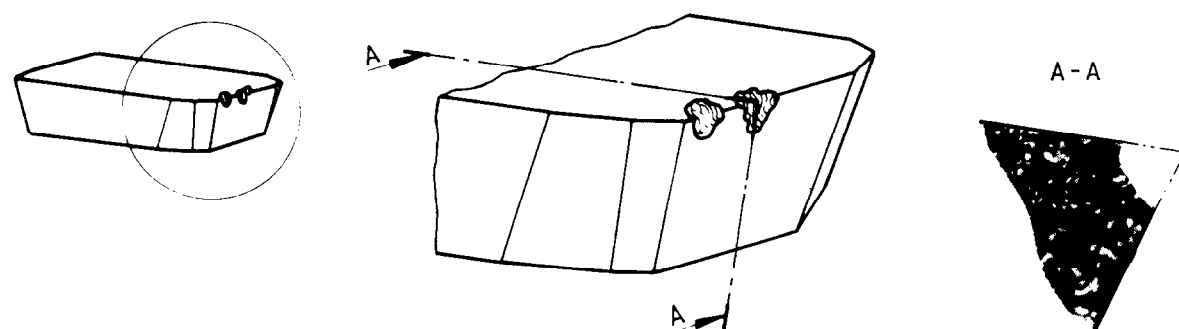


7.3.4 Chipping (CH)

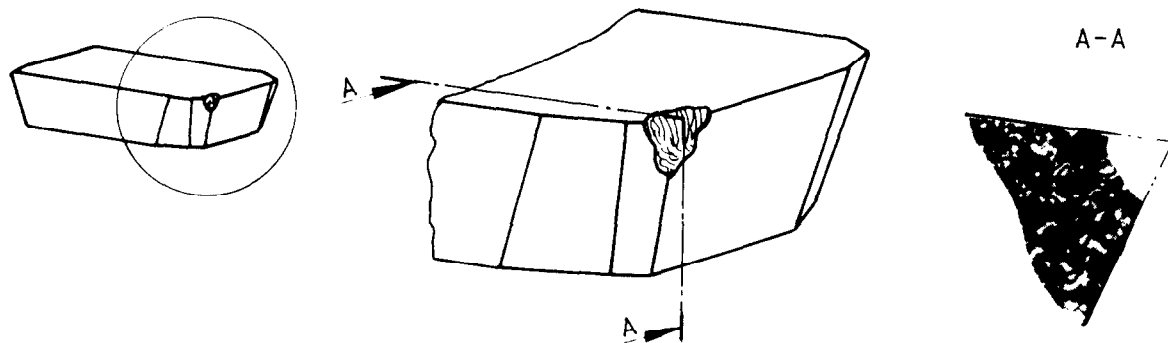
7.3.4.1 uniform chipping (CH 1) : Loss of tool fragments of approximately equal size along the cutting edges, which significantly influences the uniformity of the width of the flank wear land.



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).

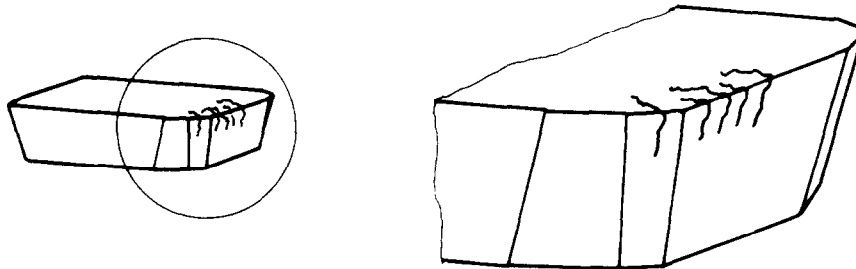


7.3.4.4 chipping of the non-active part of the major cutting edge (CH 4) : Chipping, which occurs outside the active part of the cutting edge, due to chip hammering.

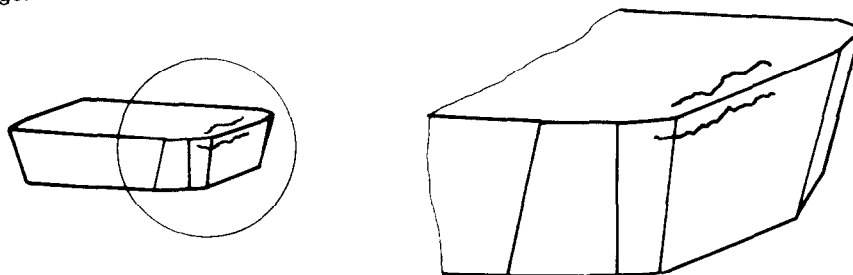
7.3.4.5 brittle edge failure : Disappearance of the major part of the active cutting edge which makes it impossible to continue cutting.

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

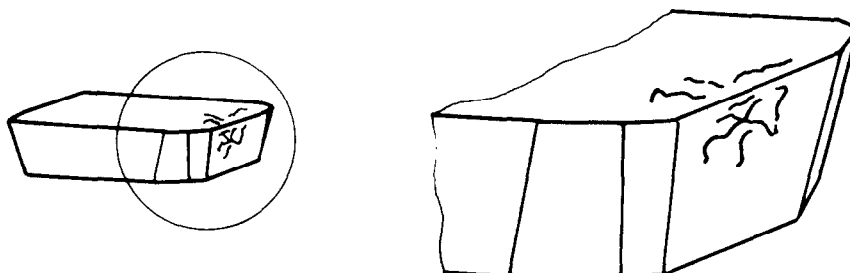
7.3.5.1 comb cracks (CR 1) : Cracks which appear on both the tool face and the tool flank and are oriented approximately perpendicular to the major cutting edge.



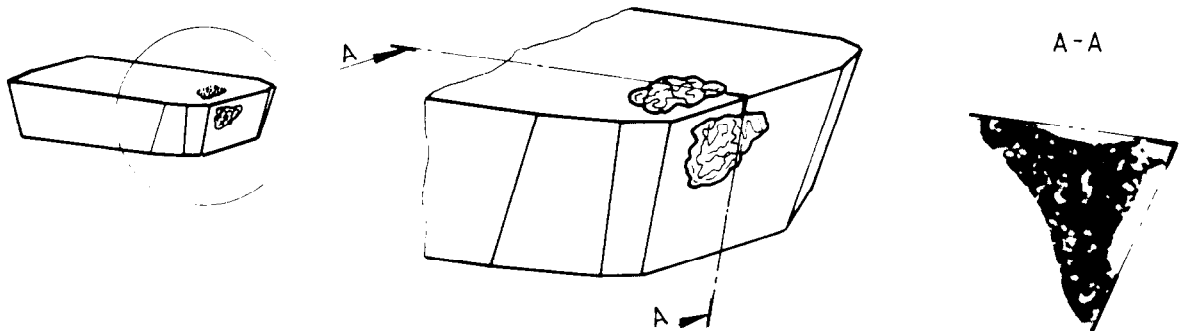
7.3.5.2 parallel cracks (CR 2) : Cracks which appear on the tool face or the tool flank and which are oriented approximately parallel to the major cutting edge.



