



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

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

**TEMA:**

---

**“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”**

---

**AUTORES:**

Daniel Andrés Albán Ruiz

Pablo Andrés Guamán Peñafiel

**TUTOR:**

Ing. MSc. Diego Fernando Núñez Núñez

**AMBATO - ECUADOR**

**Agosto - 2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ESTUDIO DEL EFECTO DE LOS LÍQUIDOS IÓNICOS (BMIMBF<sub>4</sub>) Y (BMIMPF<sub>6</sub>) 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”**, elaborado por los señores, **Daniel Andrés Albán Ruiz**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 025000949-5 y **Pablo Andrés Guamán Peñafiel**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 180484708-3, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Agosto 2021

---

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

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Nosotros, **Daniel Andrés Albán Ruiz**, con: C.I. 025000949-5 y **Pablo Andrés Guamán Peñafiel**, con: C.I. 180484708-3 declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“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”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Agosto 2021

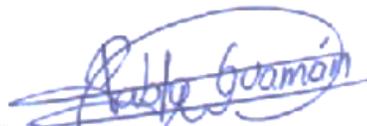


---

**Daniel Andrés Albán Ruiz**

**C.I.: 025000949-5**

**AUTOR**



---

**Pablo Andrés Guamán Peñafiel**

**C.I.: 180484708-3**

**AUTOR**

## DERECHO DE AUTOR

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

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

Ambato, Agosto 2021

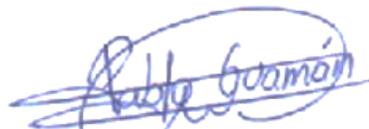


---

**Daniel Andrés Albán Ruiz**

**C.I.: 025000949-5**

**AUTOR**



---

**Pablo Andrés Guamán Peñafiel**

**C.I.: 180484708-3**

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por los estudiantes **Daniel Andrés Albán Ruiz** y **Pablo Andrés Guamán Peñafiel** de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ESTUDIO DEL EFECTO DE LOS LÍQUIDOS IÓNICOS (BMIMBF<sub>4</sub>) Y (BMIMPF<sub>6</sub>) 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”**.

Ambato, Agosto 2021

---

**Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega**

**Miembro Calificador**

---

**Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda**

**Miembro Calificador**

## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico, principalmente a Dios por darme salud para llegar hasta este punto tan importante de mi vida, haciendo posible este anhelo tan grande, en segundo lugar, a mis padres Danilo y Ana, quienes han sido un pilar fundamental en mí día a día, brindándome su apoyo incondicional en mí educación y también, con sus consejos enseñándome hacer responsable, valiente y buena persona.*

*A mis hermanas, Arianna y Belén por ser mis compañeras de vida y darme el apoyo moral que muchas veces necesité.*

*Finalmente, a mis docentes, a mis conocidos y amigos, en especial a Pablo Guamán con quien he estado luchando hombro a hombro como una gran dupla para alcanzar el objetivo del presente trabajo.*

*Daniel Albán*

## DEDICATORIA

*El presente trabajo lo dedico en primer lugar a Dios por ser mi guía en los momentos de desolación y crisis por brindarme la salud, el apoyo y la bendición en los momentos difíciles, a mis padres Miguel Ángel y María del Carmen con amor por ser el apoyo incansable en los momentos de tristeza y gracias a su apoyo y amor incondicional que me han brindado en el transcurso de mi vida estudiantil.*

*A mi hija Camila por ser la alegría y la principal motivación en momentos de angustia y preocupación, por ser el principal motivo de superación, por enseñarme la verdadera alegría y la felicidad de vivir la vida y por ser quien sigue mis pasos.*

*A mi abuelita Rosario, a la memoria de mis abuelitos Luis, Ángel y Dolores por cuidarme, amarme e inculcarme los valores y principios con los que intento actuar en mi día a día y por enseñarme que no hay imposibles en la vida mientras se actúe con respeto y humildad.*

*A mi hermana Gaby por corregirme en mis errores y apoyarme en todas las decisiones de mi vida; a Cristina por enseñarme que cuando hay dedicación y convicción no hay límites en cualquier circunstancia de la vida.*

*Finalmente, a mis docentes y amigos, a Daniel con quien he podido formar un excelente equipo de trabajo para que este trabajo sea posible.*

*Pablo Guamán*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por protegerme y darme fuerzas para superar los obstáculos y dificultades que se me ha presentado en la vida. Agradezco también la confianza y el apoyo, durante este camino, de mis padres, hermanas, tíos, quienes sin duda me han brindado su ayuda y se han enorgullecido de mis logros.*

*A mi casa de estudio, la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a toda su planta docente quienes han hecho posible el desarrollo y avance de esta gran carrera.*

*A mi Tutor el Ing. Diego Núñez Mg., por toda la colaboración y conocimientos brindados en el desarrollo del presente trabajo.*

*A mi familia y amigos quienes estuvieron conmigo y me ayudaron durante este largo camino.*

*Daniel Albán*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco primeramente a Dios por su bendición en cada paso de mi vida y la valentía que me ha dado para salir adelante en momentos de incertidumbre.*

*Al apoyo incondicional por parte de mi familia para salir adelante en momentos difíciles, apoyándome en todas las decisiones de mi vida y por creer en mí a pesar de las adversidades que se han presentado.*

*A mi tutor Ing. Diego Núñez Mg. Por los consejos y conocimientos brindados a lo largo de mi vida estudiantil y el transcurso del presente proyecto.*

*A mi alma mater Universidad Técnica de Ambato, a la carrera de Ingeniería Mecánica y a los docentes por compartirme todos sus conocimientos que han permitido formarme como profesional.*

*Finalmente, a mis amigos y conocidos que han formado parte de mi vida estudiantil, por brindarme sus consejos y apoyo en situaciones adversas que se han presentado y me ha ayudado para salir adelante en el transcurso del camino.*

*Pablo Guamán*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

### PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHO DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xx
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT .....	xxiii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.2. Objetivos .....	6
1.2.1. Objetivo General.....	6
1.2.2. Objetivos Específicos.....	6
1.3. Hipótesis.....	7
1.3.1. Variable dependiente.....	7
1.3.2. Variable independiente.....	7
1.4. Marco teórico .....	7
1.4.1. El proceso de torneado .....	7
1.4.1.1. Operaciones de torneado .....	8
1.4.1.2. Movimiento de trabajo del torno.....	9
1.4.2. Herramientas de corte .....	9

1.4.2.1. Herramientas de corte integral .....	10
1.4.2.2. Plaquititas de corte o insertos para torno.....	10
1.4.2.3. Estandarización de insertos .....	11
1.4.2.4. Porta insertos.....	13
1.4.2.5. Estandarización de porta insertos.....	13
1.4.3. Velocidades en el torno.....	14
1.4.3.1. Velocidad de corte.....	15
1.4.3.2. Velocidad de rotación de la pieza (husillo).....	15
1.4.3.3. Velocidad de avance (F).....	16
1.4.4. Vida útil de la herramienta de corte .....	16
1.4.4.1. Criterio de desgaste de las herramientas de corte .....	18
1.4.4.2. Ecuación de Taylor .....	21
1.4.5. Acabado superficial.....	21
1.4.6. Rugosidad superficial.....	22
1.4.7. Viruta en el mecanizado.....	26
1.4.7.1. Viruta fragmentada.....	27
1.4.7.2. Viruta continua.....	27
1.4.7.3. Viruta segmentada.....	27
1.4.8. Fluidos de corte.....	29
1.4.8.1. Tipos de fluidos de corte .....	29
1.4.8.2. Clasificación por formulación química de los fluidos de corte.....	30
1.4.8.3. Líquidos de corte a base de vegetales .....	31
1.4.8.4. Aditivos para fluidos de corte .....	32
1.4.8.5. Parámetros para la elección del fluido de corte .....	33
1.4.9. Alternativas para el uso de fluidos de corte .....	34
1.4.9.1. Mecanizado en seco .....	34
1.4.9.2. Mecanizado con mínima cantidad de lubricante (MQL) .....	35
1.4.9.3. Ventajas del sistema MQL.....	37
1.4.9.4. Mínima cantidad de lubricante interna y externa.....	37
1.4.9.5. Lubricantes para el sistema MQL .....	40

1.4.9.6. Líquidos iónicos generalidades y aplicaciones .....	41
CAPÍTULO II .....	44
METODOLOGÍA .....	44
2.1. Descripción de materiales y equipos.....	44
2.1.1. Material para el mecanizado (Ejes de acero inoxidable AISI 304).....	44
2.1.2. Material para el mecanizado (Ejes de acero AISI/SAE 4140).....	45
2.1.3. Dimensionamiento de probetas .....	46
2.1.4. Plaquetas de carburo sinterizadas para el proceso de torneado .....	46
2.1.4.1. Selección y geometría del inserto .....	46
2.1.4.2. Características técnicas del inserto para el ensayo.....	52
2.1.5. Líquidos iónicos.....	53
2.1.6. Aceite lubricante .....	54
2.1.7. Homogeneizador .....	55
2.1.8. Torno.....	56
2.1.9. Rugosímetro SJ-210.....	56
2.1.10. Microscopio de barrido .....	57
2.1.11. Equipo para la lubricación por cantidades mínimas (MQL).....	58
2.1.12. Suministro de aire comprimido.....	59
2.2. Métodos.....	59
2.2.1. Nivel o tipo de investigación.....	59
2.2.1.1. Bibliográfico .....	59
2.2.1.2. Descriptivo .....	59
2.2.1.3. Exploratorio.....	59
2.2.2. Metodología .....	60
2.2.2.1. Diseño de experimentos .....	60
2.2.2.2. Normativa para la evaluación del acabado superficial y vida útil de la herramienta.....	62
2.2.3. Operacionalización de variables .....	67
2.2.3.1. Variable independiente.....	67
2.2.3.2. Variable dependiente.....	68

2.2.4. Plan de recolección de información .....	69
2.2.5. Procedimiento para la elaboración de ensayos de evaluación de la calidad superficial del acero AISI/SAE 4140 y acero AISI 304 y vida útil de la herramienta de corte.....	69
2.2.6. Plan de procesamiento y análisis.....	73
CAPÍTULO III .....	74
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	74
3.1. Análisis y discusión de resultados.....	74
3.1.1. Toma y análisis de los datos de rugosidad superficial .....	74
3.1.1.1. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E01 (mecanizado en Seco 195 m/min) Acero AISI/SAE 4140 .....	75
3.1.1.2. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E02 (mecanizado en Seco 235 m/min) Acero AISI/SAE 4140 .....	76
3.1.1.3. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E03 (MQL+1%BF <sub>4</sub> 195 m/min) Acero AISI/SAE 4140.....	77
3.1.1.4. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E04 (MQL+1%BF <sub>4</sub> 235-0,1) Acero AISI/SAE 4140.....	78
3.1.1.5. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E05 (MQL+1%PF <sub>6</sub> 195-0,1) Acero AISI/SAE 4140.....	79
3.1.1.6. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E06 (MQL+1%PF <sub>6</sub> 235-0,1) Acero AISI/SAE 4140.....	80
3.1.1.7. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E07 (mecanizado en Seco 195 m/min) Acero AISI 304.....	81
3.1.1.8. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E08 (mecanizado en Seco 195 m/min) Acero AISI 304.....	82
3.1.1.1. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E09 (MQL+1%BF <sub>4</sub> 195-0,1) Acero AISI 304.....	83
3.1.1.2. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E10 (MQL+1%BF <sub>4</sub> 235-0,1) Acero AISI 304.....	84
3.1.1.3. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E11 (MQL+1%PF <sub>6</sub> 195-0,1) Acero AISI 304.....	85

3.1.1.4. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E12 (MQL+1%PF <sub>6</sub> 235-0,1) Acero AISI 304.....	86
3.1.2. Rugosidad superficial Ra del acero AISI/SAE 4140 .....	87
3.1.3. Rugosidad superficial Rz del acero AISI/SAE 4140 .....	88
3.1.4. Rugosidad superficial Ra del acero inoxidable AISI 304 .....	89
3.1.5. Rugosidad superficial Rz del acero inoxidable AISI 304 .....	90
3.1.6. Comparación de la rugosidad superficial (Ra) en el torneado del acero AISI/SAE 4140 a diferentes velocidades de corte y sistemas de lubricación .....	91
3.1.7. Comparación de la rugosidad superficial (Ra) en el torneado del acero AISI 304 a diferentes velocidades de corte y sistemas de lubricación.....	93
3.1.8. Toma de datos y evaluación del desgaste de flanco de la herramienta de corte ....	96
3.1.8.1. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E01, E03 y E05 (10 minutos de mecanizado) .....	97
3.1.8.2. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E01, E03 y E05 (30 minutos de mecanizado) .....	98
3.1.8.3. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E01, E03 y E05 (50 minutos de mecanizado) .....	99
3.1.8.4. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E02, E04 y E06 (10 minutos de mecanizado) .....	102
3.1.8.5. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E02, E04 y E06 (30 minutos de mecanizado) .....	103
3.1.8.6. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E02, E04 y E06 (50 minutos de mecanizado) .....	104
3.1.8.7. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E07, E09 y E11 (10 minutos de mecanizado) .....	107
3.1.8.8. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E07, E09 y E11 (30 minutos de mecanizado) .....	108
3.1.8.9. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos en E07, E09 y E11 (50 minutos de mecanizado).....	109

3.1.8.10. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E08, E10 y E12 (10 minutos de mecanizado) .....	112
3.1.8.11. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E08, E10 y E12 (30 minutos de mecanizado) .....	113
3.1.8.12. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E08, E10 y E12 (50 minutos de mecanizado) .....	114
3.1.9. Ecuación de Taylor en la vida útil de la herramienta de corte para el mecanizado del acero AISI/SAE 4140.....	117
3.1.10. Ecuación de Taylor en la vida útil de la herramienta de corte para el mecanizado del acero inoxidable AISI 304.....	123
3.1.12. Costo de mecanizado.....	130
3.1.12.1. Costo del mecanizado en seco.....	130
3.1.11.2. Mecanizado utilizando MQL con líquidos iónicos .....	132
3.1.11.3. Relación del costo de mecanizado con lubricación MQL con líquidos iónicos con otros procesos .....	138
3.2. Verificación de la hipótesis.....	141
3.2.11. Cálculo de la distribución t (Mecanizado en Seco vs. MQL + 1% PF <sub>6</sub> ).....	143
3.2.12. Cálculo de la distribución t (Mecanizado en Seco vs. MQL + 1% BF <sub>4</sub> ) .....	145
CAPÍTULO IV .....	148
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
4.1. Conclusiones .....	148
4.2. Recomendaciones.....	151
BIBLIOGRAFÍA.....	153
ANEXOS.....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Torno semiautomático del laboratorio de FICM .....	8
Fig. 2 Esquema de operaciones de torneado .....	8
Fig. 3 Esquema de los movimientos de torneado.....	9
Fig. 4 Ángulos de incidencia de herramientas de corte integral .....	10
Fig. 5 Insertos o plaquitas de corte.....	11
Fig. 6 Esquemas de sujeción tipo P, C, S y M .....	14
Fig. 7 Falla por fractura en la herramienta.....	17
Fig. 8 Falla por temperatura .....	18
Fig. 9 Esquema de desgaste de cráter y de flanco.....	19
Fig. 10 Zona de desgaste de herramientas .....	20
Fig. 11 (a) Esquema de desgaste de flanco en función del tiempo (b) Desgaste de flanco en función del tiempo con varias velocidades.....	21
Fig. 12 Marcas que se generan por la herramienta de corte.....	22
Fig. 13 Derivación de la desviación media aritmética de la rugosidad Ra .....	23
Fig. 14 Máxima y mínima altura del perfil de rugosidad.....	24
Fig. 15 Tipos de viruta, a) Fragmentada b) Continua y c) Segmentada.....	26
Fig. 16 Mecanizado sin la presencia de un fluido de corte .....	35
Fig. 17 Representación del pulverizado de alta presión (MQL) .....	37
Fig. 18 Diseño de un sistema de lubricación por cantidades mínimas interno .....	38
Fig. 19 Diseño de un sistema de lubricación por cantidades mínimas externo.....	39
Fig. 20 Atomización en gotas microscópicas por medio de una boquilla coaxial .....	40
Fig. 21 Pérdida de evaporación en % según DIN 51581 de algunos lubricantes.....	41
Fig. 22 Ejemplos de cationes y aniones utilizados para la formación de IL.....	42
Fig. 23 Forma y serie de la herramienta de corte según el porta insertos disponible .....	47
Fig. 24 Codificación para la selección del inserto según norma ISO 13399 .....	47
Fig. 25 Forma (Selección del inserto).....	48
Fig. 26 Angulo de incidencia (Selección del inserto) .....	48
Fig. 27 Tolerancia (Selección del inserto) .....	49

Fig. 28 Tipo (Selección del inserto).....	49
Fig. 29 Longitud (Selección del inserto).....	50
Fig. 30 Espesor (Selección del inserto).....	50
Fig. 31 Radio de corte del inserto (Selección del inserto) .....	51
Fig. 32 Tipo de operación (Selección del inserto) .....	51
Fig. 33 Codificación final de la plaquita para mecanizado .....	52
Fig. 34 Líquidos iónicos PF6 y BF4 .....	54
Fig. 35 Lubricante Unist Coolube 2210 EP .....	54
Fig. 36 Homogeneizador.....	55
Fig. 37 Torno semiautomático UTA FICM .....	56
Fig. 38 Rugosímetro SJ-210.....	57
Fig. 39 Microscopio electrónico de barrido .....	58
Fig. 40 Sistema de mínima cantidad de lubricación MQL .....	58
Fig. 41 Diagrama de flujo del procedimiento para el ensayo de acabado superficial y vida útil de la herramienta para acero AISI 304 y acero AISI SAE 4140 .....	71
Fig. 42 Procedimiento para la elaboración de ensayos de calidad superficial y vida útil en la herramienta de corte en el proceso de torneado con lubricación MQL+ Líquido Iónico .....	72
Fig. 43 Representación de la rugosidad superficial Ra del acero AISI/SAE 4140 .....	87
Fig. 44 Representación de la rugosidad superficial Rz del acero AISI/SAE 4140 .....	88
Fig. 45 Representación de la rugosidad superficial Ra del acero inoxidable AISI 304...89	
Fig. 46 Representación de la rugosidad superficial Rz del acero inoxidable AISI 304...90	
Fig. 47 Rugosidad Ra del acero AISI/SAE 4140 a 195m/min.....	91
Fig. 48 Rugosidad Ra del acero AISI/SAE 4140 a 235m/min.....	92
Fig. 49 Comportamiento de la rugosidad Ra del acero AISI/SAE 4140 al cambiar la velocidad de corte .....	93
Fig. 50 Rugosidad Ra del acero AISI 304 a 195m/min .....	94
Fig. 51 Rugosidad Ra del acero AISI 304 a 235m/min .....	94
Fig. 52 Comportamiento de la rugosidad Ra del acero AISI 304 al cambiar la velocidad de corte .....	95

Fig. 53 Comparación del desgaste del flanco a diferente tiempo (E01, E03 y E05) AISI/SAE 4140 .....	100
Fig. 54 Proyección del desgaste de flanco para los experimentos E01, E03 y E05 AISI/SAE 4140 .....	101
Fig. 55 Comparación del desgaste del flanco a diferente tiempo (E02, E04 y E06) AISI/SAE 4140 .....	105
Fig. 56 Proyección del desgaste de flanco para los experimentos E02, E04 y E06 AISI/SAE 4140 .....	106
Fig. 57 Comparación del desgaste del flanco a diferente tiempo (E07, E09 y E11) AISI 304.....	110
Fig. 58 Proyección del desgaste de flanco para los experimentos SECO, E07 y E09 AISI 304.....	111
Fig. 59 Comparación del desgaste del flanco a diferente tiempo (SECO, E08 y E10) AISI 304.....	115
Fig. 60 Proyección del desgaste de flanco para los experimentos SECO, E08 y E10 AISI 304.....	116
Fig. 61 Comparación de la vida útil de la herramienta de corte, según la ecuación de Taylor para diferentes tipos de sistema de lubricación (Seco - MQL+1%PF <sub>6</sub> y MQL+1%BF <sub>4</sub> ) AISI/SAE 4140 .....	122
Fig. 62 Comparación de la vida útil de la herramienta de corte, según la ecuación de Taylor para diferentes tipos de sistema de lubricación (Seco - MQL+1%PF <sub>6</sub> y MQL+1%BF <sub>4</sub> ) AISI 304 .....	127
Fig. 63 Tipo de viruta de mecanizado en seco en el acero AISI 304 [21] .....	128
Fig. 64 Tipo de viruta de mecanizado con sistema MQL+ Líquidos iónicos en el acero AISI 304 .....	129
Fig. 65 Tipo de viruta de mecanizado en seco en el acero AISI SAE 4140 .....	129
Fig. 66 Tipo de viruta de mecanizado con sistema MQL+ Líquidos iónicos en el acero AISI SAE 4140 .....	130
Fig. 67 Costo del mecanizado en seco para AISI 304.....	131
Fig. 68 Costo del mecanizado en seco para AISI/SAE 4140 .....	132

Fig. 69 Costo de mecanizado para el acero AISI 304 con lubricación MQL + 1%PF <sub>6</sub> .	134
Fig. 70 Costo de mecanizado para el acero AISI 304 con lubricación MQL + 1%BF <sub>4</sub>	135
Fig. 71 Costo de mecanizado para el acero AISI/SAE 4140 con lubricación MQL + 1%PF <sub>6</sub> .....	136
Fig. 72 Costo de mecanizado para el acero AISI/SAE 4140 con lubricación MQL + 1%BF <sub>4</sub> .....	137
Fig. 73 Comparación de costos de mecanizado del acero AISI 304 con diferentes métodos de lubricación en base a otros estudios realizados a condiciones similares b) .....	138
Fig. 74 Comparación del porcentaje de mejora en la vida útil de la herramienta al mecanizar el acero AISI 304 con diferentes tipos de lubricación b).....	139
Fig. 75 Comparación del porcentaje de mejora en el acabado superficial al mecanizar el acero AISI 304 con diferentes tipos de lubricación a) .....	140

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Código de colores para plaquitas de corte. ....	12
Tabla 2 Estados superficiales (Aplicaciones). ....	24
Tabla 3 Procesos normales de fabricación y sus rugosidades.....	25
Tabla 4. Tipos de virutas de mecanizado según la norma ISO 3685.....	28
Tabla 5. Ventajas y desventajas de los aceites según su formulación química.....	31
Tabla 6 Propiedades fisicoquímicas de las sales de 1-butil-3-metilimidazolio. ....	43
Tabla 7. Propiedades físicas y mecánicas del acero AISI 304 según Böhler.....	44
Tabla 8. Propiedades física y mecánicas del acero AISI/SAE 4140 según Böhler.....	45
Tabla 9. Datos técnicos del inserto CNMG 12 04 08-MF 2025 .....	53
Tabla 10 Propiedades del Aceite Unist Coolube 2210 EP.....	55
Tabla 11 Factores y niveles para el diseño experimental.....	60
Tabla 12 Combinaciones de los experimentos obtenidos .....	61
Tabla 13 Diferente longitud de muestreo en base a la rugosidad teórica.....	65
Tabla 14 Desgaste de flanco promedio y máximo (um) en E01, E03 y E05 en función del tiempo.....	100
Tabla 15 Desgaste de flanco promedio y máximo (um) en E01, E03 y E05 en función del tiempo.....	105
Tabla 16 Desgaste de flanco promedio y máximo (um) en E07, E09 y E11 en función del tiempo.....	110
Tabla 17 Desgaste de flanco promedio y máximo (um) en E01, E07 y E09 en función del tiempo.....	115
Tabla 18 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado en seco .....	118
Tabla 19 Resultados de las constantes C y k (Seco – AISI/SAE 4140).....	118
Tabla 20 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado con MQL+1%PF <sub>6</sub> .....	118
Tabla 21 Resultados de las constantes C y k (MQL+1%PF <sub>6</sub> – AISI/SAE 4140) .....	119
Tabla 22 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado con MQL+1%BF <sub>4</sub> .....	119

Tabla 23 Resultados de las constantes C y k (MQL+1%BF <sub>4</sub> – AISI/SAE 4140).....	119
Tabla 24 Comparación de la vida útil de la herramienta de corte, según la ecuación de Taylor para diferentes tipos de sistema de lubricación (Seco - MQL+1%PF <sub>6</sub> y MQL+1%BF <sub>4</sub> ) AISI/SAE 4140 .....	121
Tabla 25 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado en seco. ....	123
Tabla 26 Resultados de las constantes C y k (Seco – AISI 304) .....	123
Tabla 27 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado con MQL+1%PF <sub>6</sub> .....	124
Tabla 28 Resultados de las constantes C y k (MQL+1%PF <sub>6</sub> – AISI 304).....	124
Tabla 29 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado con MQL+1%BF <sub>4</sub> .....	124
Tabla 30 Resultados de las constantes C y k (MQL+1%BF <sub>4</sub> – AISI 304) .....	124
Tabla 31 Comparación de la vida útil de la herramienta de corte, según la ecuación de Taylor para diferentes tipos de sistema de lubricación (Seco - MQL+1%PF <sub>6</sub> y MQL+1%BF <sub>4</sub> ) AISI 304 .....	126
Tabla 32 Distribución “t Student” .....	142
Tabla 33 Valores de rugosidad Ra del mecanizado en Seco y MQL + 1% PF <sub>6</sub> para el cálculo de la distribución t .....	143
Tabla 34 Valores de rugosidad Ra del mecanizado en Seco y MQL + 1% BF <sub>4</sub> para el cálculo de la distribución t .....	146

## RESUMEN

La experimentación se llevó a cabo mediante un torno convencional semiautomático y se enfocó principalmente en el acabado superficial de las probetas mecanizadas y la vida útil de la herramienta de corte.