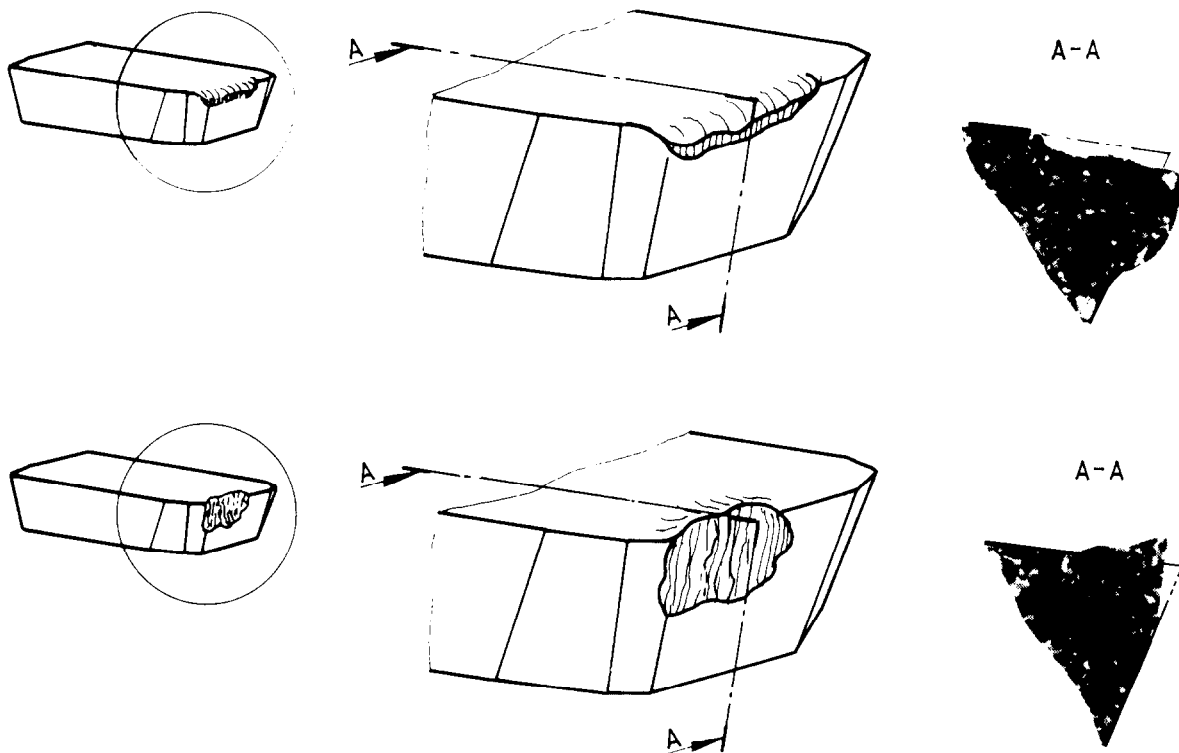
7.3.5.3 irregular cracks (CR 3) : Cracks which sometimes appear on the tool face and on the tool flank and which are irregularly oriented.



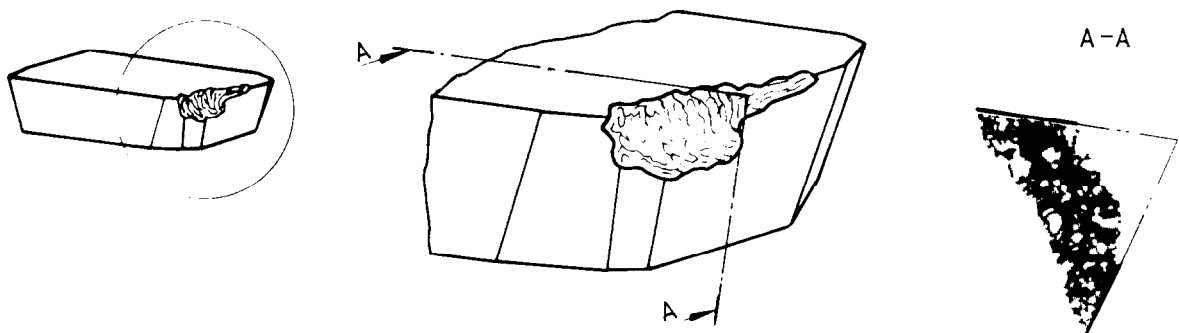
7.3.6 flaking (FL) : Loss of tool fragments in the form of flakes from the tool surfaces. This phenomenon is most frequently observed when coated tool inserts are used but may also be observed with other tool materials.



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.

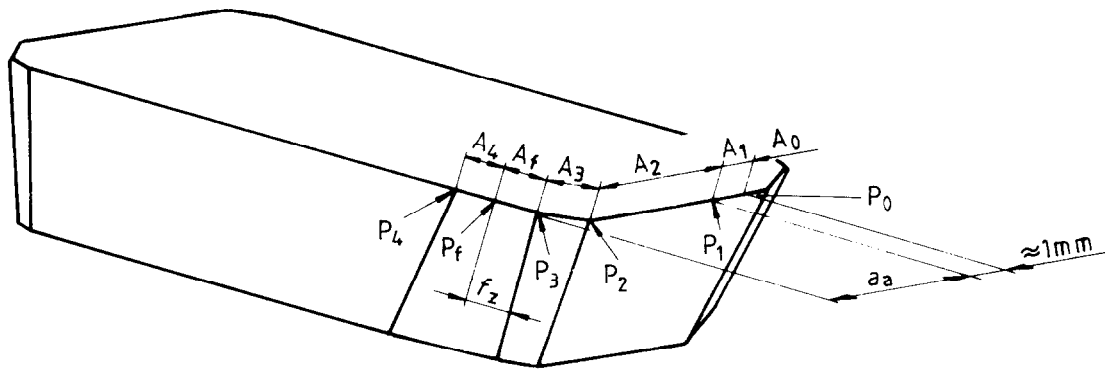
Face wear KT 2 is measured as the distance between the worn edge and the original cutting edge (see 7.2 and 7.3).

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.



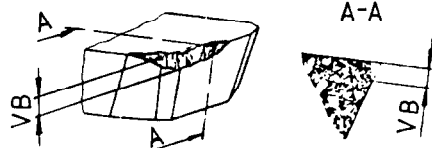
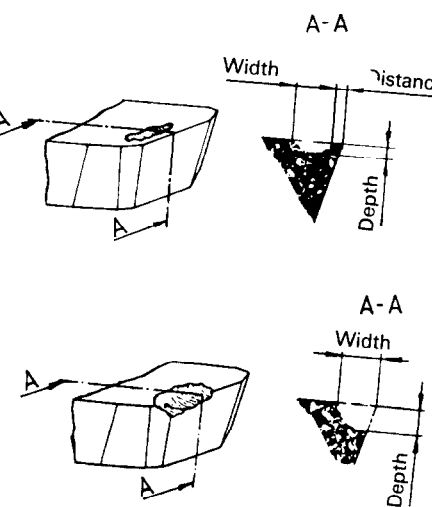
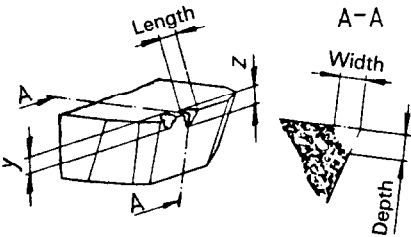
This coding system includes

- 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.

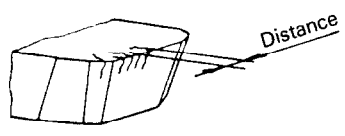
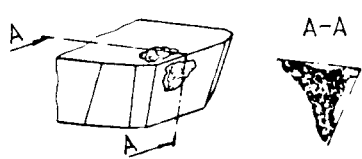
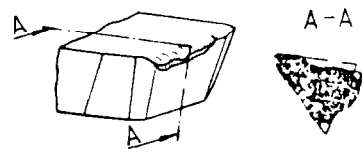
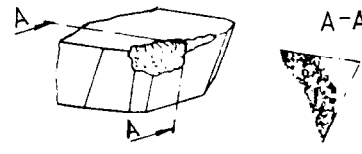
Figure 5 — Deterioration position coding system

Table 2 — Coding system

| Code | Description of tool deterioration | | | | | |
|---|--|--------------|---|-------|-------|---|
| Basic form
Distribution
Subdivision | <div><div>Testing time</div><div>Useful time</div><div>Total time</div></div> <div><div>0</div><div>Small</div><div>Normal</div><div>Large</div><div>Total failure</div></div> | | | | | |
| | 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 | | | | |  |
| 1 | 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 | | For y or z with corresponding length values | | | |
| 2 | Non-uniform | | | | | |
| 3 | Localized | | | | | |
| | | Length, mm | | | | |
| A | Micro-chipping | < 0,3 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | |
| B | Macro-chipping | 0,3 to 1 | 0,25 | 0,4 | 0,5 | |
| C | Breakage | > 1 | — | — | — | |
| | | | | | | |

* To be recorded.

Table 2 (concluded)

| Code | Description of tool deterioration | | | | |
|---|-----------------------------------|---|---|---|---|
| Basic form
Distribution
Subdivision | Tool deterioration phenomena | Criteria, mm | | | Illustration |
| | | S | N | L | |
| CR | Cracks | The number of the largest cracks and the mean distance between them shall be recorded | | |  |
| 1 | Cracks perpendicular to the edge | | | | |
| 2 | Cracks parallel to the edge | | | | |
| 3 | Irregular direction | | | | |
| 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 | kW | 5 | 7 | 9 | 14 |
| | Cast iron | | 3 | 4 | 6 | 8 |
| Minimum spindle torque ¹⁾ | Steel | Nm | 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) of 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 | II | 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 μ m 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).

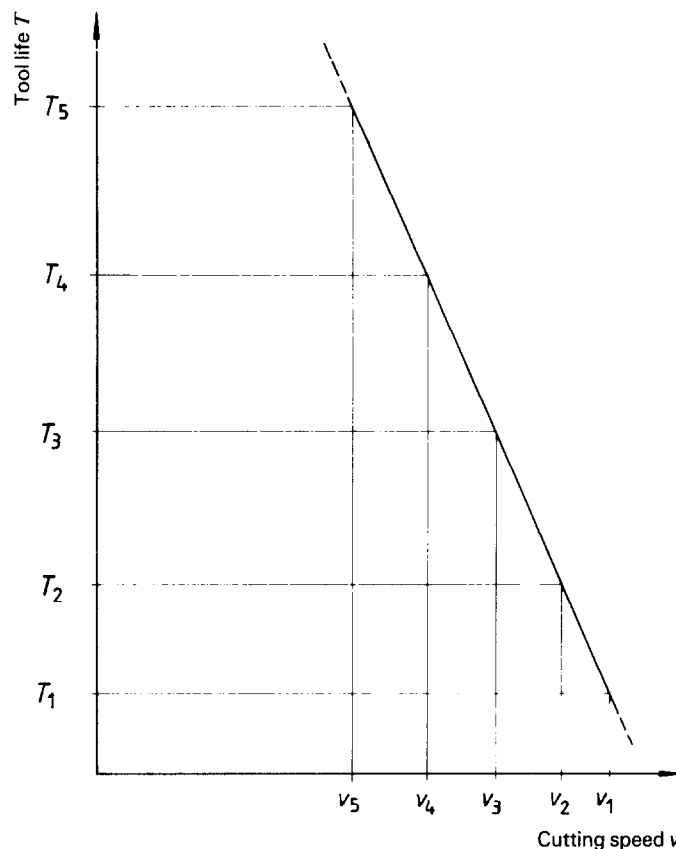


Figure 6 — Example of a vT curve (logarithmic scales)