En la experimentación se utilizó como herramienta de corte, insertos de carburo de tungsteno con un radio de punta de 0,8 mm y denominación, CNMG 120408 MF 2025, según el catálogo de la marca SANDVIK COROMANT en donde se contó como parámetro la variación de la velocidad de corte, dada por el fabricante del inserto, y se seleccionaron los valores: recomendado y máximo.

La mezcla homogénea que se utilizó en el sistema de lubricación MQL tuvo como componentes el aceite vegetal “Coolube 2210 EP” y los líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>), se estableció utilizar el 1 por ciento en peso de líquidos iónicos por cantidad de aceite base, teniendo un flujo direccionado a la zona de trabajo entre la herramienta de corte y la superficie de la probeta, por consiguiente, se realizó una comparación del torneado utilizando el sistema de lubricación ya mencionado y el mecanizado en seco. Para la evaluación del acabado superficial se midió la rugosidad Ra y Rz en la superficie de la probeta mecanizada mediante un rugosímetro “SJ-210”. Según la norma ANSI/ASME B94.55M y con ayuda del microscopio electrónico de barrido se evaluó la vida útil de la herramienta de corte al observar y medir la evolución del desgaste del flanco del inserto en función del tiempo de mecanizado.

**Palabras clave:** Líquidos iónicos, vida útil, acabado superficial, torno semiautomático, acero AISI 304 y acero AISI/SAE 4140

## ABSTRACT

The experimentation was carried out using a conventional semi-automatic lathe and focused mainly on the surface finish of the machined specimens and the life mainly focused on the surface finish of the machined specimens and the life of the cutting tool. cutting tool life.

In the experimentation, tungsten carbide inserts with a tip radius of 0.8 mm and denomination, CNMG 120408 MF 2025, according to the SANDVIK COROMANT catalog were used as cutting tool, where the variation of the cutting speed, given by the insert manufacturer, was counted as a parameter and the recommended and maximum values were selected.

The homogeneous mixture used in the MQL lubrication system had as components the vegetable oil "Coolube 2210 EP" and the ionic liquids (BMIM)(BF<sub>4</sub>) and (BMIM)(PF<sub>6</sub>), it was established to use 1 percent by weight of ionic liquids per quantity of base oil, having a flow directed to the working area between the cutting tool and the surface of the specimen, therefore, a comparison of turning using the aforementioned lubrication system and dry machining was made. dry machining. For the evaluation of the surface finish, the roughness Ra and Rz were measured on the surface of the machined specimen using an "SJ-210" roughness meter. According to ANSI/ASME B94.55M standard and with the help of a scanning electron microscope, the service life of the machined specimen was evaluated. the service life of the cutting tool was evaluated by observing and measuring the evolution of the wear of the flank of the of the insert flank wear as a function of machining time.

**Keywords:** Ionic liquids, pot life, surface finish, semi-automatic lathe, AISI 304 steel and AISI / SAE 4140 steel

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

La búsqueda de alternativas para lubricantes en el mecanizado, no solo con la finalidad de reducir costos, sino también el lograr un mejoramiento en la calidad del producto y protección en el medio ambiente, es de gran importancia. Los líquidos iónicos (IL) son una opción eficaz, puesto que, han sido estudiados desde 2001 como lubricantes de alto rendimiento y aditivos lubricantes, obteniendo muy buenos resultados [1]. Entre los problemas presentados por la utilización de fluidos de corte convencionales, se resaltan, la alta toxicidad, no son biodegradables, irritación en la piel, entre otros. Incluso el mecanizado en seco también cuenta con sus desventajas, como el incremento de las temperaturas de contacto y tensiones que ocasionan el desgaste prematuro de la herramienta, afectando directamente a la vida útil que tiene. A consecuencia de esto, muchos autores concuerdan en que la mejor alternativa son los líquidos iónicos como potenciales aditivos, debido a que, en las investigaciones han gozado de muchas ventajas, una vez utilizados, como disminución en fuerzas de corte, lo que minimiza el desgaste de la herramienta y le otorga a la pieza mecanizada una mejor rugosidad en la superficie, además de tener características amigables con el ambiente [2, 3].

Un estudio realizado por B. Davis, J. K. Schueller, y Y. Huang, analiza a los líquidos iónicos como aditivos para el método MQL (Mínima Cantidad de Lubricante) durante el torneado del titanio [4], los puntos más relevantes que se tomaron en cuenta para cumplir con el objetivo de este trabajo fueron la velocidad de corte de 2 m/s, el avance de 0.05 mm/rev, y la profundidad de corte de 0,1 mm; además de la utilización del BMIM/PF<sub>6</sub> como IL mezclado con agua desionizada como aceite base, a través de un método de goteo, se demostró como resultado que la utilización del MQL con la adición de los IL puede reducir un 60% el desgaste de la herramienta en comparación con el mecanizado en seco, y un 15% más que el MQL sin la añadidura de ningún aditivo. Otro punto fundamental de

los resultados de esta investigación es la reducción de las fuerzas de corte y mejoramiento en el acabado superficial de las piezas mecanizadas, gracias a la formación de una capa límite protectora como resultado de una reacción triboquímica entre el IL y la herramienta/pieza de trabajo.

Otro estudio que relaciona a los líquidos iónicos como aditivos al aceite para el MQL, es el realizado por A. S. Abdul Sani en 2019 [5], el cual evalúa fuerza y temperatura de corte, desgaste de la herramienta y acabado superficial del mecanizado del acero AISI 1045 en el torno CNC Harrison Alpha, los IL tratados fueron  $[NTf_2]$  (AIL) y  $[i(C_8)2PO_2]$  (PIL) añadidos al aceite vegetal modificado “*Jatropha Curcas*” (MJO), con porcentajes de mezcla de 1, 5 y 10 % en peso. Se pudo evidenciar, como primer punto, una disminución en la corrosión del acero tratado, y también una reducción de muchos otros parámetros analizados como, la de la fuerza de corte, la energía de corte específica, el coeficiente de fricción, la temperatura de corte, el grosor de la viruta, la longitud de contacto herramienta/viruta y el desgaste de la herramienta. Todo aquello se obtuvo debido a la gran miscibilidad y biocompatibilidad de los IL en el aceite.

Por parte del trabajo experimental de Gyanendra S. Goindi y otros colaboradores, se analiza a los líquidos iónicos (IL) como aditivos en el mecanizado del acero al carbono simple, con el método de mínima cantidad de lubricante (MQL) [6], a través de operaciones de fresado ortogonal en una fresadora vertical CNC, con valores de velocidad de corte de 150 m/min, velocidad de avance 0,3 mm/rev y profundidad de corte de 0,8 mm, además de la utilización de aceite vegetal (aceite de canola) como fluido MQL con líquidos iónicos (IL), BMIMPF<sub>6</sub>, BMIMBF<sub>4</sub> y BMIMTFSI con 1 % en peso como aditivos. Los ensayos se realizaron bajo diferentes condiciones de enfriamiento; en seco, mecanizado por inundación y lubricación por MQL, estudiando con ello los valores de las fuerzas de corte y el desgaste de la herramienta, entre otros. Se tuvo como resultado que existen mayores fuerzas de corte máxima y fuerza de corte medias para el corte en seco y corte de enfriamiento por inundación, mientras que con el sistema MQL con IL se reduce hasta en un 15% las fuerzas de corte y fuerzas de empuje, para el desgaste de la herramienta se analizó los valores de rugosidad de la superficie de la herramienta de corte,

la rugosidad de las superficies de las herramientas que se experimentaron con sistema MQL de lubricante con líquidos iónicos como aditivos ha mejorado de manera muy significativa reduciendo hasta en un 45% en relación con el corte en seco.

Gyanendra S. Goindi y otros, nuevamente, en 2018, presentaron el efecto de los líquidos iónicos y las condiciones de corte en acero al medio carbono [7], en donde se realizó el estudio en un aceite miscible y no miscible con sistema MQL, se tomó en cuenta para la experimentación el corte en seco, lubricación de aceite vegetal con BMIM/PF6 y BMIM/BF4 con un 1% en peso y además se contó con el “polietilenglicol” como lubricante puro y con un 3% en peso de BMIM/PF6, utilizado un mecanizado vertical CNC modelo BFW Surya VF30 con un acero AISI 1055, se trabajó con velocidades de corte de 150, 200 y 250 m/min y profundidades de corte de 0,3-0,8 mm. De los tres fluidos de corte analizados, el corte en seco, el enfriamiento por inundación, y los líquidos iónicos como aditivos en el MQL, en este último uno de los parámetros en el cual se mostró una disminución significativa, fue las fuerzas de corte. También se evidenció que el desgaste de la superficie de la herramienta en el mecanizado ligero y en el pesado va disminuyendo, en enfriamiento por inundación y en el sistema MQL con IL comparándolo con el corte en seco, y mientras la velocidad va aumentando el efecto de los líquidos iónicos se vuelve mucho más prominente y los valores de rugosidad en la superficie de la herramienta son mucho más bajos que en las otras condiciones de enfriamiento, reduciéndolo hasta en un 50%, concluyendo que incluso una pequeña cantidad de líquidos iónicos tiene un gran potencial para influir en los parámetros y los resultados en un proceso de mecanizado.

Aparte de las investigaciones, ya mencionadas, que tienen a los IL como aditivos en aceites vegetales y utilizados en el mecanizado a través del sistema MQL, actualmente se estudian a los IL también como aditivos en aplicaciones tribológicas en el estudio del desgaste, como es el caso de L. Zhao y otros investigadores [8], que efectuaron un artículo en base a nuevos líquidos iónicos como el “1,4-diazabicyclo (2.2.2) octano (DABCO)”, realizando un análisis a propiedades térmicas, humectabilidad y viscosidad cinemática. Además, se evaluaron propiedades tribológicas, en las cuales los líquidos dicatiónicos basados en DABCO, fueron mezclados con aceite base sintético PEG, y se utilizó un

probador de desgaste de cuatro bolas de acero GCr15, en donde estas giraban a velocidad y a carga de prueba constante, 392 o 588 N y 1200 r/min, respectivamente, por una duración de una hora a 75 °C. El resultado de estas pruebas fue un rendimiento de lubricación mejorado por parte de los líquidos dicatiónicos como aditivo lubricante en comparación con el PEG puro, puesto que, estos redujeron los volúmenes de desgaste en un 85,82%, y un coeficiente de fricción en un 19,27%, como máximo. Los comportamientos tribológicos pueden explicarse con base en la interacción de elementos activos en líquidos dicatiónicos formando así una película tribohíbrida que contiene los productos triboquímicos y el aditivo adsorbido, que se deposita sobre la superficie de fricción para evitar el contacto directo de la superficie metálica. Otra conclusión relevante de este estudio expresa que los líquidos iónicos catiónicos basados en DABCO tienen una ruta de síntesis y un método de purificación sencillos, propiedades antidesgaste eficientes, y tienen un gran potencial para llevarse a cabo en el área de conformado de piezas metálicas, debido a que, pueden ser utilizados como aditivos para lubricantes en condiciones más severas.

Los grandes beneficios que tienen los líquidos iónicos (IL), han originado que en los últimos años se investiguen nuevas mezclas en diferentes aceites base, además de compararlos con aditivos comerciales, como el caso del aditivo “dialquilditiofosfato” de zinc (ZDDP) y realizar pruebas de ingeniería, como evaluar propiedades corrosivas, tribológicas y de desgaste [9]. En este estudio se toma a consideración dos líquidos iónicos (LB106) y (LF104), estos son compuestos con aniones similares, aunque cationes diferentes, y son de característica soluble, el aceite base en donde se añaden estos aditivos fue el PAO10 (poli- $\alpha$ -olefina-10) en concentraciones de masa de 0,5%, 1,0%, 1,5% y 2,0%. El rendimiento lubricante del PAO10 en bruto y las mezclas fueron evaluados por la máquina de prueba de bola sobre disco “Optimol SRV-IV” oscilante de fricción y comprobador de desgaste, el diámetro de la bola de acero (tipo: AISI 52100) fue de 10 mm, todas las pruebas tribológicas se realizan a temperatura ambiente, con cargas de 300 N y 500N, y velocidades que varían de 0,03-0,08 m/s. La comparación del aditivo comercial ZDDP y los líquidos iónicos LB106 y LF104, dio como conclusión que estos últimos son más eficaces en las diferentes pruebas realizadas, puesto que, se obtuvieron

mejores resultados en las propiedades de resistencia a la corrosión, en el antidesgaste (AW) y en la presión extrema (EP), siendo así adecuados para entornos operativos más rígidos. Posteriormente, se realizaron espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) y espectrómetro de dispersión de energía (EDS) para estudiar el mecanismo de lubricación de los dos IL, obteniendo como resultado que la formación de película triboquímica juega el papel más crucial en la mejora del comportamiento lubricante y AW de la mezcla de lubricantes.

Una de las últimas investigaciones en las que se aplican los líquidos iónicos (IL) como aditivos en un aceite base, es el caso de H. Guo y P. Iglesias, los cuales observan el comportamiento tribológico de un nuevo líquido iónico prótico a base de amonio (PIL), analizando el contacto acero – acero a diferentes temperaturas [10], el aceite base sintético de estas pruebas fue el (MO) en el cual se añadió el PIL de denominación “DCi” en 1% en peso. Las pruebas tribológicas se realizaron en un tribómetro alternativo de bola sobre plano diseñado a medida, también se contó con un calentador para ejecutar los ensayos a temperatura ambiente y a 100° C, los discos utilizados para dichas pruebas fueron de material AISI 52100 de diámetro de 1,5 mm, las condiciones se llevaron a cabo bajo una carga normal de 2 N, que corresponde a una presión de contacto media de Hertz de 1,34 GPa y una presión de contacto máxima en Hertz de 2,02 GPa, la velocidad de deslizamiento para cada ensayo se fijó en 0,05 m/s con una frecuencia de 5 Hz. Se observó, por parte de los investigadores, que la añadidura del 1% de DCi en MO baja el coeficiente de fricción considerablemente, un 29,0% a temperatura ambiente y un 35,5% a 100°C, obteniendo además que esta combinación muestra una reducción antidesgaste muy prometedora al alcanzar hasta el 59,4% en comparación con el MO puro. También se pudo evidenciar que al aplicar la mezcla 1%DCi + MO las pistas de desgaste obtenidas después de las pruebas a alta temperatura son más estrechas y engorrosas que las obtenidas después de una prueba lubricada con MO.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Estudiar del efecto de los líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>) 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.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Identificar los sistemas de lubricación para las herramientas de corte en el torneado de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140.
- Identificar los principales parámetros del proceso de mecanizado que influyen en el acabado superficial del torneado de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140.
- Determinar la rugosidad superficial en el proceso de torneado de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140 a diferentes condiciones de lubricación, mediante el método de lubricación en seco y el sistema MQL con aceite vegetal más la adición de los líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>).
- Evaluar el desgaste de la herramienta de corte mediante la norma ANSI/ASME B94.55M usando el método de lubricación en seco y el sistema MQL con aceite vegetal más la adición de líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>).
- Comparar los resultados del desgaste de la herramienta de corte en el proceso de torneado de acero AISI 304 y AISI/SAE 4140 a diferentes condiciones de lubricación, mediante el método de lubricación en seco y el sistema MQL con aceite vegetal con los líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>) como aditivos.
- Determinar el tiempo de vida útil de la herramienta de corte en el proceso de torneado de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140, mediante la ecuación de Taylor.

### **1.3. Hipótesis**

El usar los líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>) como aditivos al aceite vegetal para el sistema MQL mejorará el acabado superficial del torneado del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI/SAE 4140 y por lo tanto, la vida útil de las herramientas de corte.

#### **1.3.1. Variable dependiente**

Acabado superficial en el proceso de torneado del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI/SAE 4140 y vida útil de la herramienta de corte

#### **1.3.2. Variable independiente**

Efecto de los líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>) como aditivos en el aceite vegetal para el (MQL)

### **1.4. Marco teórico**

#### **1.4.1. El proceso de torneado**

El torno forma parte de las máquinas herramientas que se encarga del mecanizado de piezas con geometría de revolución como hélices, conos o cilindros, el propósito más importante de una máquina herramienta es trabajar en materiales rígidos, con una gran precisión, para darles la forma de piezas metálicas, estas máquinas se consideran de carácter estacionario. El principio de funcionamiento del torno consiste en girar la pieza de trabajo en torno a su propio eje mientras herramientas de corte o insertos se empujan con una velocidad de avance determinado sobre su superficie a diferentes ángulos de incidencia, según el trabajo que se quiera obtener, desprendiendo viruta y en sí maquinando la pieza [11]. A continuación, en la figura 1 se muestra el proceso de mecanizado en un torno semiautomático.



Fig. 1 Torno semiautomático del laboratorio de FICM

Fuente: Autores

#### 1.4.1.1. Operaciones de torneado

En el torno se puede obtener procesos de mecanizado de volúmenes de revolución, entre los que tenemos: frentado o desbaste frontal, desbaste lateral o cilindrado, desbaste cónico, perforados, ranurados, roscados, moleteado, mandrinado y torneados internos, para todos estos procesos la herramienta debe obligatoriamente estar centrada. A continuación, en la figura 2 se presenta los esquemas de algunas operaciones de torneado [12]:

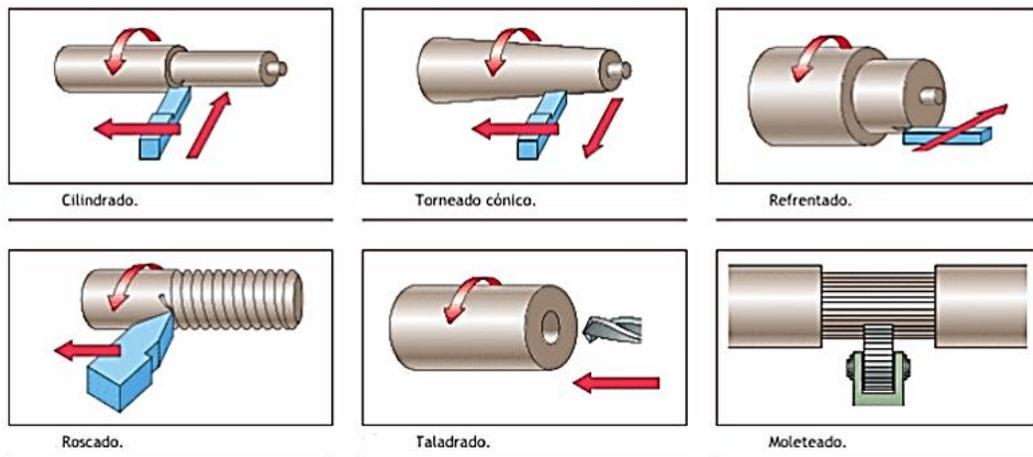


Fig. 2 Esquema de operaciones de torneado [13]

### 1.4.1.2. Movimiento de trabajo del torno

En el proceso de torneado aparece un movimiento de trabajo (principal o de corte) que es el giro de la pieza sobre su propio eje generando una rotación, la cual es sometida al contacto con una herramienta específica que tiene dos desplazamientos [14]:

- **Movimiento de avance:** en el caso del torneado es un movimiento paralelo al eje de la pieza, define el perfil de la revolución [11].
- **Movimiento de penetración:** es un movimiento perpendicular al eje de la pieza y determina la profundidad de viruta que se va a obtener, también conocido como movimiento de ajuste [11]. Se muestra en la figura 3 el esquema principal de estos movimientos.

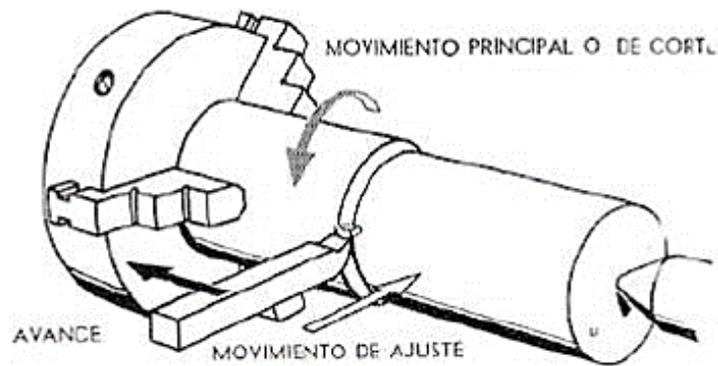


Fig. 3 Esquema de los movimientos de torneado [14]

### 1.4.2. Herramientas de corte

Son utilizadas para extraer las partes de material excedente de las piezas durante el proceso de maquinado, se puede diferenciar dos tipos de corte: herramientas de corte integral y porta insertos [12].

### 1.4.2.1. Herramientas de corte integral

Son herramientas de acero al cobalto, de 4% al 12% aumentando su grado de dureza permitiéndole trabajar materiales ferrosos y resistencia a la temperatura, al momento del maquinado la herramienta forma ángulos con la pieza, ángulo de incidencia  $\alpha$ , de filo  $\beta$  y de ataque  $\gamma$ , como se muestra en la figura 4. Actualmente han sido reemplazados por insertos y porta insertos [12].

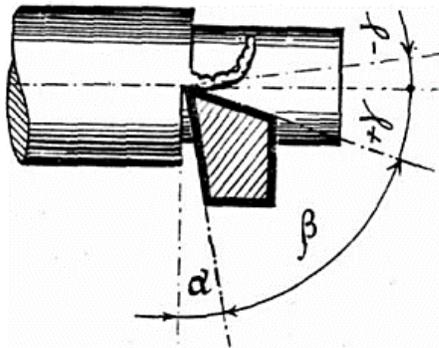


Fig. 4 Ángulos de incidencia de herramientas de corte integral [12]

### 1.4.2.2. Plaquetas de corte o insertos para torno

Son plaquetas de corte que en su composición contienen carburo de tungsteno, de titanio, de tántalo, de niobio de cromo, de molibdeno y de vanadio, se utilizan en el maquinado de aceros. En el proceso de maquinado existen varios factores a tomar en cuenta dependiendo del material a trabajar como: forma, tamaño, trabajo requerido y otros parámetros [13]. En la figura 5 se presenta un esquema de la sujeción que tienen las plaquetas de corte en el porta insertos.

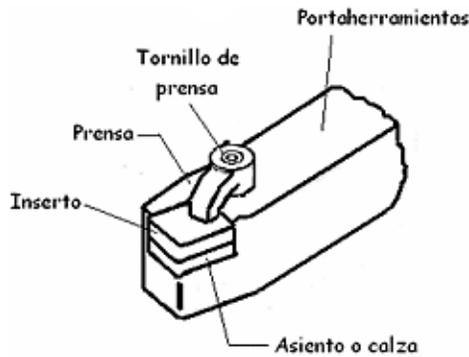


Fig. 5 Insertos o plaquitas de corte [12]

### 1.4.2.3. Estandarización de insertos

En la actualidad en el mercado existe un sin número de tipos de insertos, por lo que se ha llevado a cabo una norma para estandarizarlos, la norma es la ISO 1832, el fin de la norma es facilitar la selección de inserto para el tipo de trabajo que se requiera realizar [13].

#### *Norma ISO 1832*

La estandarización para los insertos a través de la norma está dada por un código alfanumérico de la siguiente forma: XXXX NN NN [NN]. Sirve para la clasificación de todos los insertos disponibles en el mercado, cada catálogo presenta esta clasificación. La norma toma en cuenta 10 categorías para la identificación de cada tipo de inserto, entre las cuales, las 7 primeras categorías son obligatorias, mientras que las 3 últimas son optativas y dependen de cada fabricante [15].

- 1) **Forma del inserto (geometría):** se especifican 16 geometrías diferentes, según la norma, para la fabricación de las plaquitas o cuchillas para el mecanizado, de estas formas se destacan; pentágonos, cuadrados, hexágonos, diamantes, paralelogramos, circulares, entre otras [15].
- 2) **Ángulo de incidencia:** es una letra que indica el ángulo con el que el inserto arrancará la viruta de la pieza mecanizada, indica el complemento de  $90^\circ$  en un plano normal al borde de corte entre el flanco y la superficie del inserto, conforma el punto en el que el inserto reduce la fricción con el material [15].

- 3) **Tolerancia:** esta letra representa las tolerancias máximas y mínimas de las medidas del inserto medidas en mm, descrito por el círculo más grande que se inscribe en el perímetro de este [15].
- 4) **Sujeción y rompe virutas:** se indica a través de esta sección si es que se cuenta con un rompe virutas en el inserto, y también, se considera si existe o no un orificio de sujeción para adaptarlo al porta inserto [15].
- 5) **Longitud de la arista de filo:** indica el tamaño del círculo inscrito en el perímetro del inserto representado por un número de dos dígitos sin considerar decimales, si el diámetro del círculo inscrito es menor a 10 mm se antepone un cero, en insertos con geometría rectangular y de paralelogramo se utiliza las dimensiones de ancho y largo [15].
- 6) **Espesor:** en esta categoría se indica el espesor del inserto en milímetros, puede representarse con un número o mediante un número acompañado de una letra [15].
- 7) **Radio:** indica el radio de nariz o punta de corte, dando así una referencia de su forma, se representan por números enteros ignorando los decimales, este valor puede ir desde 0,03 mm a 3,2 mm c.
- 8) **Arista de corte:** es una letra que representa parámetros especiales como el terminado de la superficie y el tratamiento de la arista, depende del fabricante [15].
- 9) **Dirección del corte:** indica el sentido que llevara el inserto durante el corte se representa por 3 letras: R derecha, L izquierda y N neutro o ambas [15].
- 10) **Personalización del inserto:** depende únicamente del fabricante [15].