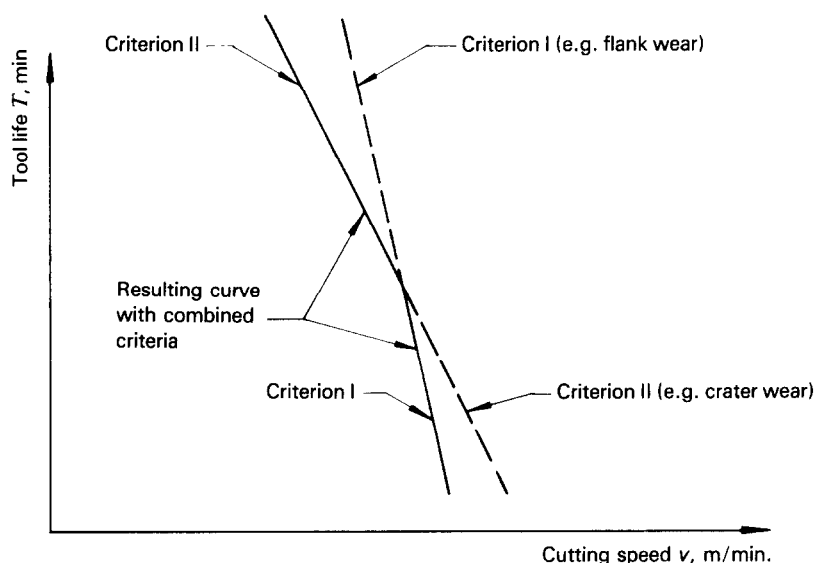


Figure 7 — Set of two vT curves resulting from the use of two different criteria and a “broken” vT curve resulting from the use of combined criteria (logarithmic scales)

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.

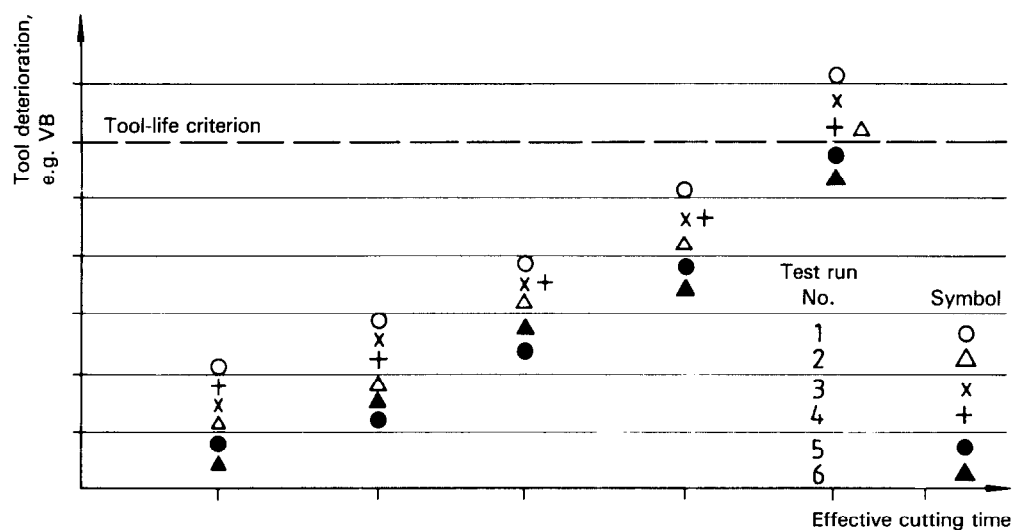


Figure 8 — Tool deterioration values for the individual edges of a milling cutter plotted against cutting time

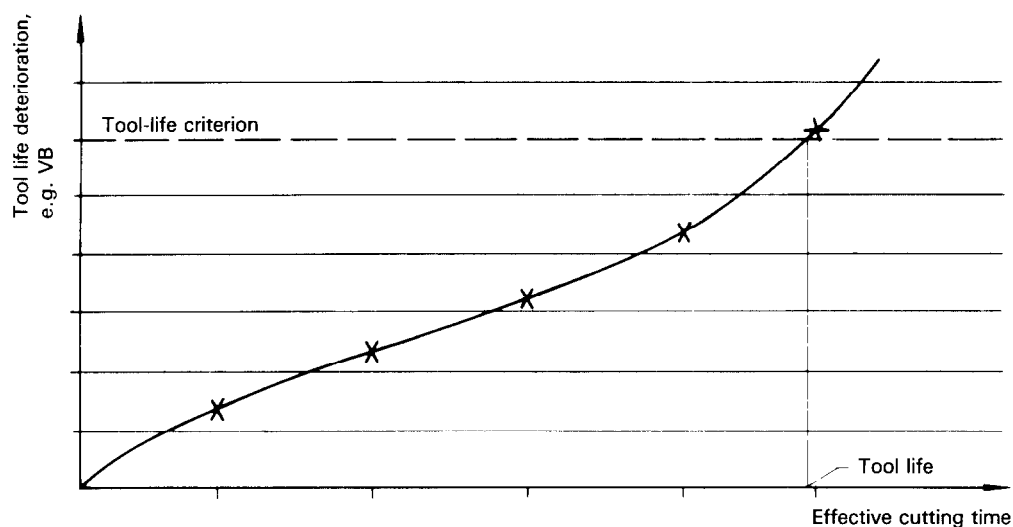


Figure 9 — Arithmetical mean values of tool deterioration plotted against cutting time

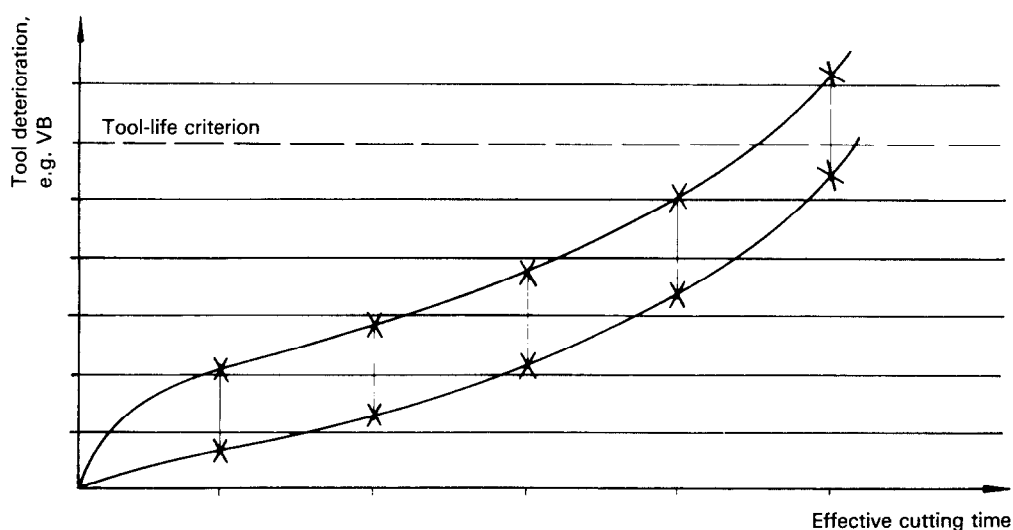


Figure 10 — Maximum and minimum tool deterioration values observed for the 95 % confidence level from measurements on individual edges of a milling cutter plotted against cutting time

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 C

Example data sheet

(This annex forms an integral part of the standard.)

| Face milling | | Purpose of the test | | Machine tool | | Test No. | | Page of | |
|-------------------------------------|---|--|---|---|---|-------------------------------------|---|--|---|
| Tool | | Workpiece | | Machine tool | | Cutting conditions | | Date | |
| Cutter | | Material, see specifications | | Horizontal ☐ Vertical ☐ | | Used condition | | Signature | |
| ISO 6462, type B, $\phi D = 125$ mm | | ISO/R 683-3, C45 | | Manufactured by | | Condition No. | | I II III IV V | |
| or | | ISO/R 185, grade 25 | | Model No. | | Axial depth of cut a_g | | 2.5 4 | |
| Manufactured by | | Manufactured by | | Spindle power | | Radial depth of cut a_r | | 0.6 D | |
| Insert | | Charge (heat) | | Cutting fluid | | Feed f_z | | 0.125 0.2 0.315 0.5 | |
| ISO 3365/SPAN 1203 | | Dimensions : mm; w : mm; l : mm | | Yes ☐ No ☐ Amount l/min | | Feed speed v_f | | m/min | |
| or | | Hardness : | | Manufactured by | | Cutting speed v_c | | r/min | |
| Manufactured by | | Workpiece No. | | Location of cutter relative to the centre-line | | Spindle revolution | | On centre-line | |
| Coating | | Actual tool travel min/mm/workpiece | | Deterioration Code Position Value | | Actual tool travel min/mm/workpiece | | Up-milling mm | |
| Cutting edge preparation | | Deterioration Code Position Value | | Actual tool travel min/mm/workpiece | | Deterioration Code Position Value | | Down-milling mm | |
| Run-out axial | | Actual tool travel min/mm/workpiece | | Deterioration Code Position Value | | Actual tool travel min/mm/workpiece | | Tool-life criteria Code Position Value | |
| radial | | Deterioration Code Position Value | | Actual tool travel min/mm/workpiece | | Deterioration Code Position Value | | Evaluation : clause 10 | |
| Tooth No. | | Deterioration Code Position Value | | Actual tool travel min/mm/workpiece | | Deterioration Code Position Value | | Notes | |
| 1 | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| 2 | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| 3 | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| 4 | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| 5 | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| 6 | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| Notes | | Tool life of the cutter min/mm/workpiece | | | | | | | |

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 $\bar{x}$ 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 :

$$|t_d| = (\bar{x}_A - \bar{x}_B) / \sqrt{\frac{n_A \times s_A^2 + n_B \times s_B^2}{n_A + n_B - 2} \times \left(\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B} \right)}$$

The value $|t_d|$ 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

- the observations are statistically independent;
- 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 | |
|--|----------|-----------------------------|---------|
| | <i>n</i> | A | B |
| | 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 <i>s</i> | | 0,935 | 0,816 |
| Student's <i>t</i> value <i>t</i> ₉₅ | | 2,571 | 2,571 |
| Confidence interval $\pm t \frac{s}{\sqrt{n - 1}}$ | | ± 1,076 | ± 0,939 |
| $\bar{x}_{\text{max}} = \bar{x} + t_{95} \frac{s}{\sqrt{n - 1}}$ | | 9,326 | 11,605 |
| $\bar{x}_{\text{min}} = \bar{x} - t_{95} \frac{s}{\sqrt{n - 1}}$ | | 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 C

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

APLICACIONES

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

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.

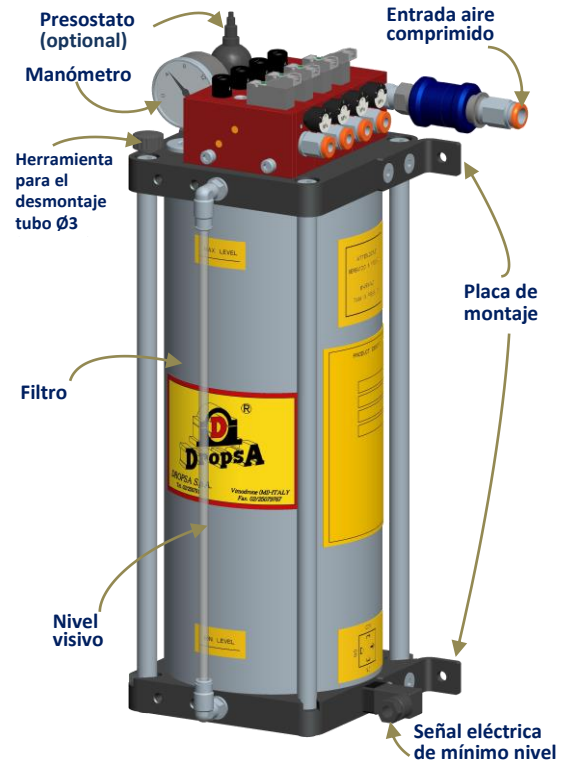
Es posible insertar hasta 8 elementos conectados entre si, que en cualquier momento pueden ser excluidos o activados de forma individual a través de una electroválvula integrada.