Existe un código de colores normalizado por la ISO 513 donde se detalla los materiales de los insertos que se encuentran en el mercado, a continuación, se presenta en la tabla 1.

*Tabla 1 Código de colores para plaquitas de corte. Adaptada de [15]*

<i>Clasificación y color</i>	<i>Material del inserto</i>	<i>Material recomendado de la pieza</i>	<i>Aplicaciones del material del inserto</i>
------------------------------	-----------------------------	---	--

P: Azul	Acero al carbono	Acero	Toda clase de aceros y fundiciones excepto aceros inoxidables y de estructura austenítica
		Acero Fundido	
		Acero maleable de viruta larga	
M: Amarillo	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Torneado a velocidad de corte medianas. En máquinas automáticas torneado, ranurado y tronzado
		Acero fundido	
		Acero al manganeso	
		Fundición aleada	
		Fundición maleable	
K: Rojo	Fundición	Fundición gris	Torneado, brochado y mandrinado en procesos de acabado, con ángulos de desprendimiento muy grandes
		Fundición en coquilla	
		Fundición maleable de viruta corta	
N: Verde	Materiales no ferrosos	Aleaciones de aluminio	Alta velocidad de corte y prolongada vida útil de la herramienta
		Cobre y sus aleaciones	
S: Marrón	Aleaciones termo resistentes	Titanio y sus aleaciones	Pastosos, crean filo de aportación se endurecen durante el mecanizado y generan calor
		Base de hierro, níquel y cobalto	
H: Gris	Acero endurecido	Acero extraduro	Procesos muy abrasivos para el filo del inserto por ser materiales muy difíciles de mecanizar
		Acero templado	
		Fundición en coquilla	

#### 1.4.2.4. Porta insertos

Este elemento se encuentra en dependencia del tamaño, el ángulo de posición y la forma del inserto, es recomendable la selección del porta insertos más grande para brindar mayor fijación para el corte y disminuir vibraciones, además ayuda a la libre circulación de virutas [16].

#### 1.4.2.5. Estandarización de porta insertos

El porta inserto se diseña en relación con la forma y tamaños de los insertos que están definidos por especificaciones de la ISO 1832 (estandarización de insertos) y la ISO 513 (características técnicas de cada inserto). El principal parámetro para tomar en cuenta un porta insertos es el tipo de sujeción que se va a tener, así tenemos los siguientes:

- **P:** Si el inserto es sujetado por una palanca que empuja sobre el asiento de la herramienta de corte.

- **C:** Si el inserto es sujetado por una brida a presión, que mantiene al inserto presionado sobre la base de la herramienta de corte.
- **S:** Si el inserto posee un agujero en forma cónica y es sujetado por un tornillo.
- **M:** Si el inserto es sujetado por una cuña o brida que sujeta simultanea mente a la parte superior o la lateral [15].

En la figura 6 se muestran los distintos tipos de sujeción ya mencionados.

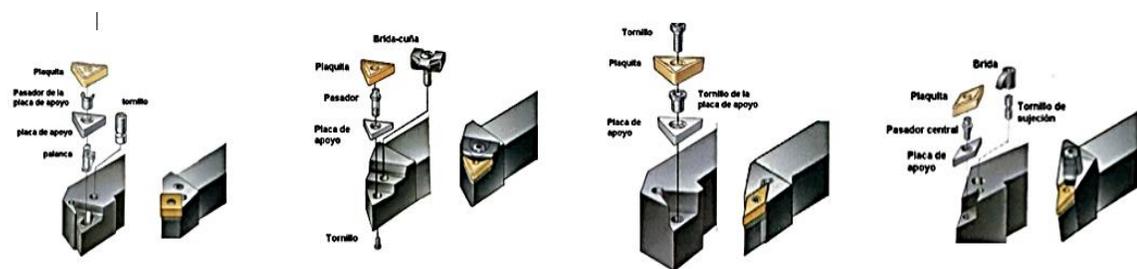


Fig. 6 Esquemas de sujeción tipo P, C, S y M [15]

Así la especificación técnica para un porta inserto estará designado por un código de la forma: XXXXX [NNNN] donde:

- Primera letra: indica el sistema de fijación del inserto (P, C, S, M)
- Segunda letra: indica la geometría del inserto que se monta.
- Tercera letra: indica el tipo de porta herramienta según el ángulo.
- Cuarta letra: indica el ángulo de incidencia del inserto sobre el porta inserto.
- Quinta letra: indica el sentido de corte del inserto (R, L, N)
- Sexta y séptima letra: indica el tamaño del porta herramientas
- Octava letra: esta letra indica la longitud del mango
- Novena letra: indica la longitud de arista del corte en mm [16].

#### 1.4.3. Velocidades en el torno

#### 1.4.3.1. Velocidad de corte

Es la velocidad lineal o tangencial que tiene el material o viruta sobre la superficie de la herramienta o inserto, viene expresada en [m/min] y debe ser seleccionada con anticipación dependiendo del material y el tipo de trabajo que se va a realizar en la pieza [13], [12]. La ecuación 1, describe lo antes mencionado [12].

$$V_c \left( \frac{m}{min} \right) = \frac{n \left( \frac{rev}{min} \right) * \pi * D_c(mm)}{1000 \left( \frac{mm}{m} \right)} \quad (1)$$

Donde:

$V_c$  es la velocidad de corte (m/min)

$n$  es la velocidad de rotación (rev/min)

$D_c$  es el diámetro de la pieza (mm)

Para su cálculo se debe tomar en cuenta algunos parámetros en función del material de la pieza, sus dimensiones, montaje del material y fluidos de corte. El cálculo incorrecto de este parámetro de torneado puede ocasionar, desgaste excesivo de del filo del inserto y deficiente acabado superficial [13, 14].

#### 1.4.3.2. Velocidad de rotación de la pieza (husillo)

Se expresa en revoluciones por minuto (rpm), la velocidad de rotación del husillo depende del torno que se disponga, en tornos CNC la velocidad de rotación puede regularse con variadores de frecuencia [13], [12]. La velocidad de rotación de la pieza se puede calcular a través de la ecuación 2 [12]:

$$n \left( \frac{rev}{min} \right) = \frac{1000 \left( \frac{mm}{m} \right) * V_c \left( \frac{m}{min} \right)}{\pi * D_c(mm)} \quad (2)$$

Donde:

$n$  es la velocidad de rotación (rev/min)

$Vc$  es la velocidad de corte (m/min)

$Dc$  es el diámetro de la pieza (mm)

#### **1.4.3.3. Velocidad de avance (F)**

Se expresa como la velocidad de la herramienta con relación a la pieza, es decir es la velocidad con la que se va realizando el corte. En tornos convencionales al igual que la velocidad de rotación de la pieza, la velocidad de avance se puede seleccionar de las disponibles dependiendo del torno que se disponga, mientras que en los tornos CNC se puede seleccionar cualquier velocidad [13, 14, 16]. La velocidad de avance está definida por la ecuación 3 [15]:

$$F \left( \frac{mm}{min} \right) = n \left( \frac{rev}{min} \right) * fn \left( \frac{mm}{rev} \right) \quad (3)$$

Donde:

$F$  es la velocidad de avance (mm/min)

$n$  es la velocidad de rotación (rev/min)

$fn$  es el avance (mm/rev)

#### **1.4.4. Vida útil de la herramienta de corte**

En el proceso de torneado, la herramienta de corte es la que más afectada se encuentra, porque, se encuentran sometidas a diferentes parámetros que la desgastan como: grandes

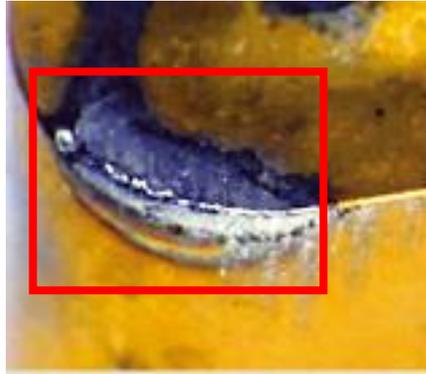
esfuerzos, elevadas temperaturas al momento de realizar el corte, y los diferentes fluidos provocan un ambiente muy agresivo para el inserto lo que genera su desgaste. El desgaste en una herramienta de corte trae muchos aspectos negativos en su funcionalidad, se reduce su vida útil, la calidad del acabado superficial en las piezas mecanizadas y su exactitud dimensional, todos estos factores inciden en la economía de los procesos de mecanizado [16, 18]. Con base en estos parámetros que influyen en las herramientas de corte pueden presentarse 3 tipos de fallas:

**Falla por fractura:** este tipo de falla aparece cuando se tiene una excesiva fuerza de corte en la punta del inserto y provoca una falla por fractura imprevista. En la figura 7 se presenta un caso de fractura en la herramienta de corte y desprendimiento de material.



*Fig. 7 Falla por fractura en la herramienta [17]*

**Falla por temperatura:** generalmente esta falla se observa cuando se tiene una velocidad de corte demasiado alta lo que provoca una temperatura muy alta para el material de la herramienta de corte (inserto), como se observa en la figura 8, ocasionando ablandamiento de la punta, una deformación plástica y pérdida de filo en el borde.



*Fig. 8 Falla por temperatura [17]*

**Desgaste gradual:** este tipo de desgaste se produce por el trabajo propio del inserto, al terminar la vida útil de la herramienta se presentan pérdidas de la geometría de la herramienta, disminución en la calidad de corte, un desgaste acelerado lo que ocasiona con el tiempo una falla por fractura o por temperatura [16, 18].

#### **1.4.4.1. Criterio de desgaste de las herramientas de corte**

**Desgaste de cráter:** este tipo de desgaste se presenta en forma de una región cóncava en la cara de acción del inserto, es provocada por el deslizamiento de la viruta sobre la superficie de la herramienta, este tipo de relación entre la superficie del inserto y la viruta del material de la pieza provoca grandes esfuerzos y altas temperaturas lo que incrementa la acción del desgaste [17].

**Desgaste de flanco:** este tipo de desgaste se presenta en el filo principal del inserto, en la superficie de incidencia y es provocado por dos factores: la temperatura elevada y por la fricción que existe entre la herramienta y la superficie maquinada, estos factores generan un desgaste abrasivo y una modificación de las propiedades del material del inserto. Este tipo de desgaste puede ser medido con el ancho de la banda de desgaste ( $V_b$ ), es conocida como banda de desgaste [17].

En la figura 9 se muestra un esquema de los desgastes de cráter y de flanco.

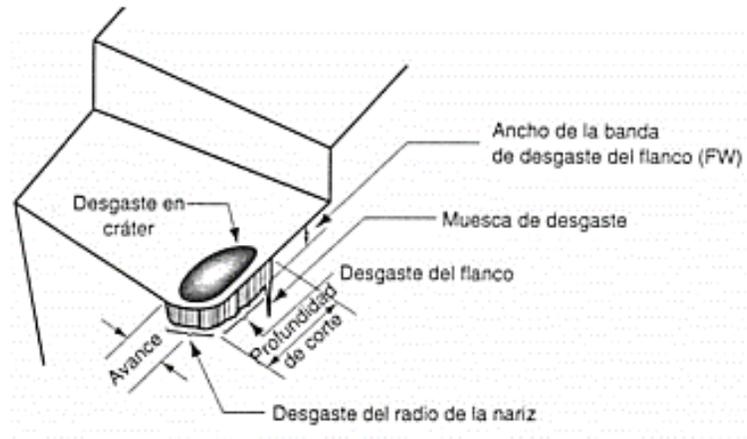


Fig. 9 Esquema de desgaste de cráter y de flanco [17]

Según la norma ASME B94.55M, para mediciones de desgaste se considera el filo de corte tiene 3 regiones, como se presenta en la figura 10:

- Zona C: Es la parte curva del filo en la arista del inserto
- Zona N: Se encuentra en la zona más lejana de la esquina de la herramienta, es la cuarta parte de la longitud del filo (b).
- Zona B: Es la parte sobrante que se encuentra entre la zona C y N.

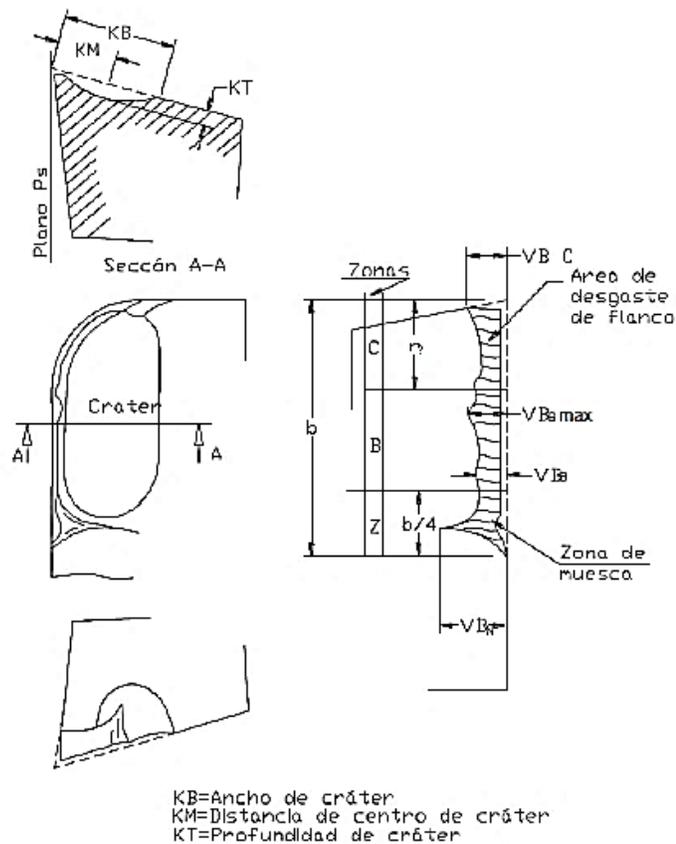


Fig. 10 Zona de desgaste de herramientas [15]

La norma ANSI/ASME B94.5M para procesos de torneado con sistemas de MQL con insertos de metal duro recomienda los siguientes valores para desgaste de flanco. La zona intermedia de flanco (VBB) puede tomar valores de:

- VBB en promedio de desgaste: 0,3 mm.
- VBB en desgaste máximo: 0,6 mm (para desgaste irregular).
- Para valores más altos se produce la rotura de la herramienta.

Por lo general se trabaja con valores de VBB en el rango de 0,15 a 1 mm dependiendo del tipo de trabajo que se quiera realizar y de las necesidades que se quiera cumplir [15].

#### 1.4.4.2. Ecuación de Taylor

El desgaste aumenta a medida que el inserto es sometido a trabajo de corte y remoción de material, está estrechamente relacionado con la velocidad de corte, mientras se utilice velocidades más altas el desgaste será mucho mayor. En palabras generales se presentan 3 regiones de desgaste, la primera es un periodo de rotura inicial en la que el flanco se desgasta por el contacto con la superficie de la pieza, le sigue un periodo de desgaste en estado estable en el cual se tiene una velocidad constante donde llega a los límites de  $VB_B$  y un periodo de rotura de la herramienta [16, 18]. En la figura 11 se muestra la tendencia de desgaste del flanco en función del tiempo y con variación en la velocidad de corte.

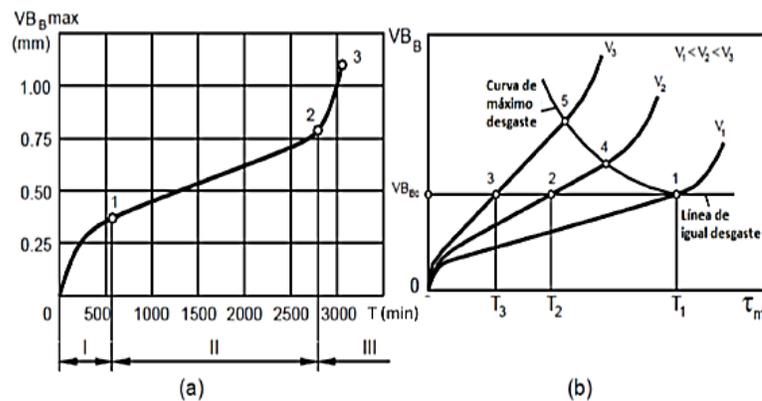


Fig. 11 (a) Esquema de desgaste de flanco en función del tiempo (b) Desgaste de flanco en función del tiempo con varias velocidades [17]

#### 1.4.5. Acabado superficial

En términos generales el acabado superficial denota la suavidad y calidad general de una superficie, siendo así uno de los parámetros que influyen en la precisión dimensional de una pieza mecanizada. El proceso de desbaste tiene una importancia relevante en el acabado superficial, además de ser el proceso que lo antecede, es aquel que le otorga un aspecto más estético al producto final y otorga las tolerancias requeridas [18].

La herramienta de corte, a través del radio de punta y el avance, definen directamente si el acabado superficial es el recomendado, también la velocidad es un factor que influye. Uno de los principales inconvenientes en el mecanizado es la formación de valles espirales, y para ello es necesario utilizar radios grandes de punta en la herramienta de corte, originando así un mejor acabado superficial, lo que se puede evidenciar en la figura 12 [18].



Fig. 12 Marcas que se generan por la herramienta de corte [18]

#### 1.4.6. Rugosidad superficial

La rugosidad superficial valora el estado de la superficie de un elemento o la calidad de este, varía según la funcionalidad o aplicabilidad que tome el elemento o pieza mecanizada, antes de determinar la rugosidad, se debe tomar en cuenta que los elementos ya han pasado por procesos de arranque de viruta, con el objetivo de mejorar el grado de calidad en su superficie. Muchos son los factores por los cuales el resultado es la rugosidad superficial, algunos dependen directamente de las condiciones del proceso de mecanizado como, la irregularidad del proceso de corte, vibraciones de la máquina herramienta, la estructura del material, entre otras; los otros factores son parámetros técnicos previamente seleccionados como la geometría de la herramienta y la velocidad de avance [19]. El valor de la rugosidad ideal promedio se encuentra descrito por la ecuación 4 [20].

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

Donde:

$R_a$  es el valor promedio de rugosidad superficial ideal.

$f$  es el avance (mm/rev)

$r$  es el radio de la herramienta (mm)

El valor de  $R_a$  significa la cantidad promedio de la rugosidad de un elemento, esta no otorga información sobre las irregularidades de forma o superficie, no obstante, la rugosidad  $R_a$  se utiliza comúnmente como parámetro de medición, por este motivo, los elementos no típicos, no tienen mucha influencia en el valor total de la rugosidad, como las picaduras [20]. En la figura 13 se muestra la tendencia de la desviación media aritmética de la rugosidad  $R_a$ .

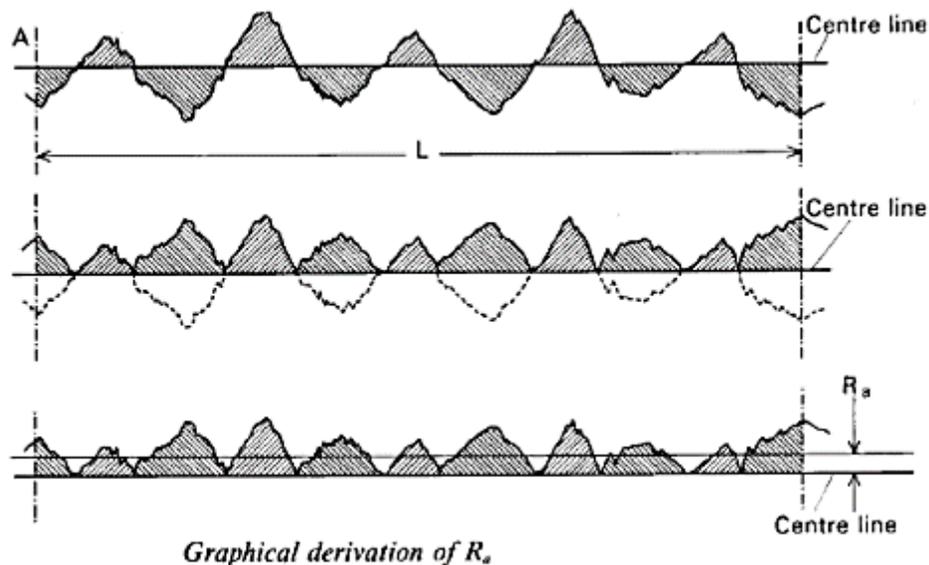


Fig. 13 Derivación de la desviación media aritmética de la rugosidad  $R_a$  [20]

En la parte siguiente se presenta la tabla 2, en donde se colocan las principales aplicaciones de estados superficiales de mecanizado y su rugosidad [21].

Tabla 2 Estados superficiales (Aplicaciones). Adaptada de [21]

Clase de superficie	Rugosidad ( $\mu$ )	Calidad de superficie	Aplicaciones
Superrefinado	0,04 – 0,06	Especial	Superficies destinadas a medición, calibres de deslizamiento altamente fatigados, ajustes de precisión no desmontables.
	0,1 – 0,16	Máxima	
Refinado: No se visualizan las estrías fácilmente	0,25 – 0,4	Muy buena	Superficies de deslizamiento muy fatigadas, ajustes de precisiones desmontables.
	0,6 – 1 – 1,6	Buena	Elementos sometidos a fatigas por flexión y torsión; ajustes de deslizamiento y presión.
Afinado: Se puede visualizar las estrías, pero no son perceptibles al tacto.	2,5 – 4 6 – 10	Media	Ajustes de reposo que no transmiten fuerzas, superficies de deslizamiento poco fatigadas.

Otro punto importante de la calidad superficial es la rugosidad Rz que muestra la altura de diez puntos de las irregularidades en una longitud de muestreo, esta se divide en la altura de pico más alto sobre la línea media y la profundidad más baja de la línea media. Estos valores se pueden observar en la figura 14, Zp (pico de perfil más alto) y Zv (profundidad más grande), respectivamente [21].

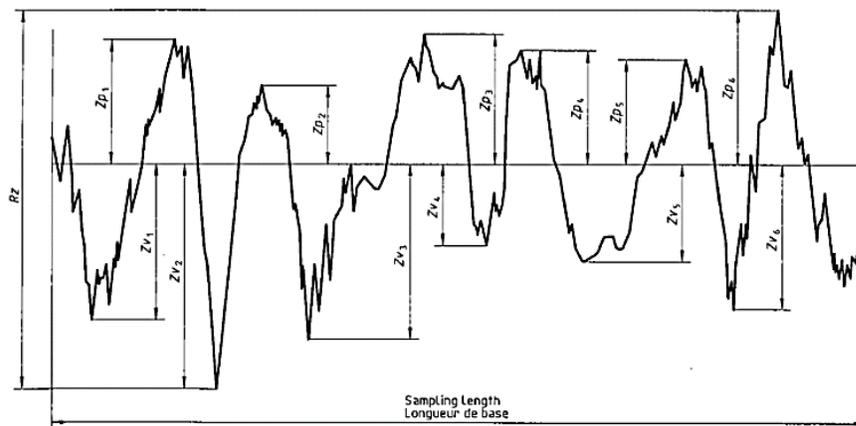


Fig. 14 Máxima y mínima altura del perfil de rugosidad [21]

A través de la tabla 3 se recopilan los estados superficiales según los procesos de fabricación normales, previamente normalizados, en función de su rugosidad [21].

Tabla 3 Procesos normales de fabricación y sus rugosidades. Adaptada de [21]

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

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

#### 1.4.7. Viruta en el mecanizado

La viruta en el proceso de mecanizado es definida por muchos autores como el exceso de material, de la pieza en bruto, que se presenta como fragmento en forma de lámina, la cual se visualiza de diferentes tipos al momento de cortar con la herramienta [22]. La morfología específica de la viruta obtenida en el mecanizado puede afectar directamente al acabado superficial de la pieza, a la vida útil de la herramienta, a la precisión de las dimensiones a obtener en la pieza, y en último lugar, en la continuidad del proceso, pues, suele surgir acumulación de viruta [23].

La forma de la viruta depende de muchas variables, según [22] de los parámetros principales del mecanizado como velocidad, avance y profundidad de corte, también influye mucho tanto el material como la herramienta, en esta última se toma en cuenta la geometría y la posición con respecto a la pieza a mecanizar. La clasificación de la viruta en el mecanizado se puede dar principalmente tomando como referencia la forma en la que el material se deforma y fractura, siendo así tres tipos de viruta, fragmentada, continua y segmentada, como se muestra en la figura 15.

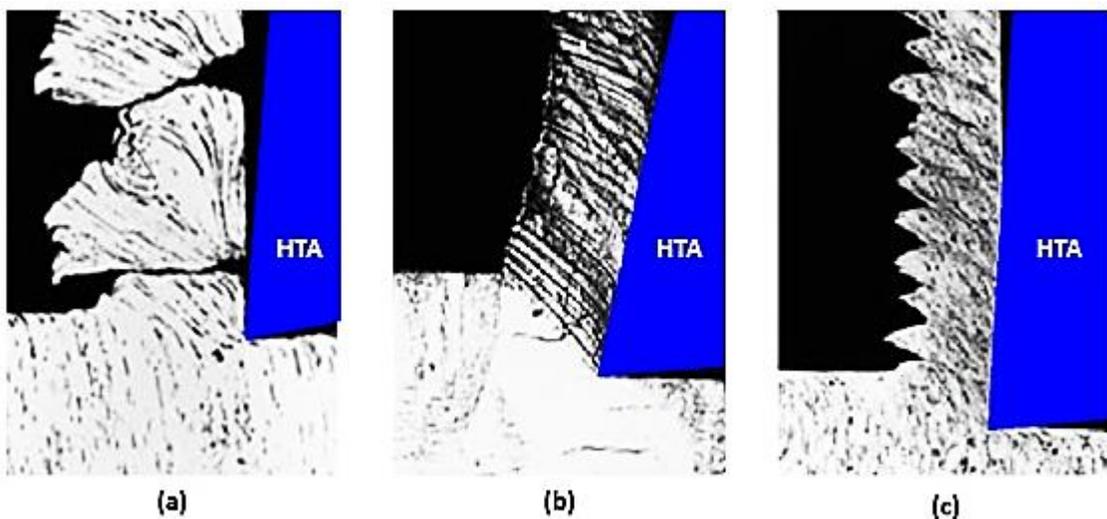


Fig. 15 Tipos de viruta, a) Fragmentada b) Continua y c) Segmentada [23]

#### **1.4.7.1. Viruta fragmentada**

Las fuerzas de corte superiores al límite de rotura del material en el mecanizado aparecen cuando se toman velocidades de corte bajas, y muy elevados valores tanto de profundidad como de avance de corte, lo que conlleva también a una elevada fricción viruta-herramienta y a la aparición de este tipo de viruta. Las virutas fragmentadas se evacuan de forma sencilla sin complicaciones de la zona de corte, asiendo fácil su adecuada acumulación y almacenaje para el reciclado respectivo. Sin embargo, la presencia de estas virutas origina que la superficie mecanizada tenga un aspecto irregular, por ello siempre es relacionada con acabados superficiales ineficaces, además con las fluctuaciones en las fuerzas de corte la operación es susceptible a vibración [23].

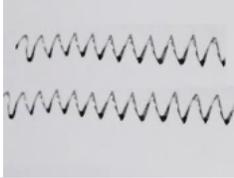
#### **1.4.7.2. Viruta continua**

Al mecanizar con velocidades de corte medias o elevadas combinadas con avances y profundidades de corte normales o moderados en un material dúctil, ocasiona la cizalladura pura, además de visualizar la formación de este tipo de virutas. Las virutas continuas suelen, en la gran mayoría de casos, ir acompañadas por un acabado superficial de alto nivel, sin embargo, estas dan lugar a la formación de los “nidos de viruta”, que son la acumulación y enredo de la viruta en el porta herramienta, la pieza o en el cabezal del torno [23].

#### **1.4.7.3. Viruta segmentada**

La viruta segmentada se puede observar al mecanizar materiales que cuentan con baja conductividad térmica y que su resistencia baja rápidamente con la temperatura, como las aleaciones de titanio, este tipo de virutas tiene la apariencia de los dientes de una sierra al tener una forma semicontinua. Las variaciones periódicas en las fuerzas de corte son la principal desventaja de esta clase de virutas, en consecuencia, esto afecta a la vida útil de la herramienta y la rugosidad tienen de ser muy elevada [23]. La norma ISO 3685 cuenta con una clasificación diferente de la viruta, la cual está enfocada en el tamaño y la forma de la viruta, agrupándolas así en 8 grupos como se evidencia en la tabla 4.

Tabla 4. Tipos de virutas de mecanizado según la norma ISO 3685. Adaptada de [23]

<b>Planas</b>			
			
Largas	Cortas	Enmarañadas	
<b>Tubulares</b>			
			
Largas	Cortas	Enmarañadas	
<b>Espirales</b>			
			
Planas		Cónicas	
<b>Helicoidales</b>			
			
Largas	Cortas	Enmarañadas	
<b>Helicoidal cónica</b>			
			
Largas	Cortas	Enmarañadas	
<b>Arqueadas</b>		<b>Fragmentadas</b>	<b>Aciculares</b>
			
Sueltas	Conectadas		

### 1.4.8. Fluidos de corte

Generalmente son líquidos o gases que actúan directamente en el maquinado con el objetivo de llevar el corte con mayor eficiencia. Los propósitos de los fluidos de corte son muchos, entre los que más se destacan se encuentran, la expulsión de la alta temperatura generada en zonas de fricción y corte, y la reducción de la fricción en las interacciones herramienta – viruta y herramienta – trabajo. Aparte de brindar solución en los problemas ya mencionados, estos fluidos ayudan a que sea mucho más manejable la pieza de trabajo, por la reducción en el calor de esta, también pueden producir una disminución en las fuerzas de corte y potencia, además de mejorar el acabado superficial [24].

#### 1.4.8.1. Tipos de fluidos de corte

En vista de que comercialmente existen diversos fluidos de corte, la clasificación de ellos es muy necesaria. Las dos clases principales de fluidos de corte se diferencian por la química que presentan, y por la necesidad que atienden en el maquinado, siendo estos últimos los que se presentan a continuación [24]:

- a) **Los refrigerantes:** son por lo general soluciones o emulsiones en el agua, ideales para procesos en donde sea evidente grandes cantidades de calor como el torneado y fresado. El principal objetivo de los refrigerantes es el de prolongar la vida de la herramienta de corte, extrayendo el calor que se genera en esta y en la pieza de trabajo, se pueden utilizar a velocidades de corte elevadas en los aceros denominados “de alta velocidad” [24].
  
- b) **Los lubricantes:** por lo general son aceites, ideales para los procesos de taladrado y roscado, puesto que, estos fluidos tienen mayor efectividad en velocidades por debajo de 120 m/min o 400 ft/min (velocidades bajas), si no se toman en cuenta estas velocidades estos aceites podrían evaporarse debido a las altas temperaturas. La reducción de la fricción en las interfaces, herramienta – viruta y herramienta – trabajo, es la principal problemática que estos aceites atienden en el maquinado [24].

#### 1.4.8.2. Clasificación por formulación química de los fluidos de corte

Los fluidos de corte según su formulación química se dividen en cuatro categorías, siendo estas: 1) aceite puro o aceite de corte recto, 2) aceites emulsionados, 3) aceites semi sintéticos y sintéticos. El primero de estos tipos tiene características lubricantes, en cambio los restantes se identifican mejor con los refrigerantes, pues, en su formación contienen agua, enseguida se detallan estos tipos de fluidos de corte [24]:

- a) **Aceite puro o aceite de corte recto:** derivados del petróleo (origen animal, marino o vegetal). Los aceites minerales pueden mezclarse con todos los tipos de aceites obteniendo un mismo fluido, siendo así uno de los aceites de esta clase que muestran mejores características lubricantes, además se pueden mezclar con aditivos que se componen principalmente de azufre, cloro o fósforo, llamados EP (aditivos de presión extrema), ayudando así a evitar la fricción y el desgaste. Los aceites “Paraffínico” y “Naftalina” son claros ejemplos de aceites minerales, el principal inconveniente de este tipo de aceites es la contaminación. [23, 24].
- b) **Aceites emulsionados:** suspensión de gotas de aceite en agua, El fluido se hace mezclando aceite (mineral o vegetal) en agua, con una relación típica de 30:1 y se utiliza un agente emulsificante, además también se usan frecuentemente aditivos EP (aditivos de presión extrema). Entre los beneficios de estos aceites se destacan, un mecanizado con velocidades mayores, gracias a la reducción del calor, un costo bajo al tratarse de una disolución con agua, un peligro nulo de incendio y la nebulización del aceite es muy baja [23, 24].
- c) **Aceites semisintéticos y sintéticos:** Estas dos clases de aceites se obtienen al mezclar agua con agentes químicos variados, con estos últimos se garantiza la prevención de la oxidación, la lubricación y la reducción de la tensión superficial. Los fluidos de corte tipo semi sintéticos son la combinación de los aceites sintéticos y emulsiones y estos contienen aceite entre un 2 - 30%. Los fluidos sintéticos de corte ayudan al operador a controlar el proceso de mecanizado, pues estos son transparentes [25].

Las ventajas y desventajas de esta categoría de aceites están dispuesta de la siguiente

manera:

**Tabla 5.** Ventajas y desventajas de los aceites según su formulación química. Adaptada de [25]

<i>Aceites rectos</i>	<i>Aceites solubles</i>	<i>Semisintéticos</i>	<i>Sintéticos</i>
<b><i>Ventajas</i></b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente lubricidad</li> <li>• Excelente control del óxido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena lubricidad</li> <li>• Buena refrigeración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena refrigeración</li> <li>• Buen control del óxido</li> <li>• Buen control microbiano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente refrigeración</li> <li>• Excelente control microbiano</li> <li>• No inflamable</li> <li>• Buen control de la corrosión</li> <li>• Reducción de los problemas de nebulización</li> </ul>
<b><i>Desventajas</i></b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo nivel de enfriamiento</li> <li>• Peligro de incendio</li> <li>• Crean niebla o humo</li> <li>• Operaciones de corte a baja velocidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas de control de óxido</li> <li>• Crecimiento bacteriano</li> <li>• Perdidas por evaporización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espuma fácilmente</li> <li>• Estabilidad afectada</li> <li>• Se contamina fácilmente con otros fluidos de máquina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja lubricidad</li> <li>• Se contamina fácilmente con otros fluidos de máquina</li> </ul>

### 1.4.8.3. Líquidos de corte a base de vegetales

Los aceites vegetales están compuestos de moléculas de glicerol (triglicéridos), que le aportan características ideales de los lubricantes, además también cuentan en su formación, con ácidos grasos, los cuales disminuyen la fricción y el desgaste, debido a que, a través de las cadenas polares de estos se generan películas lubricantes que están en constante relación con las superficies metálicas. El índice de viscosidad de este tipo de aceites es mayor, sin embargo, su estabilidad térmica y de oxidación es limitada, pese a esto los aceites vegetales son más recomendados que los de otra clase por su mejor rendimiento y las consideraciones que se presentan a continuación [25]:

- Al utilizar los aceites vegetales el riesgo de humo y el peligro de incendio se reducen, y se puede utilizar este tipo de aceites en aplicaciones de mecanizado que requieran altas temperaturas, todo esto se logra gracias al alto punto de inflamación con el que cuentan [25].
- Los aceites vegetales tienen menos pérdida por vaporización y nebulización, por eso, su punto de ebullición es más alto y peso molecular es mayor, en comparación con otros aceites [25].
- Los aceites minerales tienen moléculas de diferente tamaño, por lo que las propiedades de viscosidad y ebullición tienen variaciones muy grandes, lo que no ocurre con los aceites vegetales, ya que, sus moléculas tienen un tamaño homogéneo en un porcentaje considerable [25].
- En comparación a otros, el índice de viscosidad en los aceites vegetales es mucho mayor, esto le otorga una lubricidad mucho más estable, porque al aumentar la temperatura en el maquinado los aceites vegetales siguen teniendo una viscosidad natural [25].
- La carga polar que tiene el aceite vegetal atrae a la molécula de este a una superficie metálica como pequeños imanes, esto genera que sea mucho mayor la adherencia de en comparación a los aceites minerales, también la capa lubricante, que se crea por la forma densa y homogénea de las moléculas de los aceites vegetales, le otorga una mayor capacidad de absorber la presión [25].

#### **1.4.8.4. Aditivos para fluidos de corte**

Los principales aditivos para mejorar el fluido y proporcionar las características específicas requeridas a los lubricantes se encuentran los siguientes [26]:

- **Anticorrosivos:** su función principal es la de prevenir la formación de óxido en las piezas o sistemas mecánicos dependiendo de su aplicación, dos claros ejemplos de este tipo de aditivos son el “naftenato” de plomo y el sulfonato [26].

- **Antioxidantes:** la exposición al oxígeno provoca que la cadena larga de moléculas del aceite se rompa ocasionando un deterioro importante, el propósito principal de estos aditivos es la reducción de la velocidad de este deterioro. El 2-6 “dietil” “butil” terciario, “paracresol” y “fenil” “naftilamina”, son los aditivos más requeridos de este tipo [26].
- **Antidesgaste:** el “tricresilfosfato” es un claro ejemplo de estos aditivos, además de generar la película protectora, ya mencionada que desarrollan los aceites, los aditivos antidesgaste construyen una barrera física, con la finalidad de garantizar un desgaste mínimo para cualquier aplicación [26].
- **Aditivos EP (Presiones extremas):** son compuestos no corrosivos, grasos “sulfirados” como el “ditiofosfato” de zinc y “naftenato” de plomo que forman recubrimientos protectores en las superficies metálicas, evitando así el contacto metal con metal que la película protectora del aceite no puede hacer al perder su máximo espesor [26].
- **Emulsionantes:** favorecen la formación de emulsiones en agua, se utilizan principalmente ácidos y aceites grasos como emulsionantes en aplicaciones de mecanizado [26].
- **Antiespumantes:** reducen la tensión superficial además de eliminar el aire introducido por las bombas o compresores, evitando así la presión hidráulica y cavitación, las siliconas y los “poliorganosiloxanos” cumplen perfectamente con estas funciones [26].
- **Bactericidas:** aditivos que prolongan la vida útil de aceites de corte solubles, además de mantener su estabilidad y reducir olores, entre ellos se encuentran los bactericidas y germicidas como el fenol y aceite de pino [26].
- **Desemulsionantes:** estos aditivos contienen aceites parafínicos que generan mayor lubricidad, usados en zonas de una humedad elevada e impiden la formación de gomas gracias a que dividen el agua del aceite.

#### 1.4.8.5. Parámetros para la elección del fluido de corte

En los diferentes procesos de mecanizado, son tres criterios principales los que se toma en cuenta para la selección del correcto fluido de corte, siendo estos:

- **Material de la pieza a tratar:** este criterio muestra los tipos de fluidos de corte según el material de la pieza que se va a fabricar, entre los que más se destacan son los lubricantes al bisulfuro de molibdeno, que se utilizan para los aceros inoxidable austeníticos, se emplean también, emulsiones para las aleaciones níquel y aceites exentos de azufre para el mecanizado del latón, bronce y cobre [27].
- **Material de la herramienta:** en los aceros al carbono y aleaciones duras, se aplican las emulsiones, puesto que, el enfriamiento es la principal cualidad de estas, también se puede trabajar en seco si usan las aleaciones duras, en el caso de los aceros rápidos, el fluido de corte dependerá del material de la pieza [27].
- **Método de trabajo:** en el proceso del torneado se utilizan aceites de carácter puro, sin la mezcla de sustancias nocivas, para evitar riesgos de salud en el operario, en el rectificado, brochado y el fresado es conveniente el uso de emulsiones y aceites para altas presiones de corte. Finalmente, para el proceso de taladrado es recomendable utilizar aceites puros de baja viscosidad [27].

#### **1.4.9. Alternativas para el uso de fluidos de corte**

Los procesos de refrigeración convencionales en el mecanizado son ineficientes, debido a que, causan problemas de salud al operario y un daño grave al medio ambiente, la eliminación de los fluidos de corte es de alta prioridad, así como también reemplazar sus bases lubricantes por otras biodegradables, no tóxicas y respetuosas con el medio ambiente. Entre las alternativas que más se utilizan, en lugar de los fluidos de corte convencionales, enseguida se detalla el mecanizado en seco y las técnicas de mínima lubricación (MQL) [28].

##### **1.4.9.1. Mecanizado en seco**

Esta es la primera forma de alternativa para evitar usar fluidos contaminantes, por lo que este tipo de mecanizado sujeta la eliminación del fluido de corte como principal característica, sin embargo, esto ocasiona que se introduzcan medidas para que se cubran plenamente las funciones de los fluidos de corte por otro tipo de medios. Al aplicar esta tecnología de mecanizado estos medios deben garantizar la estabilidad térmica y mecánica de la máquina y la durabilidad de las herramientas, asumiendo así las principales funciones de los fluidos de corte como la evacuación de virutas, refrigeración de la pieza, lubricación del área de contacto entre la pieza y la herramienta, entre otros [27, 28].

En la aplicación de bajas velocidades en el mecanizado, los factores que influyen para el desgaste de la herramienta son la adhesión y abrasión, mientras que para las altas velocidades se presentan la oxidación y la difusión, debido a las elevadas temperaturas de corte que se alcanzan. Para el mecanizado en seco se debe contrarrestar estos factores, así que la herramienta debe contar con una reducida tendencia a la adhesión con el material de la pieza y su viruta, así como también resistencia al desgaste a altas temperaturas y dureza elevada [28]. La tensión térmica que se genera en la herramienta, la pieza y la máquina, es una dificultad para el proceso de mecanizado en seco, ya que, se originan desviaciones dimensionales y de forma en las piezas, en consecuencia, este tipo de mecanizado solo se utiliza para piezas que no requieran gran precisión [27, 28]. En la figura 16 se muestra la aplicación de este sistema.



*Fig. 16 Mecanizado sin la presencia de un fluido de corte [29]*

#### **1.4.9.2. Mecanizado con mínima cantidad de lubricante (MQL)**

Se puede considerar al MQL (Minimum Quantity of Lubricant) o mínima cantidad de lubricante como una técnica, la cual tiene la finalidad de garantizar todas las condiciones ideales del mecanizado, aplicando el fluido de corte en una cantidad mínima, en muchos de los casos una reducción del 95% de este, obteniendo además una pequeña capa de fluido lubricante en los residuos. El mecanizado en seco y la lubricación tradicional, son dos procesos a los que el MQL puede sustituir, reduciendo de manera drástica el fluido de corte, y garantizando un nivel adecuado de lubricación con mejores resultados [29].

Para la aplicación del fluido de corte es necesario la utilización de aire comprimido para el efecto de impulsión, también se debe tomar en cuenta el uso de dosificadores los cuales pueden ser adaptados a boquillas de dosificadores clásicos. En cuanto a la presión del aire o medio de impulsión, se consideran tres alternativas para este método, y estas son [29]:

- **Sistema de pulverización de baja presión:** Generalmente se utiliza en fluidos de corte acuosos, el fluido de corte se introduce en una corriente de aire a baja presión, esta mezcla se lleva a la superficie de trabajo. Una de las desventajas de esta alternativa es que el grado de dosificación que se dispone es poco preciso [29].
- **Sistema de inyección sin aire:** Se utiliza en procesos discontinuos, no se requiere aire como medio de impulsión del fluido. Su funcionamiento es a través de bombas dosificadoras, las cuales mediante pulsos alimentan a la superficie activa determinada con una determinada cantidad de fluido de corte [29].
- **Sistema de pulverización de alta presión:** Una de las alternativas más usadas debido a sus grandes beneficios, como el grado de dosificación de elevada precisión. Consiste en una mezcla de aire comprimido y del fluido de corte que se transporta a la boquilla mediante una bomba donde curre la mezcla. Esta mezcla coaxial en la boquilla evita que se forme nieblas, debido a que, al suministrarse por separado el aire y el fluido de corte, sus cantidades pueden ser ajustadas de manera independiente [29]. En la figura 17 se muestra el esquema de estos sistemas.

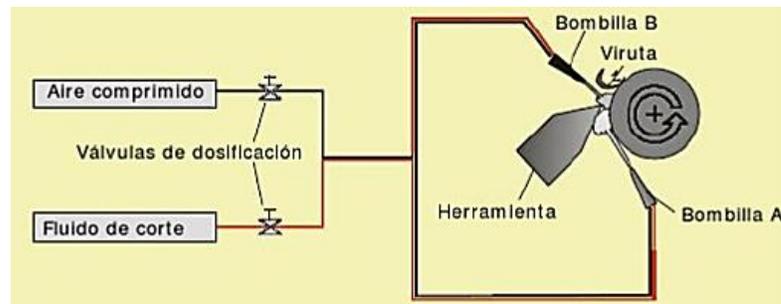


Fig. 17 Representación del pulverizado de alta presión (MQL) [29]

#### 1.4.9.3. Ventajas del sistema MQL

- Gastos bajos de mantenimiento, control, gestión de residuos de fluido de corte, puesto que, el método no escurre, sino que acompaña en forma de película fina a piezas y virutas.
- Las piezas no necesitan operaciones de limpieza mediante desengrase, al igual que las virutas no necesitan pretratamiento alguno para su valorización.
- La aplicación del fluido de corte, tanto direccional como cuantitativa es más precisa que en la lubricación convencional, la ubicación de la boquilla se coloca entre los 100 y 10 mm del punto de corte.
- Entre 20 a 70 % menos en el tiempo de mecanizado, generando mayor productividad.
- 300% de aumento en la vida útil de la herramienta a consecuencia de resultados de menor desgaste por la aplicación de este método.
- Ventajas ecológicas (sin problemas de eliminación de residuos, nula contaminación del agua) y mejor acabado superficial [30].

#### 1.4.9.4. Mínima cantidad de lubricante interna y externa

El sistema de lubricación por cantidades mínima MQL, en cuanto a la forma en la cual se añade el fluido de corte, puede ser interna, en la que el lubricante fluye por orificios a modo de canales incorporados en la propia herramienta; o externa, con el uso de boquillas instaladas en la máquina orientadas hacia la herramienta) [30].

### A) Lubricación interna (MQL)

Sistema que es muy utilizado en tornos, fresas, taladros, centros de mecanizado de alta velocidad y precisión, sierras y trazadoras, entre otras máquinas de arranque de viruta. El funcionamiento principal se basa en la producción de un aerosol en el depósito del equipo y se alimenta a través del husillo de la herramienta. Puede haber dos sistemas en la lubricación interna, de un canal y de dos canales. Para los sistemas de un solo canal, el aerosol se produce por la mezcla de aire comprimido y el lubricante en el mismo depósito, luego se transporta por un único conducto a través del husillo y el portaherramientas hasta llegar finalmente a la herramienta. Todo lo contrario, ocurre en los sistemas de dos canales, debido a que, la mezcla y el aerosol se producen cuando el aire y el lubricante llegan a ese punto de manera independiente, pese a esto, los sistemas más eficaces son los que cuentan con un canal, gracias a que trabajan con mayores presiones [30]. Las partes principales del tipo de lubricación interna del sistema MQL se detallan en la figura 18.

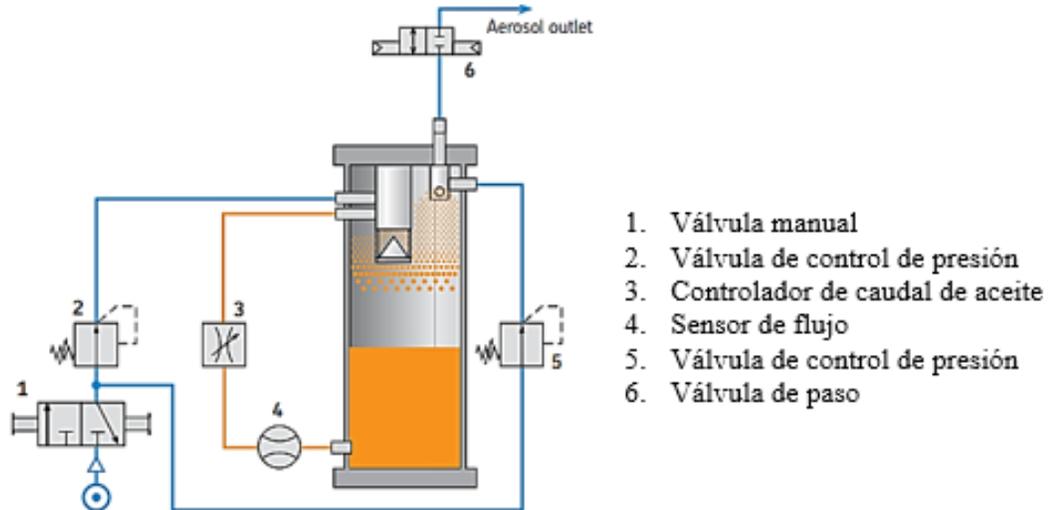


Fig. 18 Diseño de un sistema de lubricación por cantidades mínimas interno [31]

## B) Lubricación externa (MQL)

El sistema externo de lubricación MQL se compone de tres partes principales que son el depósito de lubricante, una o varias unidades de regulación de mezcla y conductos con boquillas de rociado. El aire comprimido tiene la función de presurizar el depósito de lubricante, siendo transportado este a través de un sistema de conductos hasta las boquillas de rociado. La regulación de las cantidades específicas requeridas de lubricante y de aire, y el ajuste de la presión interna del depósito, se efectúa con válvulas de control, estas se localizan en el depósito. La mezcla y la atomización del lubricante y del aire se realiza directamente en la boquilla de rociado, una vez que sean transportados de forma separada a través de tubos coaxiales [31].

Este tipo de lubricación externa en MQL es una de las más convenientes para las máquinas-herramientas convencionales, porque pueden ajustarse con facilidad, originando así una facilidad en los procesos de torneado, fresado, escariado, brochado o roscado [31]. En la figura 19 se detallan las partes de este sistema.