FUNCIONAL Y DE FÁCIL USO

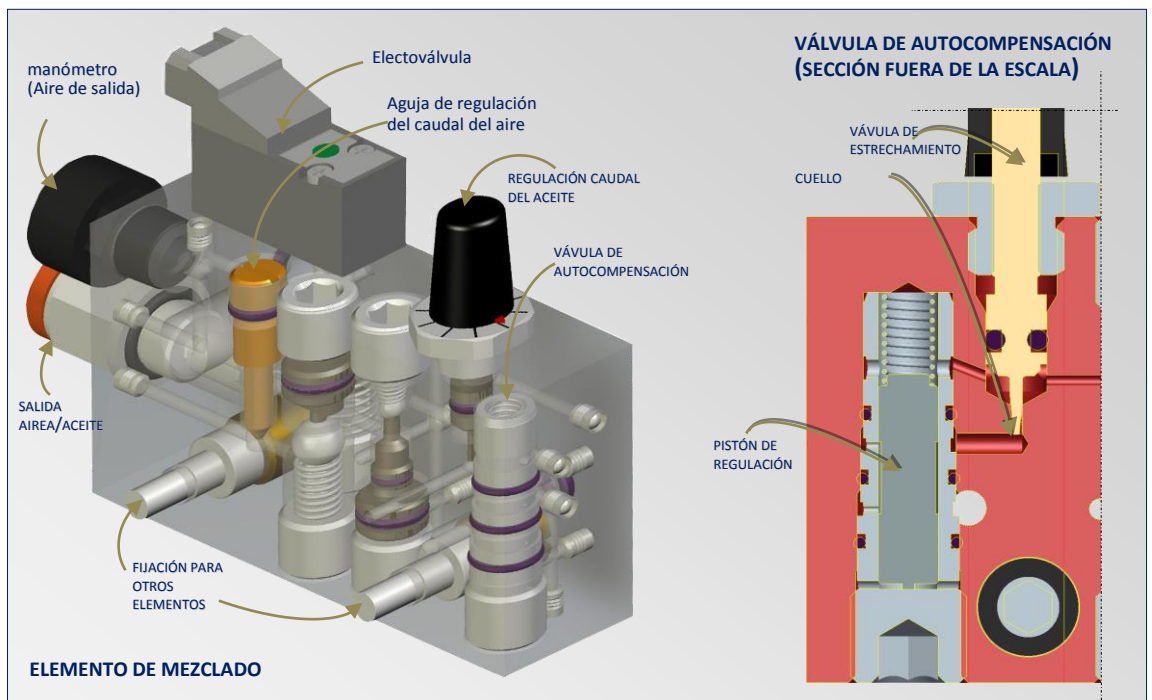
Tanto el caudal de aire como de aceite pueden ser controlados de forma individual en cada elemento.

LIMPIO

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



PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



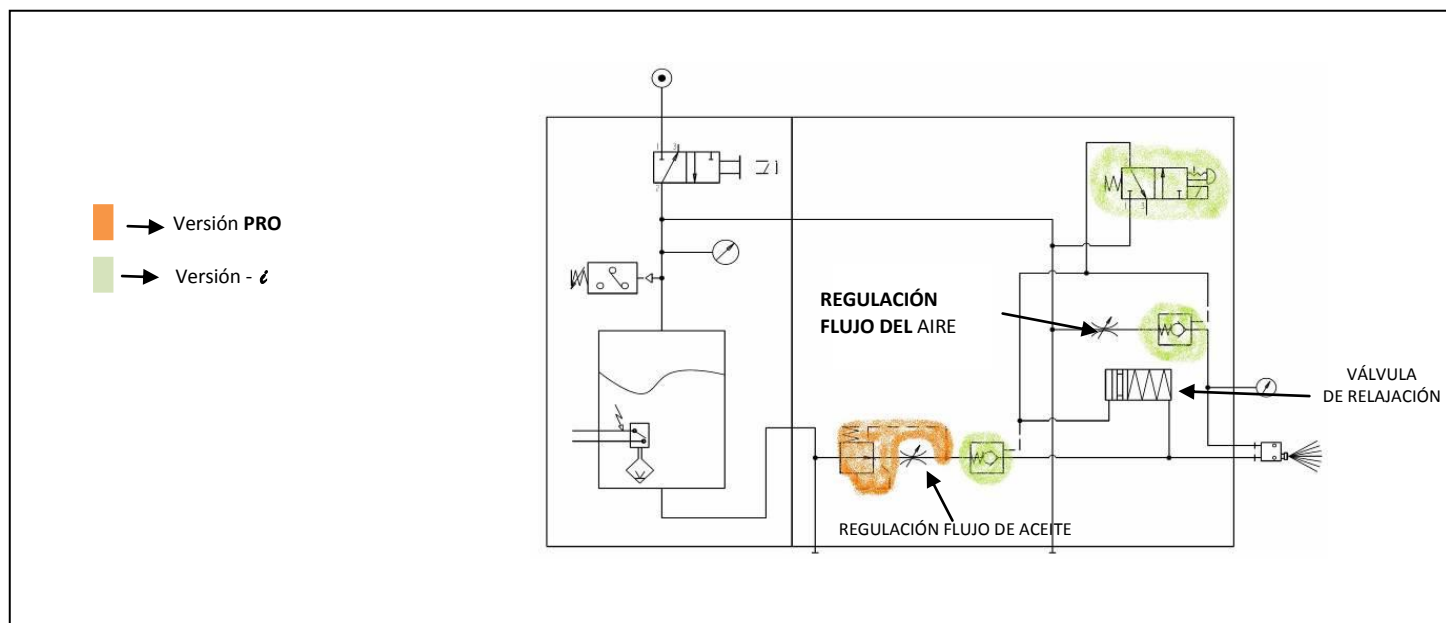
Al variar la presión en la entrada o la salida, el caudal del lubricante se mantiene constante gracias a la válvula de auto compensación, que mantienen constante el Δp entre la presión del aceite en la entrada y la salida. $\Delta p_{(aceite)} = \text{constante} (\sim 2 \text{ bar}) \Rightarrow Q_{(aceite)}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

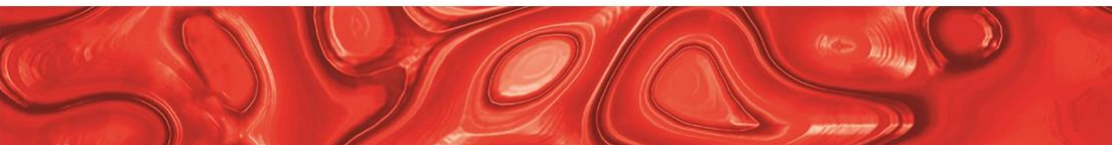
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