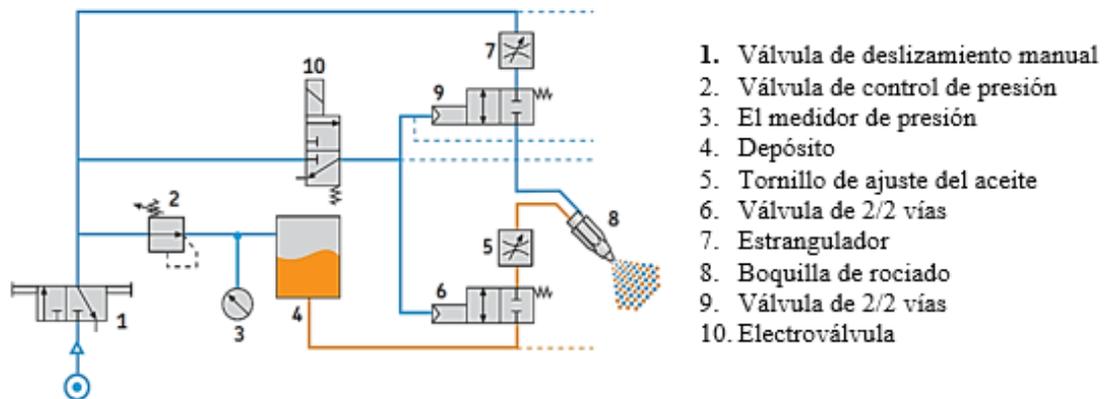
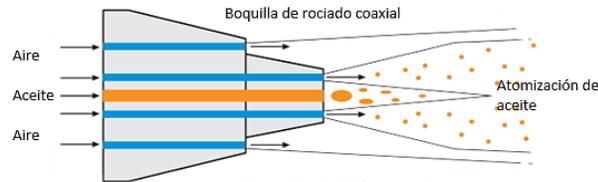


Fig. 19 Diseño de un sistema de lubricación por cantidades mínimas externo [31]

En los sistemas externos se generan partículas extraordinariamente finas de aceite, por el efecto Venturi, que se origina por el aerosol en la salida de la boquilla, y hace que el aire arrastre y acelere el lubricante. El flujo de este sistema es concéntrico en el aceite y aire, debido a que, provoca que el aerosol sea conducido, con una exactitud considerable, hasta la herramienta o punto deseado, como se observa en la figura 20 [31].



*Fig. 20 Atomización en gotas microscópicas por medio de una boquilla coaxial [31]*

#### **1.4.9.5. Lubricantes para el sistema MQL**

Para determinar el mejor tipo de lubricante que se puede utilizar en el sistema de mínima cantidad (MQL), existen muchas variables para tomar en cuenta como, el tipo de material de la pieza, la operación de mecanizado, las operaciones posteriores al acabado (tratamiento térmico, recibimiento o pintura), y condiciones externas en aplicaciones específicas. En los últimos años, dos son los aceites que se utilizan para el MQL, sintéticos como acoholos grasos y aceites éster como aceites vegetales modificados químicamente o naturales [31].

Para aplicaciones en donde el efecto refrigerante es más importante que el efecto lubricante, los alcoholes grasos son ideales, gracias a que al evaporarse genera superficies prácticamente secas. En aplicaciones en donde se requiera reducir la fricción y adherencia entre la herramienta de corte y viruta, los aceites éster son muy requeridos, debido a que, cuentan con muchas ventajas, en comparación con los anteriores, como tener un mayor efecto de lubricación, menor viscosidad, mayor rango de ebullición y temperatura de inflamabilidad, es un fluido biodegradable, no tóxico, no irritante o nocivo. Se evaporan más lentamente que un alcohol graso y generan una fina película de aceite sobre la pieza [31]. En la figura 21 se presenta el porcentaje de evaporación de algunos lubricantes.

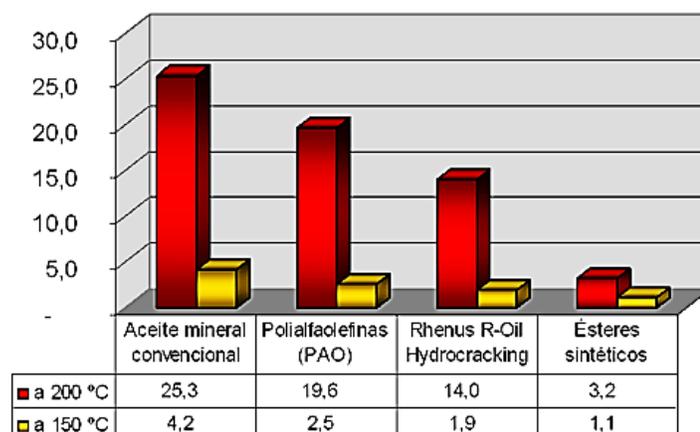


Fig. 21 Pérdida de evaporación en % según DIN 51581 de algunos lubricantes [31]

#### 1.4.9.6. Líquidos iónicos generalidades y aplicaciones

Estos fluidos se los define, actualmente por muchos autores, como sales, con la característica de contar con un punto de fusión menor a 100 °C, el cual es muy bajo y su punto de evaporación de 300 °C, facilitando así su manipulación y solubilidad con distintas materias orgánicas, inorgánicas y polímeros [32]. Las ventajas de los líquidos iónicos (IL) son muchas, dependiendo de la aplicación que se requiera, algunas buenas cualidades de los IL se evidencian en la temperatura, pues se mantienen líquidos incluso al sobrepasar la temperatura ambiente, también no se alteran ni reaccionan en presencia de los reactivos y son utilizados como catalizadores en una reacción [31, 32].

Un catión orgánico, que contienen nitrógeno o fósforo, y un anión, que puede ser orgánico o inorgánico, en mucho de los casos son los elementos que componen a los IL, y de ellos dependen las principales propiedades de estos, como la estabilidad térmica y la miscibilidad, las cuales están asociadas directamente al tipo de anión, mientras que la longitud del grupo alquilo del catión y/o su forma y simetría, definen a la viscosidad, tensión superficial y densidad de los IL [32]. En la figura 22 se presentan los principales cationes y aniones de los cuales se constituyen los líquidos iónicos, originando billones de combinaciones diferentes, y mezclas de al menos un componente orgánico [31, 32].

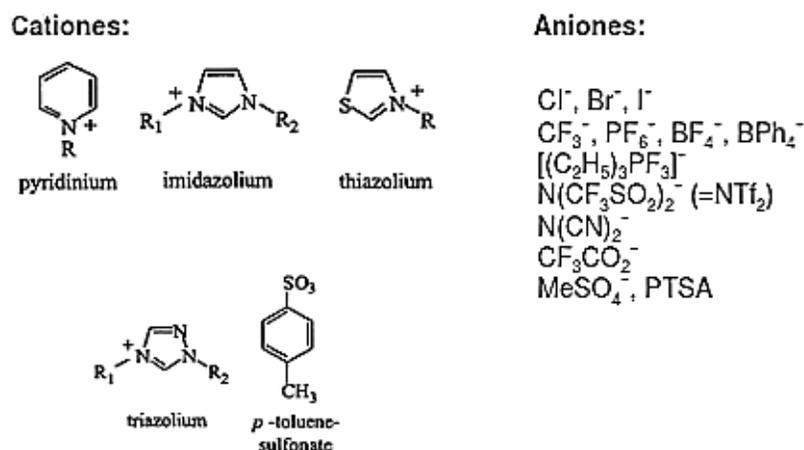


Fig. 22 Ejemplos de cationes y aniones utilizados para la formación de IL [32]

Los líquidos iónicos son de gran interés debido a sus características beneficiosas para diferentes procesos y aplicaciones, entre las que destacan las siguientes:

- Son denominados “disolventes de diseño”, debido a que, se pueden preparar y analizar un número casi infinito de combinaciones de cationes y aniones, lo que origina una gran amplitud para diversas aplicaciones.
- Se les considera como disolventes “verdes”, al no contaminar la atmósfera y por contener presiones de vapor muy bajas, concluyendo así, que no son compuestos orgánicos volátiles (COV).
- Tienen presente un rango de temperatura superior a los 300 °C, incluso más que los solventes comerciales.
- La estabilidad electroquímica contra la oxidación y la reducción es muy alta para mucho de los IL más utilizados.
- Son buenos disolventes para muchos compuestos orgánicos e inorgánicos, además pueden ser diseñados para ser miscibles o inmiscibles con otros disolventes, proporcionando así oportunidades para procesos de separación [34].

Los éteres, cetonas y alcoholes, son disolventes orgánicos más usados, no obstante, en la actualidad los líquidos iónicos (IL) se han venido estudiando como sustitutos de los

fluidos ya dichos, debido a que, los IL son idóneos para disolver compuestos orgánicos e inorgánicos, además de compuestos polares y no polares [32]. En el punto de los “antecedentes investigativos” se analizan muchas más aplicaciones de estos compuestos, gracias a pruebas tribológicas realizadas en el desgaste de contacto, los IL son considerados como potenciales aditivos, para añadirlos a aceites vegetales y ser usados en diferentes procesos, como el mecanizado.

La clasificación de los líquidos iónicos es muy extensa, debido a que, existe una amplia clase de diversas sustancias con estos componentes, sin embargo, los más usuales, y los primeros que se los identifica en un grupo son los IL próticos y apróticos. Esta clase de líquidos iónicos cuenta con la cualidad de desasir protones y constituir enlaces de hidrógeno, no obstante, los primeros se pueden destilar fácilmente, se consideran IL pobres en el sentido de que su conductividad eléctrica [34]. Un ejemplo de AIL es el “hexafluoroborato” de 1-butil-3-metilimidazolio (BMIM PF<sub>6</sub>) con un punto de fusión de -8 ° C, y una temperatura de descomposición superior a 180 ° C. Los AIL son más difíciles de sintetizar y los aniones como el PF<sub>6</sub> suelen estar sujetos a hidrólisis en contacto con el aire, pero muestran más ionicidad que los PIL, por tanto, pueden ser de interés, por ejemplo, para dispositivos electroquímicos [35]. En la tabla 6 se presentan algunas propiedades fisicoquímicas de las sales de esta clasificación [35].

*Tabla 6 Propiedades fisicoquímicas de las sales de 1-butil-3-metilimidazolio. Adaptada de [35]*

	<i>Punto de fusión (°C)</i>	<i>Densidad (g cm<sup>3</sup>)</i>	<i>N</i>	<i>Viscosidad (20°C)</i>	<i>Conductividad (S m<sup>-1</sup>)</i>
<b>BF<sub>4</sub></b>	-82	1.17	1.429	233	0.17
<b>PF<sub>6</sub></b>	-8	1.36	1.411	312	0.14

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Descripción de materiales y equipos

Medios físicos que se utilizaron para la realización de los ensayos experimentales, y que contribuyen para el cumplimiento de los objetivos del presente estudio.

##### 2.1.1. Material para el mecanizado (Ejes de acero inoxidable AISI 304)

Acero inoxidable perteneciente al grupo austenítico, tienen buena formabilidad, soldabilidad, son dúctiles y fácilmente mecanizables, además son muy resistentes a la acción corrosiva del agua, ácidos, soluciones alcalinas y ataques químicos del medio ambiente, están compuestos por una aleación de Cr- Ni (Cromo-Níquel). Las aplicaciones principales de este acero están en la industria alimenticia, farmacéutica, dental, transporte, entre otras [36]. Para las pruebas de este estudio se ha seleccionado el acero AISI 304 de la marca Böhler, del cual se presentan las características principales en la tabla 7.

Tabla 7. Propiedades físicas y mecánicas del acero AISI 304 según Böhler. Adaptada de [37]

<i>Composición química</i>						
<b>C máx. (%)</b>	<b>Si (%)</b>	<b>Mn (%)</b>	<b>Cr (%)</b>	<b>Ni (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>S (%)</b>
0,03	0,5	1,40	18,5	9,5	0,032	0,002
<i>Propiedades Mecánicas</i>						
<b>Dureza (Brinell) HB</b>	<b>Límite de fluencia mín. N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia a la tracción N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Alargamiento (L=5d) mín. %</b>	<b>Contracción mín. %</b>		
160	216	490-686	50	50		
<i>Propiedades Físicas</i>						
<b>Peso específico Kg/dm<sup>3</sup></b>	<b>Módulo de elasticidad a 20°C</b>	<b>Conductividad térmica a 20°C</b>	<b>Calor específico a 20°C</b>			
7,9	20,3 GPa	0,035 cal/cm s. °C	0,12 cal/g °C			

### 2.1.2. Material para el mecanizado (Ejes de acero AISI/SAE 4140)

Acero de medio carbono especial de bonificación, resistente a la tracción, desgaste, torsión e impacto, al estar constituido por una aleación de Cromo-Molibdeno, ideal para construcción de piezas en la industria automotriz como; ejes, bielas, árboles de transmisión, cigüeñales, entre otras, además de presentar aplicaciones en la industria petrolera como; taladros, brocas, barrenos, cuerpos de escariadores y vástagos de pistón. Este acero también es usado en la fabricación de maquinaria como; engranajes de temple por llama, partes de bombas, ejes de reductores, árboles de turbinas a vapor y tornillería de alta resistencia [38].

La designación de este material AISI/SAE 4140, indica en su primer número el tipo de acero (Aceros con Cr y Mo), el segundo número da a conocer el porcentaje en peso del principal elemento de la aleación Cr (0,4-1,2%), Mo (0.08-0.25%), finalmente los dos últimos números indican el porcentaje de carbono con el que cuenta (40% de C) [38]. Al igual que el material anterior, para este estudio se ha tomado en cuenta la marca Böhler, en la tabla 8 se muestran las propiedades.

Tabla 8. Propiedades física y mecánicas del acero AISI/SAE 4140 según Böhler. Adaptada de [39]

<b>Composición química</b>						
<b>C (%)</b>	<b>S (%)</b>	<b>Si (%)</b>	<b>Mn (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>Cr (%)</b>	<b>Mo (%)</b>
0,41	0,002	0,26	0,7	0,008	1,1	0,2
<b>Propiedades Mecánicas</b>						
<b>Diámetro mm.</b>	<b>Límite de fluencia N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia a la tracción N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Elongación (Lo=5d) % mín.</b>	<b>Estricción % mín.</b>	<b>Resiliencia según DVM Joule</b>	
16	835	1030-1250	10	40	34	
16-40	715	930-1130	11	45	41	
40-100	595	830-1030	12	50	41	
100-160	530	730-900	13	55	41	
Dureza Brinell máx.			241			
Densidad			7.85 g/cm <sup>3</sup> (0.284 ib/in <sup>3</sup> )			

### **2.1.3. Dimensionamiento de probetas**

La norma ANSI/ASME B94.55M no contiene una recomendación de las dimensiones de las probetas para ensayos de desgaste del flanco de la herramienta, sin embargo, considerando las dimensiones de trabajos anteriores, se utilizó un diámetro de una pulgada y media (3,81 cm) para los dos tipos de materiales analizados Acero AISI 304 y Acero AISI/SAE 4140. En cuanto al largo del eje, se tomó a consideración 22 cm, garantizando la seguridad, en consecuencia, se redujo el diámetro hasta 1,5 cm con una distancia de 1,7 cm, además únicamente se utilizó 10 cm aproximados para el desbaste, en donde se dio la medición de la rugosidad, haciendo las pasadas respectivas hasta que el tiempo sea de 5 min. Lo restante del eje se utilizó para asegurar la adecuada sujeción y que no exista vibración al momento de hacer el ensayo.

### **2.1.4. Plaquetas de carburo sinterizadas para el proceso de torneado**

En esta investigación se busca la comparación y continuidad de trabajos anteriores, así que, para la selección de la plaqueta de carburo, para el proceso de torneado, se consideró el proveedor SANDVIK COROMANT.

#### **2.1.4.1. Selección y geometría del inserto**

Se seleccionó a través del catálogo del fabricante la forma y la serie de la plaqueta de carburo, como se muestra en la figura 23, debido a que, se dispone de un porta inserto de la designación “DCBNR/L 2020 K12”. En consecuencia, el modelo del inserto es T-MAX P y su sentido de corte tiene el sentido de derecha – izquierda (negativa).

## T-Max® P shank tool for turning

Rigid clamp design

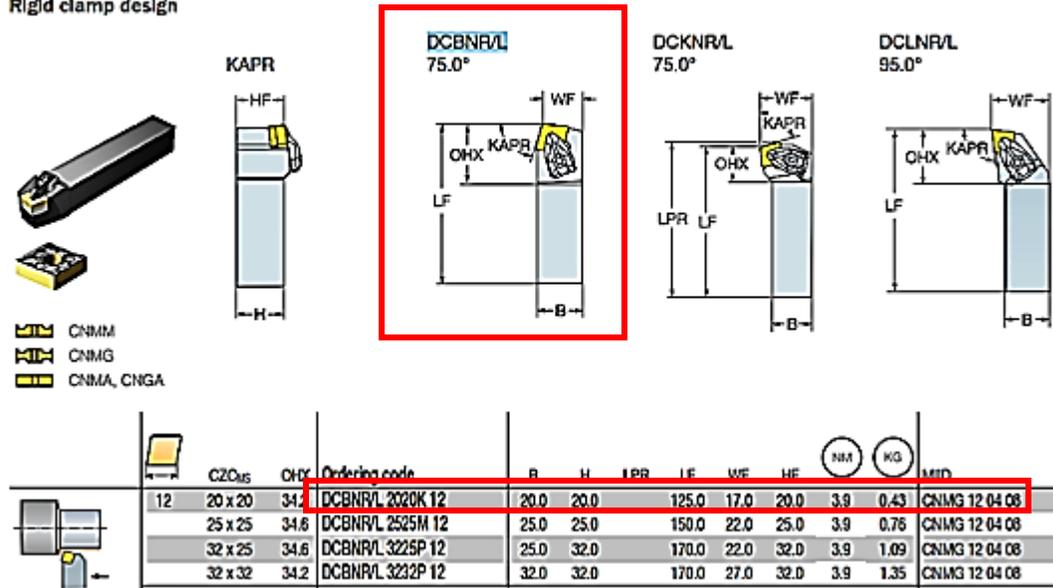


Fig. 23 Forma y serie de la herramienta de corte según el porta insertos disponible [40]

Las características del inserto se seleccionaron por el catálogo del fabricante según las dimensiones proporcionadas por el porta inserto disponible, con ayuda de la norma ISO 13399 en el sistema métrico, como se evidencia en la figura 24. Enseguida se enlistan todas las características del inserto con su respectiva selección y codificación.

Plaquitas, sistema métrico	<b>C N M G 12 04 08 - - PF</b>
	1 2 3 4 5 6 7 - 8 9 12
Plaquitas, sistema Imperial	<b>C N M G 4 3 2 - - PF</b>
	1 2 3 4 5 6 7 - 8 9 12
Plaquitas, materiales de corte avanzados, sist. métrico	<b>C N G A 12 04 08 - T 010 20</b>
	1 2 3 4 5 6 7 - 8 10 11
Plaquitas, materiales de corte avanzados, sist. Imperial	<b>C N G A 4 3 2 - T 03 20</b>
	1 2 3 4 5 6 7 - 8 10 11

Fig. 24 Codificación para la selección del inserto según norma ISO 13399 [40]

- a) Forma del inserto: se seleccionó la letra “C” como designación de los insertos rómbicos de 80°.

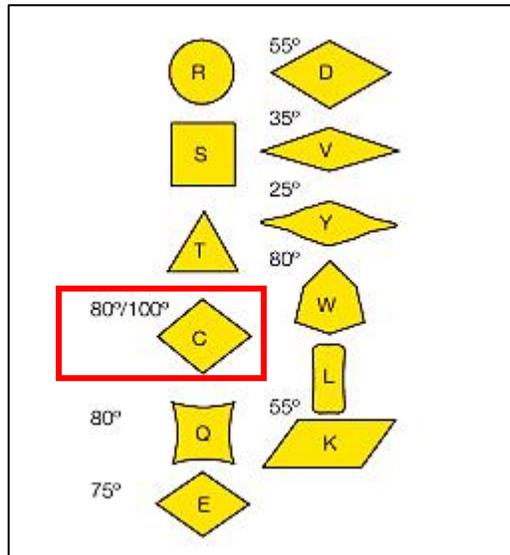


Fig. 25 Forma (Selección del inserto) [40]

- b) Ángulo de incidencia del inserto: debido a la geometría del porta inserto, se escogió la letra “N” la cual representa un ángulo de incidencia de 0 o nulo.

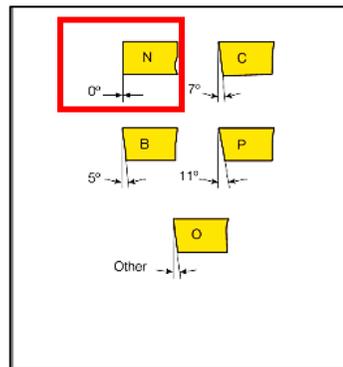


Fig. 26 Angulo de incidencia (Selección del inserto) [40]

- c) Tolerancia: el círculo inscrito del porta insertos es de 12 por lo que se selecciona una tolerancia de 0.8, debido a ello se seleccionó la letra correspondiente “M”, la cual representa la tolerancia de “di” del círculo inscrito de la plaquita.

		m	s	di
E		±0.025	±0.025	±0.025
G		±0.025	±0.13	±0.025
M	fr.	±0.08	±0.13	fr. ±0.05
	to	±0.18 <sup>(*)</sup>		to ±0.13 <sup>(*)</sup>
U	fr.	±0.13	±0.13	fr. ±0.08
	to	±0.38 <sup>(*)</sup>		to ±0.25 <sup>(*)</sup>

(\*) La tolerancia exacta depende del tamaño del inserto

di	Tolerancia en mm			
	On m		On di	
	Class M	Class U	Class M	Class U
6.35	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08
9.52	±0.08	±0.13	±0.05	±0.08
12.70	±0.13	±0.20	±0.08	±0.13
15.87	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18
19.05	±0.15	±0.27	±0.10	±0.18
25.40	±0.18	±0.38	±0.13	±0.25

Fig. 27 Tolerancia (Selección del inserto) [40]

d) Tipo de inserto: con la finalidad de utilizar una cantidad de insertos adecuada, se escogió la letra “G”, esta corresponde a un inserto con dos filos por cara con su respectivo rompe virutas.

	A	Sin rompevirutas, con agujero
	G	Rompevirutas en ambas caras, con agujero
	M,S	Rompevirutas en una cara, con agujero
	R	Rompevirutas en una cara, sin agujero
	B,W	Con agujero para tornillo cabeza cónica
	T,H	Una cara con rompevirutas y aguj. para tornillo cabeza cónica
	P	Neg/pos en una o ambas caras con agujero
	Z, X	Especial

Fig. 28 Tipo (Selección del inserto) [40]

- e) Longitud del inserto: a partir de este punto las medidas de selección están dadas por el porta inserto, en esta medida se selecciona el número “12”.

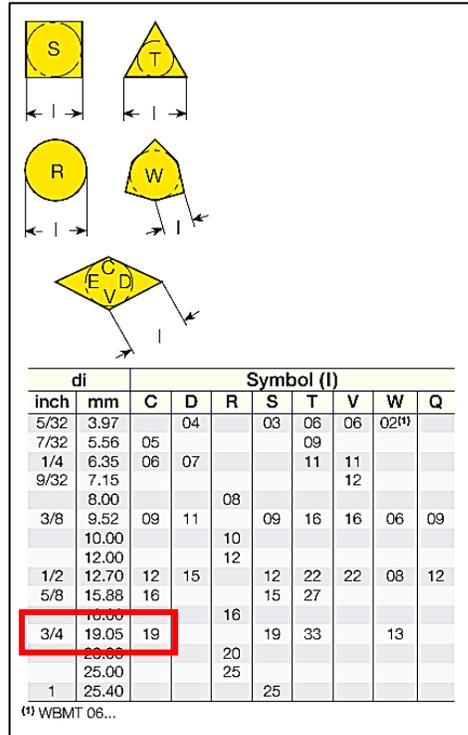


Fig. 29 Longitud (Selección del inserto) [40]

- f) Espesor del inserto: se seleccionó “04” por dimensiones del porta insertos.

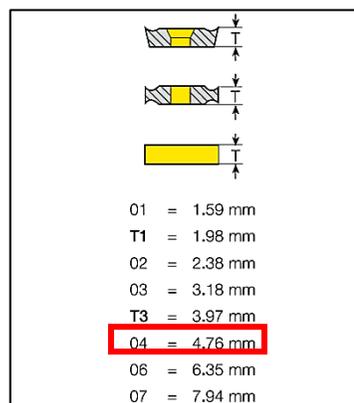


Fig. 30 Espesor (Selección del inserto) [40]

g) Radio de la herramienta de corte: el radio de punta que se escogió para esta investigación es de 0.8 mm, debido a que, mientras más grande es este radio se obtienen mejores resultados en la superficie del eje mecanizado, además de que es recomendable seleccionar radios de punta elevados cuando se realiza la operación de acabado.

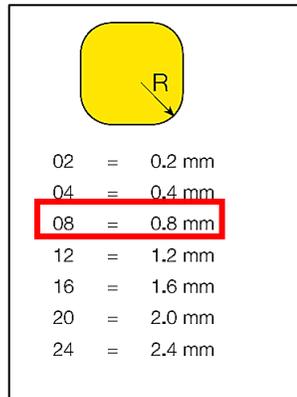


Fig. 31 Radio de corte del inserto (Selección del inserto) [40]

h) Tipo de operación: la operación para esta investigación que se seleccionó es el acabado con la codificación directa del fabricante SANDVIK COROMANT que es la letra “F”, además utiliza la designación del material “M”, completando estas condiciones la codificación final en “MF” como se muestra en la figura 32.

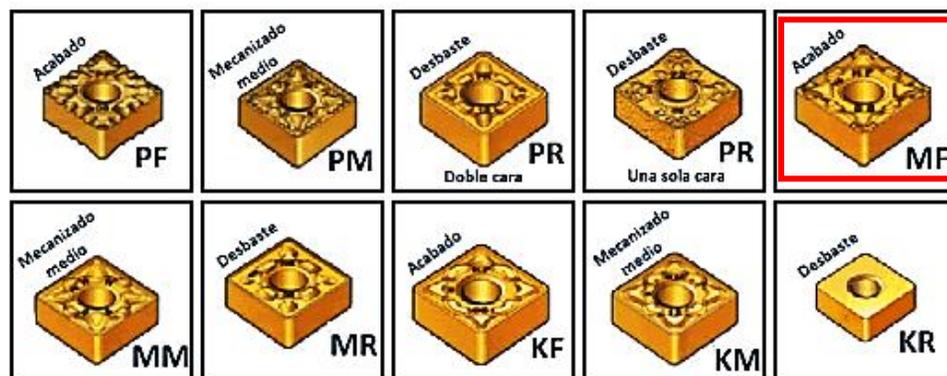


Fig. 32 Tipo de operación (Selección del inserto) [40]

Finalmente se seleccionó la calidad del inserto según el catálogo del fabricante, la cual es 2025, ideal para el mecanizado continuo. Como se observa en la figura 33 la codificación final del inserto para realizar las operaciones de cilindrado y acabado, mediante todos los parámetros antes vistos, es CNMG 12 04 08-MF 2025.

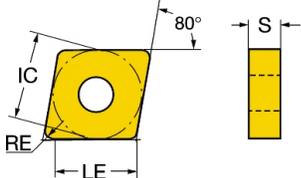
		LE	S	RE	BS	ISO CODE	P					M										
							1525	4305	4315	4325	4335	5015	1115	1125	2015	2025	2035	2220	2510			
Finishing	WF	09	9.3	3.18	0.40	0.5	CNMG 09 03 04-WF															
			8.9	3.18	0.79	0.7	CNMG 09 03 08-WF			★												
		12	12.5	4.76	0.40	0.5	CNMG 12 04 04-WF	☆		★	☆		☆	☆	★							
			12.1	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						☆	☆	★	☆						

Fig. 33 Codificación final de la plaqueta para mecanizado [40]

#### 2.1.4.2. Características técnicas del inserto para el ensayo

En la tabla 9 se presentan las dimensiones, las especificaciones de operación y otros datos importantes del inserto seleccionado CNMG 12 04 08-MF 2025, todas estas características fueron recopiladas directamente del fabricante.

Tabla 9. Datos técnicos del inserto CNMG 12 04 08-MF 2025. Adaptada de [40]

<i>Dimensiones de la herramienta</i>				
Acotación del inserto seleccionado				
<i>Dimensión</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>		
Diámetro de círculo inscrito (IC)	mm	12,7		
Longitud efectiva del filo (LE)	mm	12,096		
Radio de punta (RE)	mm	0,794		
Grosor de plaquita (S)	mm	4,763		
<i>Especificaciones de operación</i>				
<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>		
		<i>Recom.</i>	<i>Max.</i>	<i>Min.</i>
Profundidad de corte (ap)	mm	0,6	1,5	0,15
Avance por filo (fn)	mm/rev.	0,2	0,4	0,1
Velocidad de corte (Vc).	m/min	195	235	145
<i>Otros datos</i>				
<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor</i>		
Peso del elemento	kg	0,01		
Recubrimiento	-	CVD TiCN+Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiN		

### 2.1.5. Líquidos iónicos

Los aditivos de estudio en este trabajo experimental fueron “Tetrafluoroborato de 1-metil 3-butil imidazolio” (BMIM BF<sub>4</sub>) y “Hexafluorofosfato de 1-metil 3-butil imidazolio” (BMIM PF<sub>6</sub>), en la sección 1.4.9.6 y en la tabla 7 de la presente investigación se evidencia las características fundamentales de estos líquidos iónicos. Estos componentes se adquirieron mediante importación a través de una empresa especializada, la figura 34 muestra la presentación de 5 gr. de los dos líquidos iónicos.



*Fig. 34 Líquidos iónicos PF6 y BF4*

*Fuente: Autores*

### **2.1.6. Aceite lubricante**

Para las pruebas de esta investigación, el aceite que se utilizó como base para realizar la mezcla con los aditivos ya mencionados, fue “Unist Coolube 2210 EP”. Este aceite está compuesto por aceites vegetales y ésteres 100% naturales, ideal para aplicaciones de lubricación mínima y se puede utilizar en metales ferrosos y no ferrosos (excepto el cobre y latón), además, este aceite no es tóxico y no genera residuos [41]. En la figura 35 se muestra la presentación de distribución de este aceite en un galón, y en la tabla 10 se presentan las principales características técnicas y propiedades del aceite en cuestión.



*Fig. 35 Lubricante Unist Coolube 2210 EP*

*Fuente: Autores*

Tabla 10 Propiedades del Aceite Unist Coolube 2210 EP. Adaptada de [41]

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>
Estado Físico	Líquido de baja viscosidad
Viscosidad	104 ° F (40 ° C), 18,5 cSt
Punto de Inflamación	(Copa Abierta): >400°F (COC), >200°C
Vertibilidad	10,4 (-12 a -20°C)
Punto de Ebullición	>392°F (>200°C)
Presión de Vapor	<1 mm Hg @ 77°F (25°C)
Gravedad Específica	0,93 @ 77°F (25°C)
Solubilidad en Agua	Insoluble

### 2.1.7. Homogeneizador

El aceite “Unist Coolube 2210 EP” y los líquidos iónicos (BMIM BF<sub>4</sub>) y (BMIM PF<sub>6</sub>) son inmiscibles, puesto que, no son solubles entre sí, para realizar la mezcla se dispuso de la utilización del “Homogeneizador”. Este es un equipo con muchas aplicaciones entre las que se destacan la industria alimenticia, química y farmacéutica, y es utilizado para la preparación de emulsiones (Líquido – Líquido inmiscibles), lo cual es ideal para esta investigación [42]. En la figura 36 se muestra el homogeneizador, en el cual se realizó la mezcla durante 30 minutos con una velocidad de 3000 rpm, parámetros dispuestos por investigaciones previas.

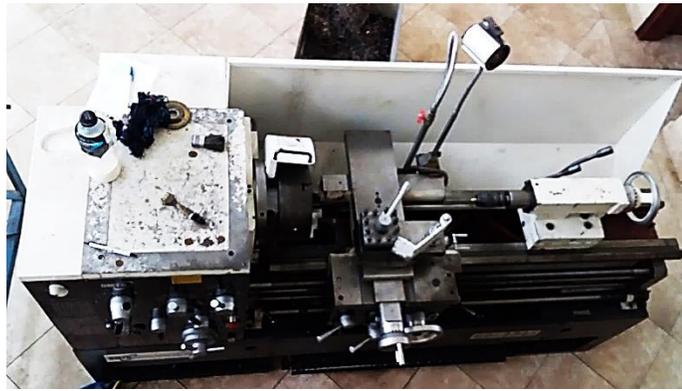


Fig. 36 Homogeneizador

Fuente: Autores

### 2.1.8. Torno

El “Torno semiautomático DMTG CDL 6241” es el equipo en el cual se realizó el mecanizado y se adaptó el equipo de mínima cantidad de lubricación (MQL), este torno cuenta con rango de velocidades del husillo de 32 a 2000 rpm. En la figura 37 se puede observar este torno en donde se realizó el desbaste de las probetas hasta cumplir con el ciclo de tiempo dispuesto para este trabajo experimental.



*Fig. 37 Torno semiautomático UTA FICM*

*Fuente: Autores*

### 2.1.9. Rugosímetro SJ-210

Para la medición de la rugosidad superficial en este trabajo experimental, en las probetas una vez aplicado el proceso de torneado, se utilizó el “Rugosímetro SJ-210”. Este es un instrumento de medición portátil con diseño ergonómico, batería y 0,5 Kg de peso, posibilitando así el uso cómodo para el usuario y siendo ideal para aplicaciones de campo [43]. El rugosímetro SJ-210 consta de dos partes principales, la “Unidad de Drive”, donde se encuentran parámetros como fecha, datos de exploración, velocidad de desplazamiento (0,25 y 0,5 mm/s), norma de rugosidad (ISO4287) y el ítem relacionado con el “Cut off”, la parte del “Detector”, consta de un palpador de punta de diamante con una presión de medida de 0,75 mN, un ángulo de 60° y un radio de 2  $\mu\text{m}$  [43].

En la figura 38 se muestra este instrumento siendo calibrado, para la realización de las mediciones respectivas, con su correspondiente galga de calibración y un patrón de rugosidad igual a 2.94  $\mu\text{m}$  “Ra”, valor determinado por la normativa respectiva.

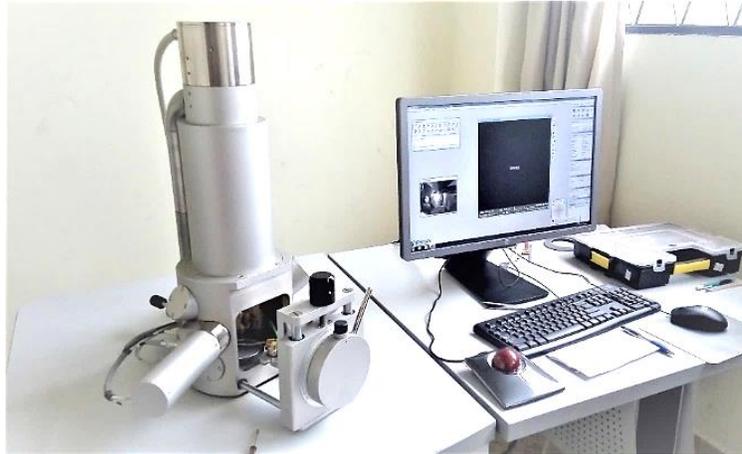


*Fig. 38 Rugosímetro SJ-210*

*Fuente: Autores*

#### **2.1.10. Microscopio de barrido**

Para el presente trabajo experimental, en las pruebas de desgaste de cada flanco de la herramienta de corte se utilizó el microscopio electrónico de barrido SEM (Scanning Electron Microscopy) con una magnificación de 150x. El SEM utiliza un haz de electrones que repercute sobre una muestra observable, originando señales que son captadas por diversos detectores, permitiendo así ser el instrumento ideal para la observación precisa y análisis de la morfología de la muestra ya mencionada, siendo esta de un material orgánico o inorgánico [44]. En la figura 39 se observa el SEM utilizado y el ordenador, el cual cuenta con un software especializado para realizar el control del sistema.



*Fig. 39 Microscopio electrónico de barrido*

*Fuente: Autores*

### **2.1.11. Equipo para la lubricación por cantidades mínimas (MQL)**

El sistema de mínima cantidad de lubricación que se utilizó para el mecanizado en esta investigación es de la marca “Dropsa”, este sistema utiliza lubricación interna, utilizando un sistema de aerosol con un flujo de sistema de 480 ml/h, el cual es aplicado en la zona de mecanizado entre la herramienta de corte y la pieza, en la sección 1.4.9.4 del presente documento se encuentran las características y partes de este sistema. En la figura 40 se presenta el recipiente a presión, la electroválvula, presostato, manómetro, entrada de aire comprimido y la manguera de conducción de aceite y aire.



*Fig. 40 Sistema de mínima cantidad de lubricación MQL*

*Fuente: Autores*

### **2.1.12. Suministro de aire comprimido**

El aire comprimido necesario, para el correcto funcionamiento del sistema de mínima cantidad de lubricante, se suministró por la instalación de aire generada por un compresor de 5 hp del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

## **2.2. Métodos**

### **2.2.1. Nivel o tipo de investigación**

#### **2.2.1.1. Bibliográfico**

El presente proyecto tiene como característica fundamental el método bibliográfico para la búsqueda de la fundamentación teórica, haciendo uso de información y datos obtenidos en investigaciones previas disponibles en artículos científicos, publicaciones en revistas técnicas, entre otros, todo ello de carácter internacional, debido a que, la temática propuesta conlleva un estudio relativamente nuevo para el país.

#### **2.2.1.2.Descriptivo**

El método descriptivo es utilizado en este proyecto, ya que, al tratarse de un trabajo netamente experimental tiene una gran importancia detallar el desarrollo del proceso investigativo para la determinación de los resultados, estos serán registrados con imparcialidad y gran detalle para no omitir ningún dato relevante.

#### **2.2.1.3. Exploratorio**

Con este método se pretende definir ciertos y parámetros de lubricación para el mecanizado de acero inoxidable AISI 304 y el acero AISI/SAE 4140, indagando los diferentes resultados obtenidos en desgaste de herramientas y rugosidades en acabado superficial de las partes mecanizadas con diferentes métodos de lubricación.

## 2.2.2. Metodología

### 2.2.2.1. Diseño de experimentos

Para el análisis completo de los efectos de los parámetros de corte y métodos de lubricación propuestos en este estudio y en relación con la rugosidad superficial y desgaste del flanco de la herramienta de corte en el torneado de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140, se propone un experimento diseñado por el método factorial completo general, debido a que, a través de este método se puede determinar una combinación equitativa de las variables planteadas más influyentes con la finalidad de obtener los mejores resultados posibles, disminuyendo el tiempo y costo de experimentación. Para este diseño se toma en consideración 3 factores los cuales constan de diferentes niveles cada uno como se presenta en la tabla 11, el factor de la velocidad de corte sirve para el cálculo de la velocidad de rotación del husillo (rpm) y el avance de la torreta (mm/min), por ello se toma los parámetros máximo y recomendado establecidos por el fabricante del inserto, presentes en la tabla 9.

*Tabla 11 Factores y niveles para el diseño experimental*

Nombre	Niveles	Valor
Velocidad de corte (Vc) en m/min	2	195
		235
Material	2	Acero AISI/SAE 4140
		Acero AISI 304
Fluido de Trabajo	3	Seco
		MQL + 1%BF <sub>4</sub>
		MQL + 1%PF <sub>6</sub>

*Fuente: Autores*

También, se considera como factores al material para el mecanizado, siendo los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140, y también el fluido de trabajo utilizado, se toma en cuenta tres tipos, el mecanizado en seco y el mecanizado con mínima cantidad de lubricante MQL con la adición del 1% de los líquidos iónicos BMIMBF<sub>4</sub> y BMIMPF<sub>6</sub> (MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>) al aceite vegetal “Coolube 2210 EP”. El diseño factorial completo general se puede desarrollar con múltiples factores los cuales pueden ser cuantitativos y cualitativos, además los niveles pueden ser más de dos por cada factor, como se evidencia en la tabla 11.

En la tabla 12 se representan las combinaciones obtenidas con ayuda de un software estadístico, el cual calculó 12 combinaciones o experimentos al ser analizados con todos los factores y niveles predeterminados considerando los dos tipos de materiales y velocidad de corte (Vc) y los tres tipos de fluido de trabajo antes mencionados. Para obtener una mayor confiabilidad se realizarán dos repeticiones por cada experimento para la evaluación del desgaste en la herramienta de corte y el acabado superficial en la probeta mecanizada, los datos obtenidos del tornado en seco del acero AISI 304 (Experimentos 7 y 8) serán recopilados de [21], esta es una investigación que tiene los mismos parámetros para este proceso.

*Tabla 12 Combinaciones de los experimentos obtenidos*

<b>Experimentos</b>	<b>Velocidad de corte (Vc)</b>	<b>Fluido de Trabajo</b>	<b>Material</b>
1	195	Seco	ACERO AISI/SAE 4140
2	235		
3	195	MQL + 1%BF <sub>4</sub>	
4	235		
5	195	MQL + 1%PF <sub>6</sub>	
6	235		
7	195	Seco	ACERO AISI 304
8	235		
9	195	MQL + 1%BF <sub>4</sub>	
10	235		
11	195	MQL + 1%PF <sub>6</sub>	
12	235		

*Fuente: Autores*

### **2.2.2.2. Normativa para la evaluación del acabado superficial y vida útil de la herramienta**

#### ***Norma ANSI/ASME B94.55M***

##### *Desgaste y evaluación de la vida útil de la herramienta*

Existen varias normas para el análisis de la herramienta de corte en procesos de mecanizado, las cuales tienen consideraciones específicas para el desgaste y evaluación de su vida útil, una de estas normas es la ANSI/ASME B94.55M, en donde se toma en cuenta el torneado y las herramientas adecuadas de filo único para este proceso, en piezas de diversos materiales, principalmente el acero [44].

##### *Máquina herramienta:*

Según la norma ANSI/ASME B94.55M es de gran importancia, para la realización de los experimentos, la revisión del estado general del torno en relación con los parámetros de corte establecidos con anterioridad, la uniformidad de la velocidad de corte en todo el proceso y la estabilidad del torno al observar que no se presenten vibraciones.

##### *Material de trabajo y herramienta de corte:*

En el presente estudio se pretende utilizar insertos de carburo de tungsteno sinterizado para el torneado de ambos aceros AISI/SAE 4140 y AISI 304, para cada uno de estos materiales se especifica las propiedades en las tablas 7 y 8, respectivamente, como lo solicita la norma ANSI/ASME B94.55M, además, debido a que, estos aceros son normalizados se utilizará un diámetro de 1,5 pulgadas, existentes en el catálogo del fabricante, por lo que es necesaria la utilización de un contrapunto. En cuanto a la herramienta de corte se utiliza insertos con denominación: CNMG 120408 MF 2025 del catálogo de Sandvik Coromant, las características de estas herramientas de corte se especifican en la tabla 9, se seleccionó este inserto con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con investigaciones posteriores.

*Parámetros de corte para el torneado de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140:*

La profundidad de corte ( $a_p$ ) es 0,4 mm, la cual fue tomada del rango específico del fabricante presente en la tabla 9, el avance por filo ( $f_n$ ) que se utiliza en este proyecto es 0,1 mm/rev. correspondiente al avance mínimo del inserto seccionado, estos valores fueron seleccionados, debido a que, en investigaciones anteriores también se trabaja bajo estas condiciones. Las velocidades de husillo y avance se calculan con las ecuaciones 2 y 3, con la utilización de las velocidades de corte recomendada y máxima que se tomaron de los datos técnicos, del inserto, dispuestos por el fabricante. A continuación, se muestra los resultados obtenidos de estas velocidades.

Cálculo de la velocidad del husillo ( $n_1$ ) y la velocidad de avance ( $F_1$ ), con las ecuaciones 2 y 3 respectivamente, para el primer caso  $V_c = 195$  m/min

$$n \left( \frac{rev}{min} \right) = \frac{1000 \left( \frac{mm}{m} \right) * V_c \left( \frac{m}{min} \right)}{\pi * D_c(mm)}$$

$$n_1 = \frac{1000 * \left( 195 \frac{m}{min} \right)}{\pi * (38,1mm)}$$

$$n_1 = 1629 \text{ rpm}$$

$$F \left( \frac{mm}{min} \right) = n \left( \frac{rev}{min} \right) * f_n \left( \frac{mm}{rev} \right)$$

$$F_1 = 1629 * 0,1$$

$$F = 162,9 \left( \frac{mm}{min} \right)$$

Cálculo de la velocidad del husillo ( $n_2$ ) y la velocidad de avance ( $F_2$ ), con las ecuaciones 2 y 3 respectivamente, para el primer caso  $V_c = 235$  m/min

$$n2 = \frac{1000 * \left(235 \frac{m}{min}\right)}{\pi * (38,1mm)}$$

$$n2 = 1963 \text{ rpm}$$

$$F2 = 1963 * 0,1$$

$$F2 = 196,3 \left(\frac{mm}{min}\right)$$

*Sistemas de lubricación:*

En vista de que el presente proyecto es un trabajo netamente experimental se optó por tomar en cuenta tres condiciones de lubricación, en seco y utilizando a los líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>) como aditivos al aceite vegetal “Coolube 2210 EP” en el sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL), con 1% en peso de los líquidos iónicos por cantidad de aceite, estos sistemas están descritos en los puntos anteriores.

*Consideraciones para la evaluación del desgaste del flanco de la herramienta de corte:*

La norma ANSI/ASME B94.55M establece las siguientes consideraciones para la evaluación del desgaste del flanco de los insertos de carburo sintetizado en el proceso del torneado:

- La longitud máxima del desgaste en la zona “Bb” del flanco corresponde a  $V_{Bb \text{ MÁX}} = 0,6 \text{ mm}$ , si el desgaste es irregular en la zona B.
- La longitud promedio máxima del desgaste en la zona “Bb” del flanco corresponde a  $V_{Bb} = 0,3 \text{ mm}$ , si el desgaste se considera regular en la zona B.

Las zonas en las cuales se evalúa el desgaste del flanco de la herramienta de corte, a través de esta norma se encuentran descritas en la figura 10.

### *Norma ISO 4287*

#### *Longitud de muestreo:*

Para la evaluación del acabado superficial en las probetas mecanizadas la norma ISO 4287 define los parámetros esenciales para este proceso, además designa la longitud de muestreo de acuerdo a la rugosidad teórica que es calculada a través de la ecuación 4 [20]. A continuación, se muestra el valor de la rugosidad calculada [20]:

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

$$Ra = \frac{(0,1)^2}{32(0,8)}$$

$$Ra = 0,3906 \mu m$$

La longitud de muestreo es la zona indicada en donde se coloca el rugosímetro, y se obtiene el espacio de ondulación entre picos adyacentes del perfil de medición. En la tabla 13 se presentan los diferentes tipos de longitud de muestreo, en donde se escoge el adecuado según la rugosidad teórica [20].

*Tabla 13 Diferente longitud de muestreo en base a la rugosidad teórica. Adaptada de [20].*

<b>Ra y Rz <math>\mu m</math></b>	<b>Longitud de muestreo de rugosidad mm</b>
$(0,006) < Ra \leq 0,02$	0,08
$0,02 < Ra \leq 0,1$	0,25
$0,1 < Ra \leq 2$	0,8
$2 < Ra \leq 10$	2,5
$10 < Ra \leq 80$	8
$(0,025) < Rz \leq 0,1$	0,08
$0,1 < Rz \leq 0,5$	0,25
$0,5 < Rz \leq 10$	0,8
$10 < Rz \leq 50$	2,5
$50 < Rz \leq 200$	8

De la tabla 13 se selecciona 0,8 mm como longitud de muestreo para la rugosidad Ra, ya que, se encuentra en el rango determinado por la rugosidad teórica 0,1 a 2  $\mu\text{m}$ . En el caso de la longitud de muestreo para la rugosidad superficial Rz se selecciona el mismo (0,8 mm) de la rugosidad Ra, en donde se encuentra un rango de 0,5 a 10  $\mu\text{m}$ , lo que se comprueba con los datos reales de la experimentación [20].

*Consideraciones ambientales:*

- La probeta para medir debe estar libre de vibraciones y movimiento, mientras que la exposición a la luz solar y al polvo debe ser lo mínimo posible.
- La limpieza debe realizarse con un soplete, en caso de que la muestra presente contaminación grave en la superficie, si existe presencia de aceites o grasas en la superficie se debe limpiar con un paño que no deje pelusas y un solvente.
- El equipo de medición de rugosidad (rugosímetro) debe ser calibrado antes de realizar las mediciones respectivas, según las determinaciones establecidas por el fabricante, además se debe volver a calibrar después de un determinado número de medidas realizadas [20].

*Procedimiento para la medición de la rugosidad superficial Ra y Rz:*

- Primeramente, se debe calibrar el rugosímetro SJ – 210 según los parámetros del fabricante.
- Se debe seleccionar la longitud de muestreo previamente seleccionada en función de la rugosidad teórica calculada, en el rugosímetro SJ – 210 se puede escoger como longitudes de muestreo.
- Obtener mediciones con el rugosímetro según la longitud de muestreo y otros parámetros presentes en el rugosímetro SJ – 210.

### 2.2.3. Operacionalización de variables

#### 2.2.3.1. Variable independiente

Efecto de los líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>) como aditivos en el aceite vegetal para el (MQL)

<i>Concepto</i>	<i>Categoría</i>	<i>Indicador</i>	<i>Ítems</i>	<i>Técnicas e instrumentos</i>
Los líquidos iónicos son sales con bajo punto de fusión, generalmente menor a los 100 °C, están típicamente compuestos por un catión orgánico, el más común es el imidazolium, y un anión coordinador débil, entre los que se destacan están: tetrafluoroborato (BF <sub>4</sub> ) y hexafluorofosfato (PF <sub>6</sub> ). Estos líquidos poseen una gran estabilidad térmica y química se pueden emplear en procesos de altas temperaturas (300 °C), además se ha demostrado que al añadir una pequeña cantidad de estos líquidos a un aceite base, se obtiene un potencial muy elevado para influir considerablemente en el mecanizado.	Lubricante	Tipo de lubricación	Seco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hojas de cálculo</li> <li>• Ensayos de Laboratorio</li> <li>• Toma de datos</li> </ul>
			MQL + 0,5% BF <sub>4</sub>	
			MQL + 0,5% PF <sub>6</sub>	
	Parámetro de lubricación del sistema (MQL)	Caudal en el sistema	(8cm/min) (480ml/h)	
			Presión del sistema	
	Máquina herramienta	Velocidad de corte	(235-195) m/min	
		Velocidad de avance	0,1 mm/rev	
	Herramienta de corte	Radio de punta	0.8mm	
Recubrimiento		CVD TICN+AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TIN		

### 2.2.3.2. Variable dependiente

Acabado superficial en el proceso de torneado del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI/SAE 4140 y vida útil de la herramienta de corte.