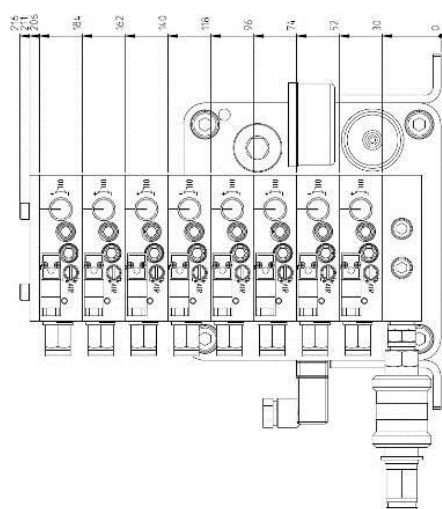
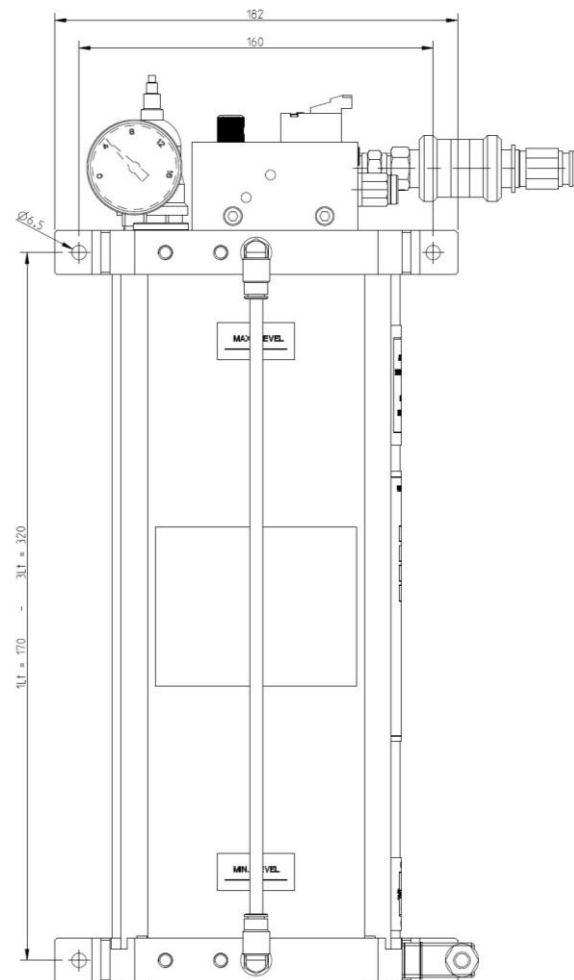
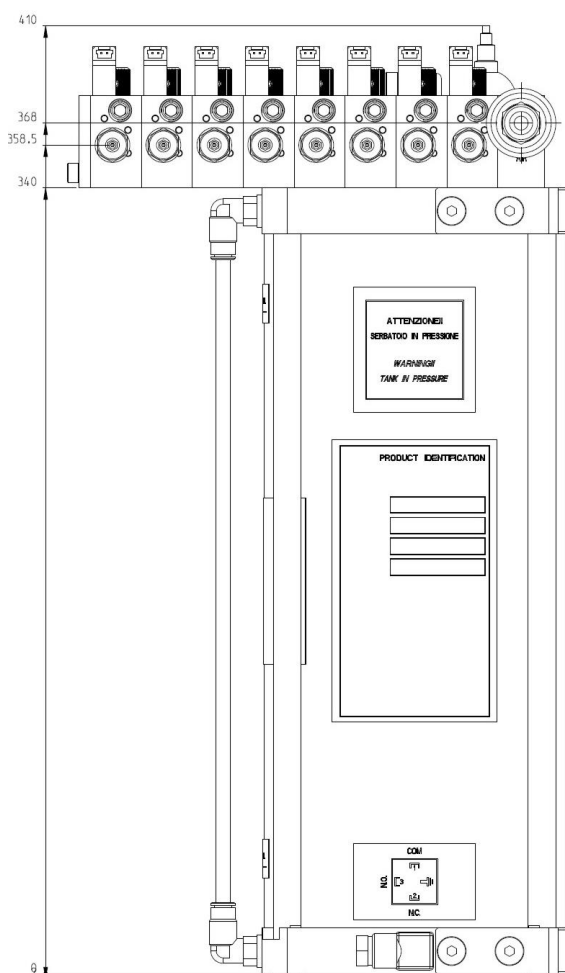
| | | | | | |
|--|--|---|---|------------|-----------------|
| Capacidad del depósito | 1lt – 3lt | | | | |
| Número máximo de módulos | 8 | | | | |
| Presión entrada de aire | 4bar ÷ 7bar | | | | |
| Consumo máximo aire en la salida | ~50NI/min (por módulo) | | | | |
| Tubo entrada aire | Ø10mm | | | | |
| 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) | | | | |

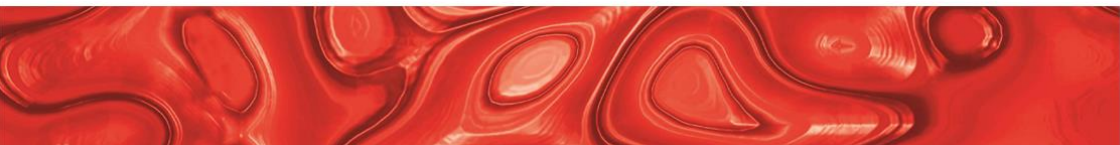
SISTEMA HIDRÁULICO





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 - ɛ | 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 - ɛ | 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 - ɛ
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 - ɛ | 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 |

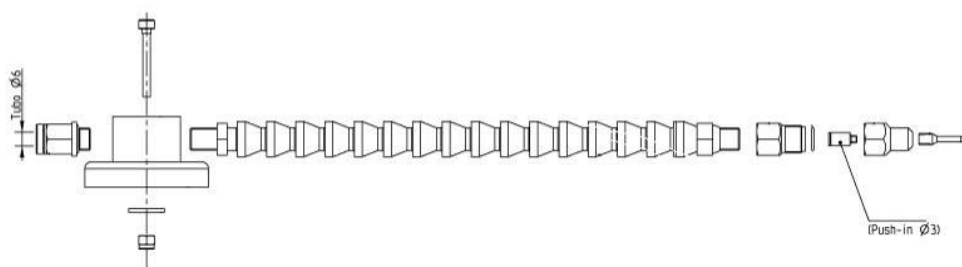
ACCESORIOS

| 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

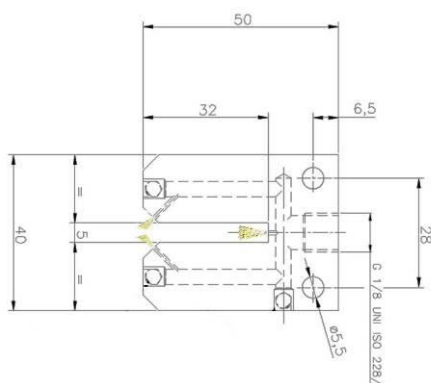
| DESCRIPCIÓN | Part. No |
|--|----------|
| MiQueL PRO- i - Elemento Modular | 1525430 |
| MiQueL PRO - Elemento Modular | 1525440 |
| MiQueL BASE- i - Elemento Modular | 1525450 |
| MiQueL BASE - Elemento Modular | 1525460 |
| MiQueL BASE- i - IP65 - Elemento Modular | 1525456 |
| MiQueL CART- i - 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