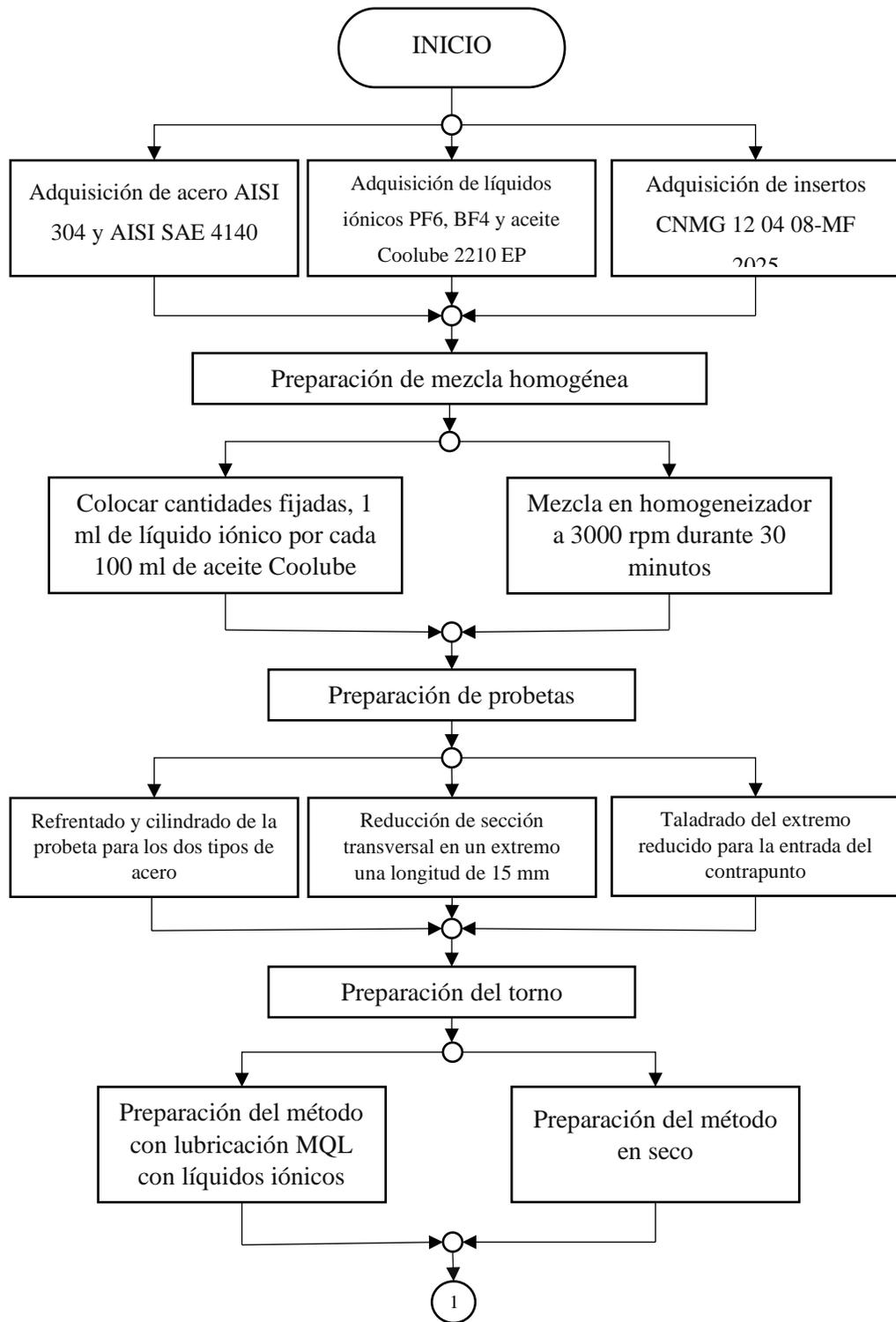
<i>Concepto</i>	<i>Categoría</i>	<i>Indicador</i>	<i>Ítems</i>	<i>Técnicas e instrumentos</i>
El acabado superficial es aquel que denota la suavidad y calidad de la superficie, este término se utiliza como sinónimo de la rugosidad, y esta se refiere a las desviaciones pequeñas, espaciadas finamente, de la superficie nominal y se generan por las características propias de determinado material y el proceso que se llevó a cabo para el formado de su superficie.	Rugosidad superficial	Ra	Longitud de muestreo $l_r = 0,8 \text{ mm}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hojas de cálculo</li> <li>• Ensayos de Laboratorio</li> <li>• Toma de Datos</li> </ul>
		Rz		
La vida útil de la herramienta de corte se refiere al tiempo total que puede tener una herramienta en el proceso de mecanizado de un material específico. Se determina bajo varias normas, entre las que se destaca, la norma ANSI/ASME B94.5M, la cual recomienda varios criterios de desgaste, como los valores de desgaste de flanco para procesos de torneado en MQL.	Desgaste en el flanco	VBB, promedio de desgaste	0,3 mm	
		VB máx, desgaste máximo	0,6 mm, si el desgaste es irregular	

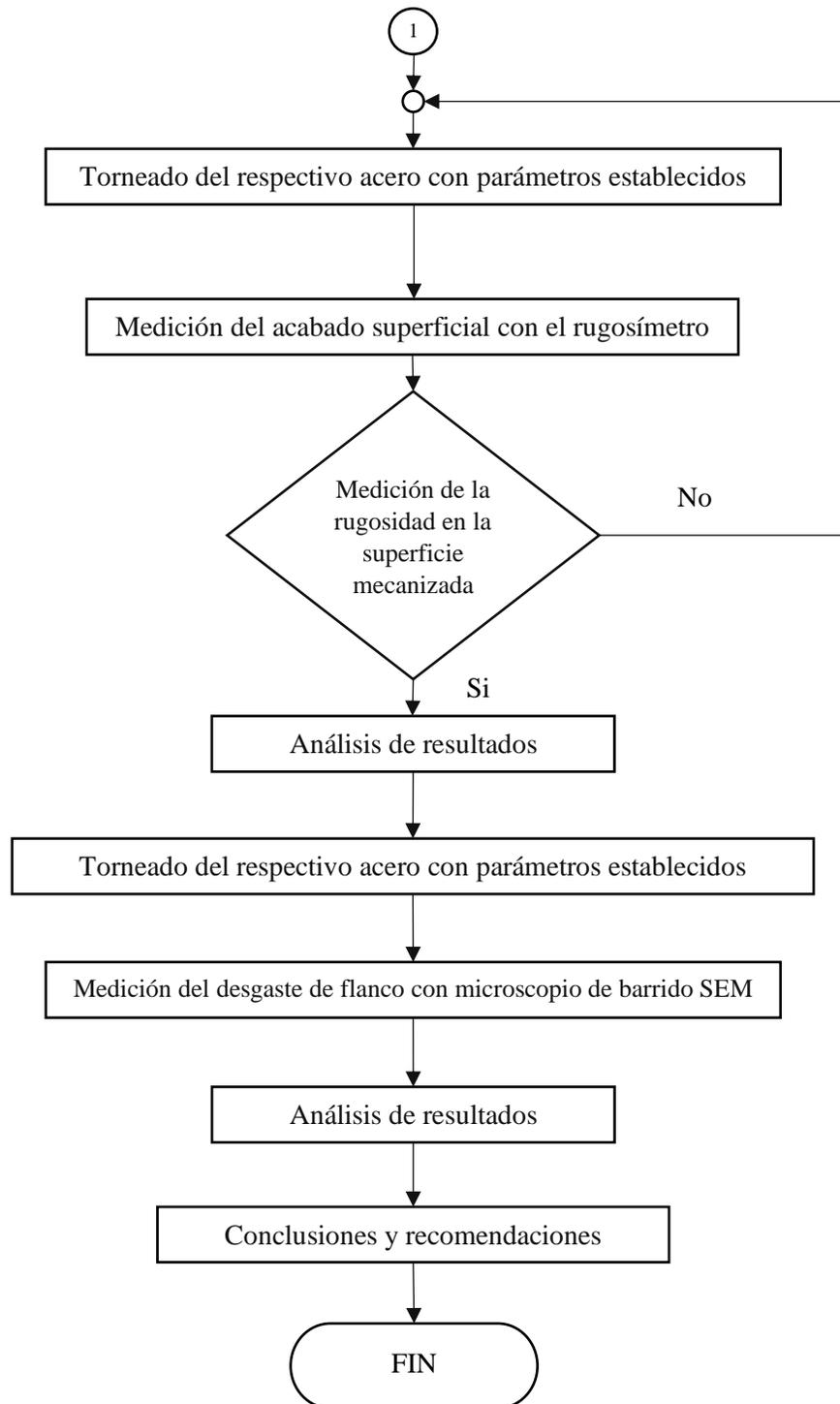
#### **2.2.4. Plan de recolección de información**

Para la recolección de información de este estudio se utiliza la investigación bibliográfica, ya que, se buscó información relevante relacionada con el tema, en diferentes fuentes como libros en línea, normas y artículos internacionales de revistas técnicas, así mismo, para la información correspondiente de los materiales e instrumentos a utilizarse, como las probetas, las plaquitas de corte, los sistemas de lubricación y mezcla y los líquidos iónicos se consultó en trabajos experimentales similares, sitios web específicos de compra y distribución de materiales con sus respectivos catálogos. En cuanto a la recolección de los datos de cada uno de los ensayos de mecanizado con sus respectivas características y condiciones de corte, se utilizarán fichas de registro y control. Los datos de acabado superficial serán obtenidos a través de los valores de rugosidad superficial arrojados por el Rugosímetro SJ-210 y los datos de desgaste de flanco de la herramienta serán determinados por el microscopio de barrido (SEM), estos instrumentos se encuentran en los laboratorios de mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

#### **2.2.5. Procedimiento para la elaboración de ensayos de evaluación de la calidad superficial del acero AISI/SAE 4140 y acero AISI 304 y vida útil de la herramienta de corte**

En la figura 41 se detalla el diagrama de flujo del procedimiento para la elaboración de ensayos de evaluación de calidad superficial de acero AISI 304 y AISI/SAE 4140 y vida útil de la herramienta de corte, en donde los datos de acabado superficial inciden como condicional previo a su tabulación y posterior análisis, conclusiones y recomendaciones. El procedimiento empleado comprende, la adquisición de materiales, preparación de la mezcla homogénea, preparación de probetas, preparación del torno, torneado, medición de rugosidad, medición de desgaste de herramienta y análisis de resultados para la elaboración de ensayos de calidad superficial y vida útil de la herramienta de corte, en la figura 42 se presentan las actividades llevadas a cabo para el cumplimiento de este proceso.





*Fig. 41 Diagrama de flujo del procedimiento para el ensayo de acabado superficial y vida útil de la herramienta para acero AISI 304 y acero AISI SAE 4140*

*Fuente: Autores*

## Procedimiento



Procedimiento para la elaboración de los ensayos de calidad superficial y de vida útil de la herramienta de corte para acero AISI 304 y AISI SAE 4140

### Adquisición de materiales

1. Adquisición de acero AISI 304 y acero AISI SAE 4140

2. Adquisición de líquidos iónicos PF6, BF4 y aceite vegetal 'Coolube 2210 EP'

3. Adquisición de insertos CNMG 12 04 08-MF 2025



### Preparación de mezcla homogénea

1. La preparación de la mezcla mediante un homogeneizador por inmersión a una velocidad de 3000rpm un tiempo de 30 minutos.

2. La mezcla consta de 1 ml de líquido iónico, PF6 o BF4, por cada 100 ml de aceite vegetal 'Coolube 2210 EP' para cada preparación de mezcla.



### Preparación de probetas

1. Refrentado y cilindrado.
2. Reducción en un extremo de un tercio de sección transversal una longitud de 15 mm.
3. Taladrado del extremo reducido para la entrada del contrapunto y mejorar la sujeción.



### Preparación del torno

1. Revisión las parámetros de mecanizado en el torno.
2. Revisión las sujeciones de la probeta en el mandril y con el contrapunto.
3. Preparación sistema de lubricación MQL+IL (Estado de filtros y mangueras, cantidades de mezcla establecida y presurización)



### Torneado

1. Ajustar velocidades establecidas.
2. Centrar herramienta de corte.
3. Encender el husillo.
4. Iniciar el avance automático.
5. Control de tiempo de mecanizado establecidos.
6. Control de correcta lubricación



### Medición de rugosidad

1. Limpieza de la superficie a medir.
2. Calibración del rugosímetro.
3. Colocación de la probeta en soportes de medición.
4. Medición de 5 valores de rugosidad en la superficie mecanizada.



### Medición de desgaste de herramienta

1. Limpiar el flanco del inserto a medir.
2. Identificar el flanco a medir.
3. Colocar los insertos en la cámara del SEM.
4. Presurizar el SEM.
5. Calibrar los parámetros de visualización.
6. Medición de desgaste en los flancos.



### Análisis de resultados

1. Posterior a las mediciones de rugosidad superficial y de desgaste de flanco de cada inserto, los datos obtenidos se registran en fichas para poder organizar la información de desgaste secuencialmente en dependencia del tiempo de mecanizado que lleve y su correcta interpretación.
2. Elaboración de conclusiones y recomendaciones.

Fig. 42 Procedimiento para la elaboración de ensayos de calidad superficial y vida útil en la herramienta de corte en el proceso de torneado con lubricación MQL+ Líquido Iónico

Fuente: Autores

### **2.2.6. Plan de procesamiento y análisis**

En el caso de acabado superficial, posterior a realizar las mediciones de rugosidad se ingresan los valores obtenidos en fichas de registros de datos para tener un mejor seguimiento, análisis e interpretación de los datos, en este caso se toman 5 medidas en cada probeta después de los 5 primeros minutos de mecanizado, los valores de los datos de Ra y Rz son los que se tomarán en cuenta para el análisis de rugosidad, estos valores se dan en  $\mu\text{m}$ , se emplea un rugosímetro SJ-210. En el caso de vida útil de la herramienta se analiza el desgaste en el flanco del inserto, se mide el desgaste a las 10, 30 y 50 minutos de mecanizado hasta alcanzar los valores que indica la norma ANSI/ASME B94.55M, donde define que una herramienta de corte pierde sus características cuando llega a un desgaste promedio de 300  $\mu\text{m}$  y un desgaste máximo de 600  $\mu\text{m}$ , se realizan 3 mediciones de desgaste en el flanco del inserto y de igual manera se ingresan los valores en fichas de registro de datos para su correcto análisis, se emplea un microscopio electrónico de barrido (SEM) VEGA de TESCAN de cuarta generación.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Análisis y discusión de resultados**

Los datos obtenidos de los ensayos de rugosidad superficial de la pieza mecanizada y desgaste del flanco de la herramienta de corte fueron registrados en fichas preestablecidas, con la finalidad de ordenar, agrupar y analizar de una mejor manera los resultados obtenidos de estos dos tipos de ensayos para prevenir confusiones.

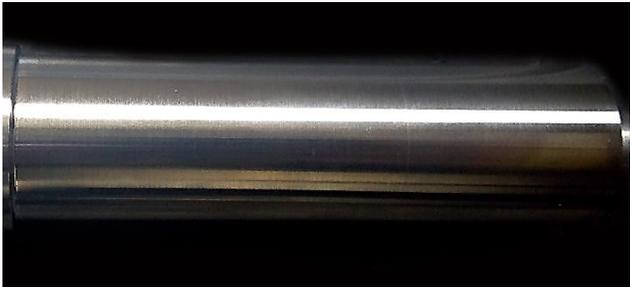
##### **3.1.1. Toma y análisis de los datos de rugosidad superficial**

Las mediciones registradas por el rugosímetro Mitutuyo SJ210, previamente calibrado, de rugosidad superficial Ra y Rz en las probetas mecanizadas con un cilindrado exterior en los primeros 5 minutos se encuentran desde la ficha 3.1.1.1. a la 3.1.1.12. De estas fichas las primeras 6 comprenden los datos obtenidos de rugosidad superficial Ra y Rz en el acero AISI/SAE 4140, mientras que las siguientes pertenecen al acero inoxidable AISI 304, con las combinaciones de los parámetros específicos como se muestra en la tabla 12, en cada una de estas combinaciones, para una mayor confiabilidad se establecieron 2 repeticiones y se tomaron 5 mediciones de rugosidad superficial Ra y Rz. A continuación, se detallan dichas fichas con los resultados obtenidos.

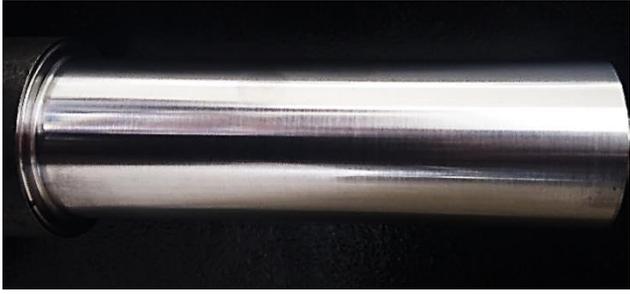
3.1.1.1. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E01  
(mecanizado en Seco 195 m/min) Acero AISI/SAE 4140

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>		A	
<b>Fecha de ejecución</b>		17/12/2020					
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b>		Ing. Diego Núñez	
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>							
<b>Material</b>		Acero AISI/SAE 4140					
<b>Sistema de lubricación</b>		Seco					
<b>Fluido lubricante</b>		No utilizado					
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025					
<b>Tipo de operación</b>		Acabado					
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>		
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	N/A	N/A		
<b>Parámetros de medición superficial</b>							
<b>Rugosímetro</b>		<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo <math>\lambda_c</math></b>	<b>Longitud de cut off <math>\lambda_s</math></b>	<b>Mediciones</b>		
Mitutoyo SJ 210		ISO 4287	0,8 mm	2,5 $\mu\text{m}$	5		
<b>Registro de mediciones Ra (<math>\mu\text{m}</math>)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E01.1	0,885	0,846	0,828	0,867	0,816	0,848	
E01.2	0,797	0,806	0,799	0,833	0,830	0,813	
<b>Promedio Total</b>			<b>0,831</b>				
<b>Registro de mediciones Rz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E01.1	3,867	4,952	4,898	5,048	4,949	4,743	
E01.2	5,034	4,836	5,027	4,748	4,280	4,785	
<b>Promedio Total</b>			<b>4,764</b>				
<b>Resultados</b>							
			<b>Estado superficial:</b> rayas intermitentes de diverso grosor, perceptibles a la vista y al tacto, en la parte media y final de la probeta mecanizada ocasionando una superficie rugosa.				
			<b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3)				
			<b>Proceso:</b> Torneado				

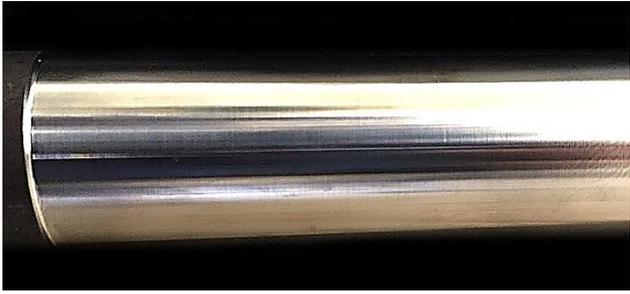
3.1.1.2. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E02  
(mecanizado en Seco 235 m/min) Acero AISI/SAE 4140

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>		A	
<b>Fecha de ejecución</b>		17/12/2020					
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b>		Ing. Diego Núñez	
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>							
<b>Material</b>		Acero AISI/SAE 4140					
<b>Sistema de lubricación</b>		Seco					
<b>Fluido lubricante</b>		No utilizado					
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025					
<b>Tipo de operación</b>		Acabado					
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>		
1473 - 235	147,3 – 0,1	0,4	0,8	N/A	N/A		
<b>Parámetros de medición superficial</b>							
<b>Rugosímetro</b>		<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo <math>\lambda_c</math></b>	<b>Longitud de cut off <math>\lambda_s</math></b>	<b>Mediciones</b>		
Mitutoyo SJ 210		ISO 4287	0,8 mm	2,5 $\mu\text{m}$	5		
<b>Registro de mediciones Ra (<math>\mu\text{m}</math>)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E02.1	0,630	0,641	0,609	0,618	0,673	0,634	
E02.2	0,578	0,649	0,616	0,669	0,697	0,642	
<b>Promedio Total</b>			<b>0,638</b>				
<b>Registro de mediciones Rz (<math>\mu\text{m}</math>)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E02.1	3,591	3,500	3,401	3,740	3,457	3,538	
E02.2	3,203	3,625	3,435	3,760	4,148	3,634	
<b>Promedio Total</b>			<b>3,586</b>				
<b>Resultados</b>							
			<b>Estado superficial:</b> presencia de rayas intermitentes de poco grosor distribuidas a lo largo de la superficie de la probeta mecanizada medianamente perceptibles a la vista y al tacto.				
			<b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3)				
			<b>Proceso:</b> Torneado				

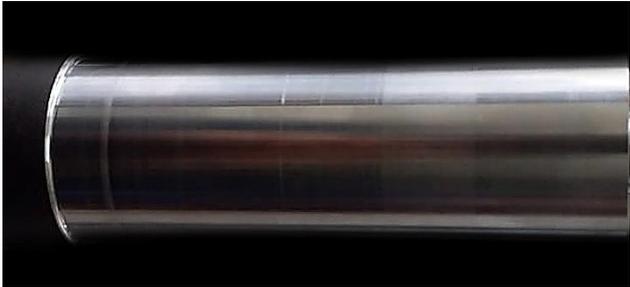
3.1.1.3. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E03  
(MQL+1%BF<sub>4</sub> 195 m/min) Acero AISI/SAE 4140

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b> A		
<b>Fecha de ejecución</b>		09/02/2021				
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b> Ing. Diego Núñez		
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>						
<b>Material</b>		Acero AISI/SAE 4140				
<b>Sistema de lubricación</b>		MQL + 1% BF <sub>4</sub>				
<b>Fluido lubricante</b>		Coolube 2210 EP				
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>		Acabado				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>	
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	480	2	
<b>Parámetros de medición superficial</b>						
<b>Rugosímetro</b>		<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo λc</b>	<b>Longitud de cut off λs</b>	<b>Mediciones</b>	
Mitutoyo SJ 210		ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm	5	
<b>Registro de mediciones (Ra) (μm)</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E03.1	0,745	0,763	0,751	0,707	0,742	0,742
E03.2	0,746	0,701	0,743	0,771	0,753	0,743
<b>Promedio Total</b>			<b>0,743</b>			
<b>Registro de mediciones (Rz) (μm)</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E03.1	4,378	4,203	4,221	3,927	3,876	4,121
E03.2	4,515	4,663	4,477	4,617	4,435	4,541
<b>Promedio Total</b>			<b>4,331</b>			
<b>Resultados</b>						
			<b>Estado superficial:</b> presencia de rayas de grosor constante perceptibles a la vista y al tacto distribuidas en toda la superficie de la probeta mecanizada resultando una superficie rugosa.			
			<b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3)			
			<b>Proceso:</b> Torneado			

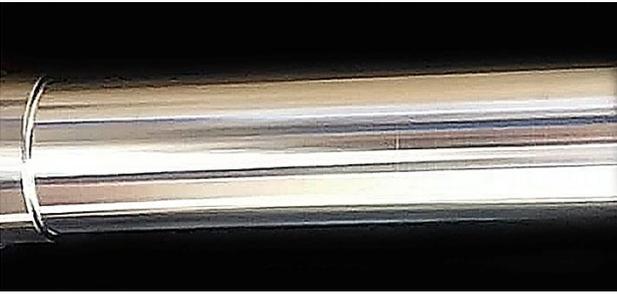
3.1.1.4. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E04  
(MQL+1%BF<sub>4</sub> 235-0,1) Acero AISI/SAE 4140

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>		A	
<b>Fecha de ejecución</b>		09/02/2021					
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b>		Ing. Diego Núñez	
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>							
<b>Material</b>		Acero AISI/SAE 4140					
<b>Sistema de lubricación</b>		MQL + 1% BF <sub>4</sub>					
<b>Fluido lubricante</b>		Coolube 2210 EP					
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025					
<b>Tipo de operación</b>		Acabado					
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>		
1473 - 235	147,3 – 0,1	0,4	0,8	480	2		
<b>Parámetros de medición superficial</b>							
<b>Rugosímetro</b>		<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo λc</b>	<b>Longitud de cut off λs</b>	<b>Mediciones</b>		
Mitutoyo SJ 210		ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm	5		
<b>Registro de mediciones Ra (μm)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E04.1	0,490	0,523	0,503	0,499	0,502	0,503	
E04.2	0,543	0,540	0,505	0,521	0,507	0,523	
<b>Promedio Total</b>			<b>0,513</b>				
<b>Registro de mediciones Rz (μm)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E04.1	3,061	2,909	2,738	2,841	2,570	2,824	
E04.2	2,975	3,027	2,994	2,806	2,979	2,956	
<b>Promedio Total</b>			<b>2,890</b>				
<b>Resultados</b>							
			<b>Estado superficial:</b> rayas intermitentes de pequeño grosor, muy poco perceptibles al tacto y a simple vista, en la parte inicial y final de la superficie de la probeta mecanizada.				
			<b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3)				
			<b>Proceso:</b> Torneado				

3.1.1.5. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E05  
(MQL+1%PF<sub>6</sub> 195-0,1) Acero AISI/SAE 4140