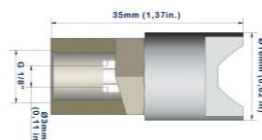
Part. No
3132768

BOQUILLAS PARA LUBRICACION DE LAMINAS



| ENTRADA | SALIDA | ESPESOR LAMINA | CÓDIGO |
|---------|--------|----------------|---------|
| 1 | 3 | 50 mm | 1525050 |
| | | 70 mm | 1525051 |

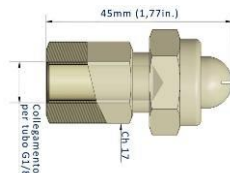
PULVERIZADOR ROSCA CONICA



Part. No

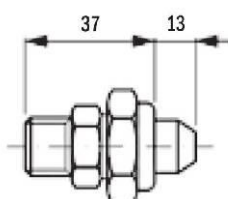
3133558

PULVERIZADOR DE LAMINA



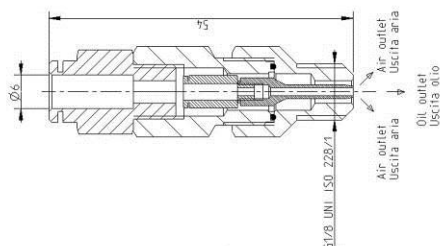
Part. No

3133565



Part. No

3133564



Part. No

3133455

ANEXO D



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:

Trátase 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 |
| Coeficiente 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 E

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.

| |
|---|
| <p>P280 Wear protective gloves/ eye protection/ face protection.</p> <p>P304 + P340 IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.</p> <p>P305 + P351 + P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.</p> <p>P312 Call a POISON CENTER or doctor/ physician if you feel unwell.</p> <p>P337 + P313 If eye irritation persists: Get medical advice/ attention.</p> <p>P403 + P233 Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed. P405 Store locked up.</p> <p>P501 Dispose of contents/ container to an approved waste disposal plant.</p> <p>2.3 Hazards not otherwise classified (HNOC) or not covered by GHS None</p> |
| <p>3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS</p> <p>3.1 Substances</p> <p>Synonyms : Titanium Oxide (TiO₂) Powder Titanium Oxide (TiO₂) CAS#: 13463-67-7</p> <p>Hazardous components</p> <p>Component: Titanium Oxide (TiO₂) Powder Classification: Eye Irrit. 2A; STOT SE 3; H319, H335</p> <p>Concentration:</p> <p>For the full text of the H-Statements mentioned in this Section, see Section 16.</p> |
| <p>4. FIRST AID MEASURES</p> <p>4.1 Description of first aid measures</p> <p>General advice
Consult a physician. Show this safety data sheet to the doctor in attendance. Move out of dangerous area.</p> <p>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.</p> <p>In case of eye contact
Rinse thoroughly with plenty of water for at least 15 minutes and consult a physician.</p> <p>If swallowed
Never give anything by mouth to an unconscious person. Rinse mouth with water. Consult a physician.</p> <p>4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed</p> <p>The most important known symptoms and effects are described in the labeling (see section 2.2) and/or in section 11</p> <p>4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed</p> <p>no data available</p> |
| <p>5. FIREFIGHTING MEASURES</p> <p>5.1 Extinguishing media</p> <p>Suitable extinguishing media</p> <p>Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.</p> |

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 - octanol/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

 IMDG

 Not dangerous goods

 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.

 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.

| |
|---|
| <p>P304 + P340 IF INHALED: Remove victim to fresh air and keep at rest in a position comfortable for breathing.</p> <p>P305 + P351 + P338 IF IN EYES: Rinse cautiously with water for several minutes. Remove contact lenses, if present and easy to do. Continue rinsing.</p> <p>P312 Call a POISON CENTER or doctor/ physician if you feel unwell.</p> <p>P337 + P313 If eye irritation persists: Get medical advice/ attention.</p> <p>P403 + P233 Store in a well-ventilated place. Keep container tightly closed. P405 Store locked up.</p> <p>P501 Dispose of contents/ container to an approved waste disposal plant.</p> <p>2.3 Hazards not otherwise classified (HNOC) or not covered by GHS None</p> |
| <p>3. COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS 3.1 Substances</p> <p>Aluminum Oxide (Al₂O₃) CAS#: 1344-28-1</p> <p>Hazardous components</p> <p>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.</p> |
| <p>4. FIRST AID MEASURES</p> <p>4.1 Description of first aid measures</p> <p>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.</p> <p>4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed</p> <p>The most important known symptoms and effects are described in the labeling (see section 2.2) and/or in section 11</p> <p>4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed</p> <p>no data available</p> |
| <p>5. FIREFIGHTING MEASURES</p> <p>5.1 Extinguishing media</p> <p>Suitable extinguishing media
 Use water spray, alcohol-resistant foam, dry chemical or carbon dioxide.</p> <p>5.2 Special hazards arising from the substance or mixture</p> <p>The product is not flammable</p> |

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 - octanol/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

| |
|--|
| <p>no data available</p> <p>Specific target organ toxicity - single exposure</p> <p>Inhalation - May cause respiratory irritation.</p> <p>Specific target organ toxicity - repeated exposure</p> <p>no data available</p> <p>Aspiration hazard</p> <p>no data available</p> <p>Additional Information</p> <p>RTECS: Not available</p> <p>To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.</p> |
| <p>12.ECOLOGICAL INFORMATION 12.1 Toxicity</p> <p>no data available</p> <p>12.2 Persistence and degradability</p> <p>no data available</p> |
| <p>12.3 Bioaccumulative potential</p> <p>no data available</p> <p>12.4 Mobility in soil</p> <p>no data available</p> <p>12.5 Results of PBT and vPvB assessment</p> <p>PBT/vPvB assessment not available as chemical safety assessment not required/not conducted</p> <p>12.6 Other adverse effects</p> <p>no data available</p> |
| <p>13.DISPOSAL CONSIDERATIONS</p> <p>13.1 Waste treatment methods</p> <p>Product</p> <p>Offer surplus and non-recyclable solutions to a licensed disposal company. Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material.</p> <p>Contaminated packaging</p> <p>Dispose of as unused product.</p> |
| <p>14.TRANSPORT INFORMATION</p> |

| |
|--|
| <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

Eyeface 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.