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>		A	
<b>Fecha de ejecución</b>		19/01/2021					
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>		Ing. Diego Núñez	
		Guamán Pablo					
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>							
<b>Material</b>		Acero AISI/SAE 4140					
<b>Sistema de lubricación</b>		MQL + 1% PF <sub>6</sub>					
<b>Fluido lubricante</b>		Coolube 2210 EP					
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025					
<b>Tipo de operación</b>		Acabado					
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>		
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	480	2		
<b>Parámetros de medición superficial</b>							
<b>Rugosímetro</b>		<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo λc</b>	<b>Longitud de cut off λs</b>	<b>Mediciones</b>		
Mitutoyo SJ 210		ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm	5		
<b>Registro de mediciones Ra (μm)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E05.1	0,558	0,642	0,616	0,610	0,685	0,622	
E05.2	0,542	0,549	0,619	0,560	0,509	0,556	
<b>Promedio Total</b>			<b>0,589</b>				
<b>Registro de mediciones Rz (μm)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E05.1	3,053	3,199	3,095	3,12	3,593	3,212	
E05.2	3,222	3,593	3,288	3,426	3,151	3,336	
<b>Promedio Total</b>			<b>3,274</b>				
<b>Resultados</b>							
			<b>Estado superficial:</b> aspecto rayado intermitente fino, perceptible a la vista y al tacto, a lo largo de la superficie de la probeta mecanizada, superficie medianamente rugosa.				
			<b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3)				
			<b>Proceso:</b> Torneado				

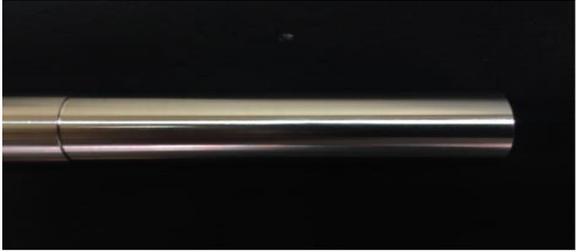
3.1.1.6. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E06  
(MQL+1%PF<sub>6</sub> 235-0,1) Acero AISI/SAE 4140

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 FICM				
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b> A		
<b>Fecha de ejecución</b>		19/01/2021				
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b> Ing. Diego Núñez		
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>						
<b>Material</b>		Acero AISI/SAE 4140				
<b>Sistema de lubricación</b>		MQL + 1% PF <sub>6</sub>				
<b>Fluido lubricante</b>		Coolube 2210 EP				
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>		Acabado				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>	
1473 - 235	147,3 – 0,1	0,4	0,8	480	2	
<b>Parámetros de medición superficial</b>						
<b>Rugosímetro</b>	<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo λc</b>	<b>Longitud de cut off λs</b>	<b>Mediciones</b>		
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm	5		
<b>Registro de mediciones Ra (μm)</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E06.1	0,553	0,550	0,557	0,531	0,533	0,545
E06.2	0,541	0,572	0,573	0,599	0,586	0,574
<b>Promedio Total</b>			<b>0,560</b>			
<b>Registro de mediciones Rz (μm)</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E06.1	3,170	2,942	3,108	3,258	3,227	3,141
E06.2	3,012	3,401	3,126	3,209	3,38	3,226
<b>Promedio Total</b>			<b>3,184</b>			
<b>Resultados</b>						
			<p><b>Estado superficial:</b> rayas intermitentes finas ligeramente perceptibles a la vista y al tacto distribuidas a lo largo de la superficie de la probeta mecanizada, superficie poco rugosa.</p> <p><b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3)</p> <p><b>Proceso:</b> Torneado</p>			

3.1.1.7. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E07  
(mecanizado en Seco 195 m/min) Acero AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL DATOS INFORMATIVOS						
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>	A	
<b>Fecha de ejecución</b>		19/01/2021				
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
Parámetros de tornado y lubricación						
<b>Material</b>		Acero inoxidable AISI 304				
<b>Sistema de lubricación</b>		Seco				
<b>Fluido lubricante</b>		No utilizado				
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>		Acabado				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>	
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	N/A	N/A	
Parámetros de medición superficial						
<b>Rugosímetro</b>	<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo <math>\lambda_c</math></b>		<b>Longitud de cut off <math>\lambda_s</math></b>	<b>Mediciones</b>	
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm		2,5 $\mu\text{m}$	5	
Registro de mediciones Ra ( $\mu\text{m}$ )						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E07.1	0,617	0,694	0,552	0,590	0,590	0,609
E07.2	0,698	0,834	0,599	0,670	0,891	0,738
<b>Promedio Total</b>			<b>0,674</b>			
Registro de mediciones Rz ( $\mu\text{m}$ )						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E07.1	2,947	3,570	3,217	2,984	2,777	3,099
E07.2	4,311	4,404	4,154	4,521	3,937	4,265
<b>Promedio Total</b>			<b>3,682</b>			
Resultados						
				<b>Estado superficial:</b> presencia de rayas intermitentes de diverso grosor perceptibles a la vista y al tacto distribuidas en la superficie de la probeta mecanizada, superficie rugosa. <b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3) <b>Proceso:</b> Torneado		
Datos recopilados de [21]						

3.1.1.8. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E08  
(mecanizado en Seco 195 m/min) Acero AISI 304

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL						
DATOS INFORMATIVOS						
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>	A	
<b>Fecha de ejecución</b>		19/01/2021				
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
Parámetros de tornado y lubricación						
<b>Material</b>		Acero inoxidable AISI 304				
<b>Sistema de lubricación</b>		Seco				
<b>Fluido lubricante</b>		No utilizado				
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>		Acabado				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>	
1473 - 235	147,3 – 0,1	0,4	0,8	N/A	N/A	
Parámetros de medición superficial						
<b>Rugosímetro</b>	<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo <math>\lambda_c</math></b>		<b>Longitud de cut off <math>\lambda_s</math></b>	<b>Mediciones</b>	
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm		2,5 $\mu\text{m}$	5	
Registro de mediciones Ra ( $\mu\text{m}$ )						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E08.1	0,717	0,747	0,76	0,741	0,889	0,771
E08.2	0,727	0,76	0,922	0,869	0,801	0,816
<b>Promedio Total</b>			<b>0,794</b>			
Registro de mediciones Rz ( $\mu\text{m}$ )						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E08.1	4,356	4,472	4,699	4,426	5,682	4,727
E08.2	4,475	4,929	5,835	5,253	4,541	5,007
<b>Promedio Total</b>			<b>4,867</b>			
Resultados						
				<b>Estado superficial:</b> presencia de muchas rayas constantes de considerable grosor perceptibles a la vista y al tacto distribuidas al inicio y al final de la superficie de la probeta mecanizada.		
				<b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3) <b>Proceso:</b> Torneado		
Datos recopilados de [21]						

3.1.1.1. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E09  
(MQL+1%BF<sub>4</sub> 195-0,1) Acero AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b> A		
<b>Fecha de ejecución</b>		09/02/2021				
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b> Ing. Diego Núñez		
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>						
<b>Material</b>		Acero inoxidable AISI 304				
<b>Sistema de lubricación</b>		MQL + 1% BF <sub>4</sub>				
<b>Fluido lubricante</b>		Coolube 2210 EP				
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>		Acabado				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>	
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	480	2	
<b>Parámetros de medición superficial</b>						
<b>Rugosímetro</b>	<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo λc</b>	<b>Longitud de cut off λs</b>	<b>Mediciones</b>		
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm	5		
<b>Registro de mediciones Ra (μm)</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E09.1	0,665	0,642	0,625	0,675	0,674	0,656
E09.2	0,683	0,672	0,664	0,671	0,676	0,673
<b>Promedio Total</b>			<b>0,665</b>			
<b>Registro de mediciones Rz (μm)</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E09.1	3,781	3,991	3,407	3,984	4,161	3,865
E09.2	4,006	3,878	3,951	3,884	3,89	3,922
<b>Promedio Total</b>			<b>3,894</b>			
<b>Resultados</b>						
			<p><b>Estado superficial:</b> presencia de rayas constantes muy perceptibles a la vista y al tacto distribuidas al inicio y al medio de la superficie de la probeta mecanizada.</p> <p><b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3)</p> <p><b>Proceso:</b> Torneado</p>			

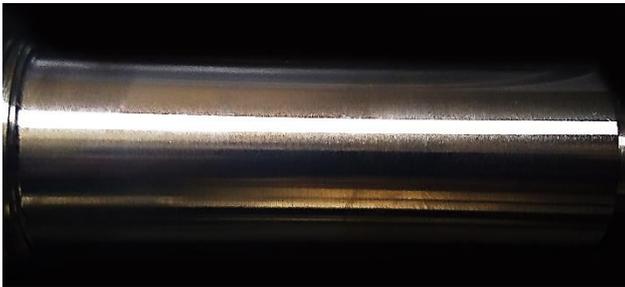
3.1.1.2. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E10  
(MQL+1%BF<sub>4</sub> 235-0,1) Acero AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b> A		
<b>Fecha de ejecución</b>		09/02/2021				
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b> Ing. Diego Núñez		
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>						
<b>Material</b>		Acero inoxidable AISI 304				
<b>Sistema de lubricación</b>		MQL + 1% BF <sub>4</sub>				
<b>Fluido lubricante</b>		Coolube 2210 EP				
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>		Acabado				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>	
1473 - 235	147,3 – 0,1	0,4	0,8	480	2	
<b>Parámetros de medición superficial</b>						
<b>Rugosímetro</b>	<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo λc</b>	<b>Longitud de cut off λs</b>	<b>Mediciones</b>		
Mitutoyo SJ 210	ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm	5		
<b>Registro de mediciones Ra (μm)</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E10.1	0,448	0,456	0,455	0,501	0,496	0,471
E10.2	0,503	0,467	0,461	0,515	0,492	0,488
<b>Promedio Total</b>			<b>0,480</b>			
<b>Registro de mediciones Rz (μm)</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>
E10.1	3,141	3,290	3,204	3,509	3,346	3,298
E10.2	3,491	3,452	4,061	3,567	3,318	3,578
<b>Promedio Total</b>			<b>3,438</b>			
<b>Resultados</b>						
			<p><b>Estado superficial:</b> presencia de rayas intermitentes finas poco perceptibles a la vista y al tacto distribuidas en la superficie de la probeta mecanizada resultando una superficie lisa.</p> <p><b>Clase de rugosidad:</b> N5 (Tabla 3)</p> <p><b>Proceso:</b> Torneado</p>			

3.1.1.3. Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E11  
(MQL+1%PF<sub>6</sub> 195-0,1) Acero AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>		A	
<b>Fecha de ejecución</b>		19/01/2021					
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>		Ing. Diego Núñez	
		Guamán Pablo					
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>							
<b>Material</b>		Acero inoxidable AISI 304					
<b>Sistema de lubricación</b>		MQL + 1% PF <sub>6</sub>					
<b>Fluido lubricante</b>		Coolube 2210 EP					
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025					
<b>Tipo de operación</b>		Acabado					
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>		
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	480	2		
<b>Parámetros de medición superficial</b>							
<b>Rugosímetro</b>		<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo λc</b>	<b>Longitud de cut off λs</b>	<b>Mediciones</b>		
Mitutoyo SJ 210		ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm	5		
<b>Registro de mediciones Ra (μm)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E11.1	0,449	0,410	0,394	0,404	0,504	0,432	
E11.2	0,413	0,369	0,409	0,400	0,416	0,401	
<b>Promedio Total</b>			<b>0,417</b>				
<b>Registro de mediciones Rz (μm)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E11.1	2,935	2,857	2,386	2,393	2,985	2,711	
E11.2	2,472	2,276	2,495	2,555	2,439	2,447	
<b>Promedio Total</b>			<b>2,579</b>				
<b>Resultados</b>							
			<b>Estado superficial:</b> acabado fino, presencia de rayas finas muy poco perceptibles a la vista y al tacto resultando una superficie lisa				
			<b>Clase de rugosidad:</b> N5 (Tabla 3)				
			<b>Proceso:</b> Torneado				

3.1.1.4.Ficha de registro de datos de acabado superficial experimento E12  
(MQL+1%PF<sub>6</sub> 235-0,1) Acero AISI 304

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>		A	
<b>Fecha de ejecución</b>		19/01/2021					
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b>		Ing. Diego Núñez	
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>							
<b>Material</b>		Acero inoxidable AISI 304					
<b>Sistema de lubricación</b>		MQL + 1% PF <sub>6</sub>					
<b>Fluido lubricante</b>		Coolube 2210 EP					
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025					
<b>Tipo de operación</b>		Acabado					
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>		
1473 - 235	147,3 – 0,1	0,4	0,8	480	2		
<b>Parámetros de medición superficial</b>							
<b>Rugosímetro</b>		<b>Norma</b>	<b>Longitud de muestreo λc</b>	<b>Longitud de cut off λs</b>	<b>Mediciones</b>		
Mitutoyo SJ 210		ISO 4287	0,8 mm	2,5 μm	5		
<b>Registro de mediciones Ra (μm)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E12.1	0,671	0,636	0,623	0,655	0,619	0,641	
E12.2	0,675	0,695	0,699	0,688	0,674	0,686	
<b>Promedio Total</b>			<b>0,664</b>				
<b>Registro de mediciones Rz (μm)</b>							
<b>Probeta</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Medida 4</b>	<b>Medida 5</b>	<b>Promedio</b>	
E12.1	4,216	4,075	4,021	3,666	3,606	3,917	
E12.2	3,882	3,854	3,650	3,667	3,883	3,787	
<b>Promedio Total</b>			<b>3,852</b>				
<b>Resultados</b>							
			<b>Estado superficial:</b> apariencia rugosa en la superficie con rayas intermitentes de diverso grosor, perceptibles a la vista y al tacto, presentes en la superficie de la probeta mecanizada.				
			<b>Clase de rugosidad:</b> N6 (Tabla 3)				
			<b>Proceso:</b> Torneado				

### 3.1.2. Rugosidad superficial Ra del acero AISI/SAE 4140

En el caso del acero AISI/SAE 4140 en las mediciones de la rugosidad superficial Ra, aplicando el cilindrado exterior según las combinaciones que se muestran en la tabla 12, se realizaron 6 experimentos, de los cuales el mejor resultado se registró en el experimento E04 con un valor promedio de 0,513  $\mu\text{m}$ , siendo este el resultado más bajo, mientras que el más alto se evidenció en el experimento E01 con un valor promedio de 0,831  $\mu\text{m}$ . En la figura 43 se muestra la tendencia de estos experimentos realizados para este acero, en donde se observa la línea amarilla correspondiente al experimento E04, siendo este el mejor resultado de medición promedio ya antes mencionado, así como también se evidencia una clara mejora de los experimentos que utilizan a los líquidos iónicos como aditivo al aceite aplicando el método de mínima cantidad de lubricante (MQL).

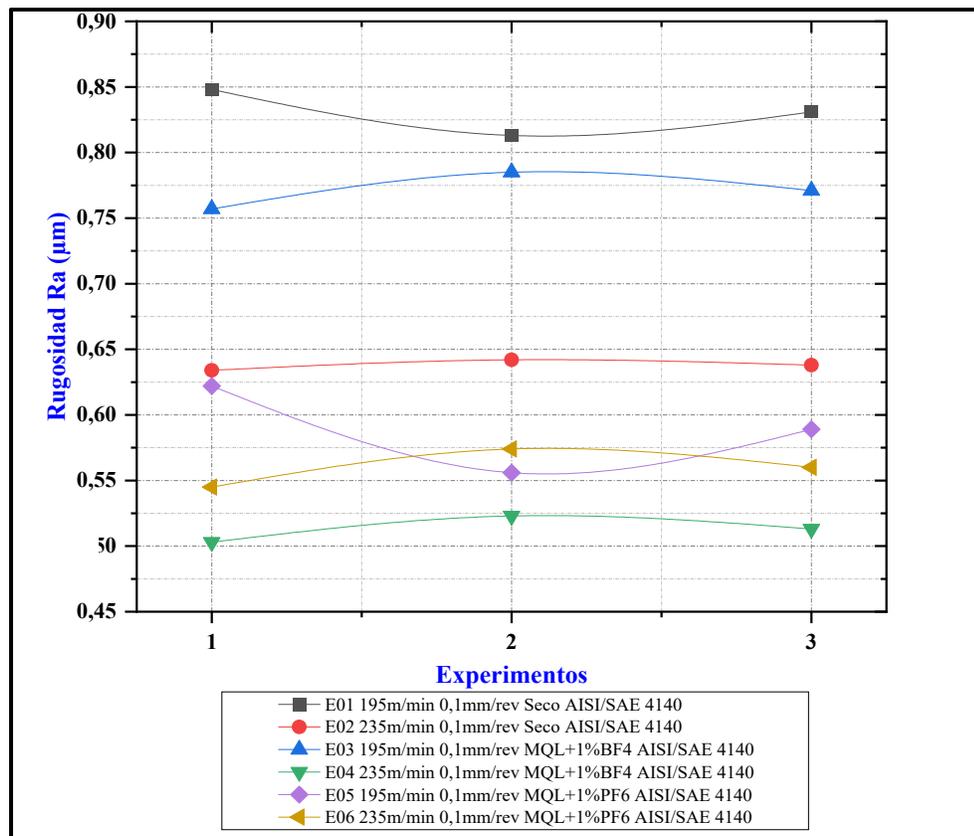


Fig. 43 Representación de la rugosidad superficial Ra del acero AISI/SAE 4140

Fuente: Autores

### 3.1.3. Rugosidad superficial Rz del acero AISI/SAE 4140

En el rugosímetro Mitutoyo SJ210 el valor de la rugosidad superficial Rz representa la medición del pico más alto y del valle más bajo registrado por cada medición. En la medición de esta rugosidad, en el experimento E04 se obtuvo 2,890  $\mu\text{m}$ , el cual es el más bajo de todos, mientras que el más alto que se obtuvo fue en el experimento E01 con un valor promedio de 4,764  $\mu\text{m}$ , coincidiendo así con los resultados de Ra. De la misma manera que en el gráfico anterior, en la figura 44 es evidente que los experimentos utilizando a los líquidos iónicos como aditivos tienen valores más bajos de Rz en comparación con la condición de mecanizado en seco en función de los parámetros de mecanizado.

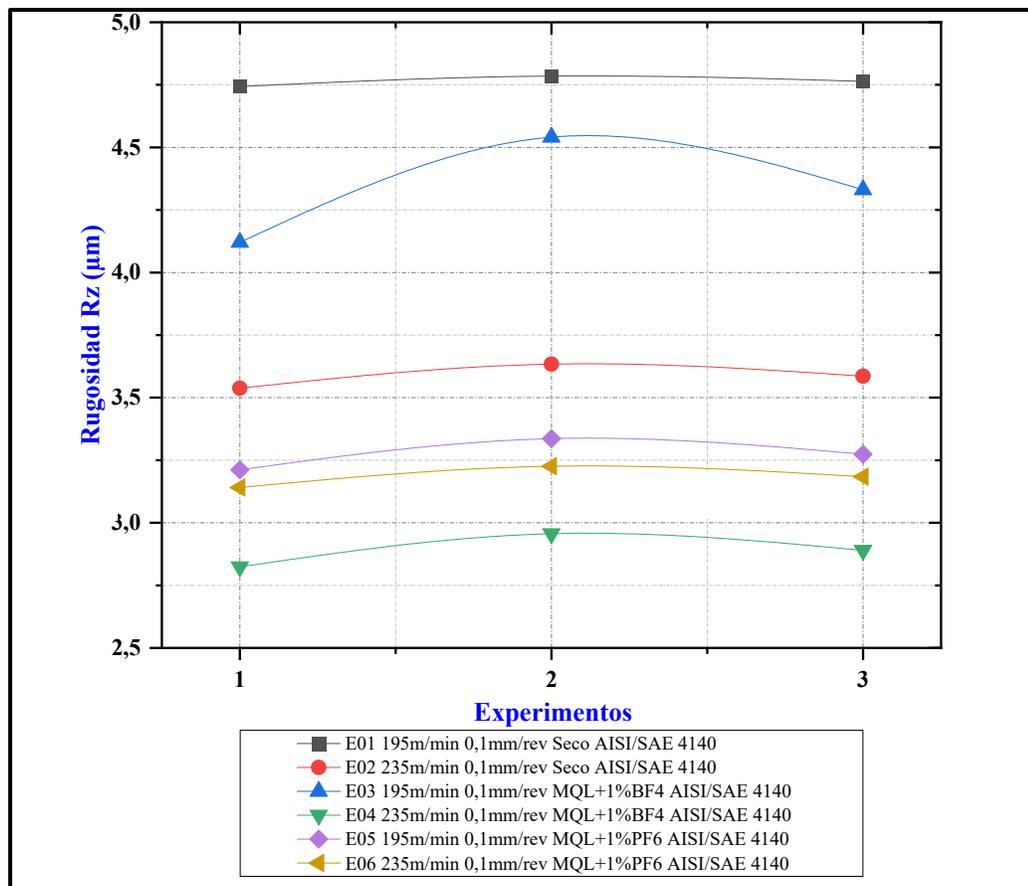


Fig. 44 Representación de la rugosidad superficial Rz del acero AISI/SAE 4140

Fuente: Autores

### 3.1.4. Rugosidad superficial Ra del acero inoxidable AISI 304

Las últimas 6 combinaciones de la tabla 12 corresponden al mecanizado del acero inoxidable AISI 304, los resultados de la rugosidad superficial Ra en los experimentos E07 y E08 fueron recopilados de [21], investigación que cuenta con dichos experimentos a los mismos parámetros y utilizando el mecanizado en seco. De todos estos experimentos se destaca, como mejor resultado, el experimento E11 con un valor promedio de 0,417  $\mu\text{m}$ , siendo este el menor valor, mientras que el mayor se registra en el experimento E08 con un valor promedio de 0,794  $\mu\text{m}$ . Al igual que en el caso anterior, en la figura 45 se representa la tendencia de cada uno de estos experimentos, siendo los experimentos utilizando a los líquidos iónicos como aditivos al aceite en el MQL, las líneas de tendencia con los valores más bajos.

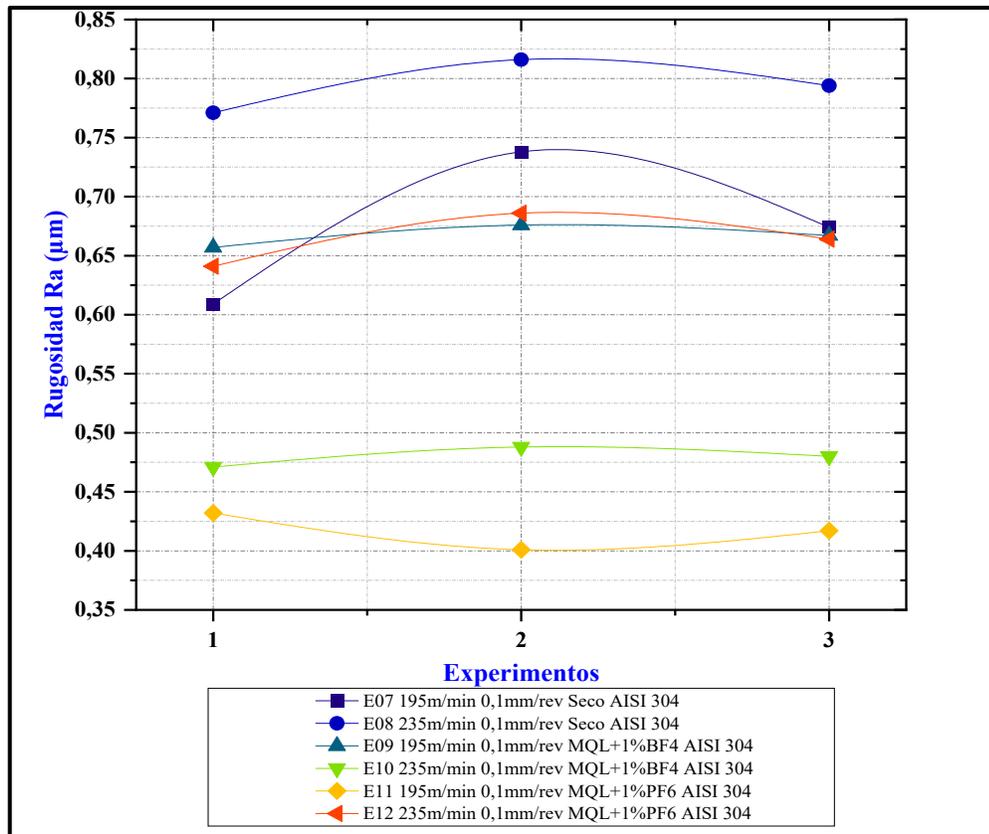


Fig. 45 Representación de la rugosidad superficial Ra del acero inoxidable AISI 304

Fuente: Autores

### 3.1.5. Rugosidad superficial Rz del acero inoxidable AISI 304

Al igual que la rugosidad superficial Ra en el acero inoxidable AISI 304, los resultados de la rugosidad superficial Rz para los experimentos E07 y E08 los valores se tomaron de [21], investigación en la que se encuentran estos experimentos con iguales parámetros de mecanizado en seco de las combinaciones que se encuentran en la tabla 12. De todos los experimentos los que más se destacan son E08 y E11, con valores promedio de 4,867  $\mu\text{m}$  y 2,579  $\mu\text{m}$  respectivamente, siendo este último el menor valor registrado. La línea de tendencia amarilla que se muestra en la figura 46 representa el mejor valor obtenido de la rugosidad superficial Rz, y además en esta figura se puede evidenciar que los ensayos que cuentan con los líquidos iónicos como aditivos lubricantes muestran los valores más bajos entre todos los experimentos, en comparación con el mecanizado en seco.

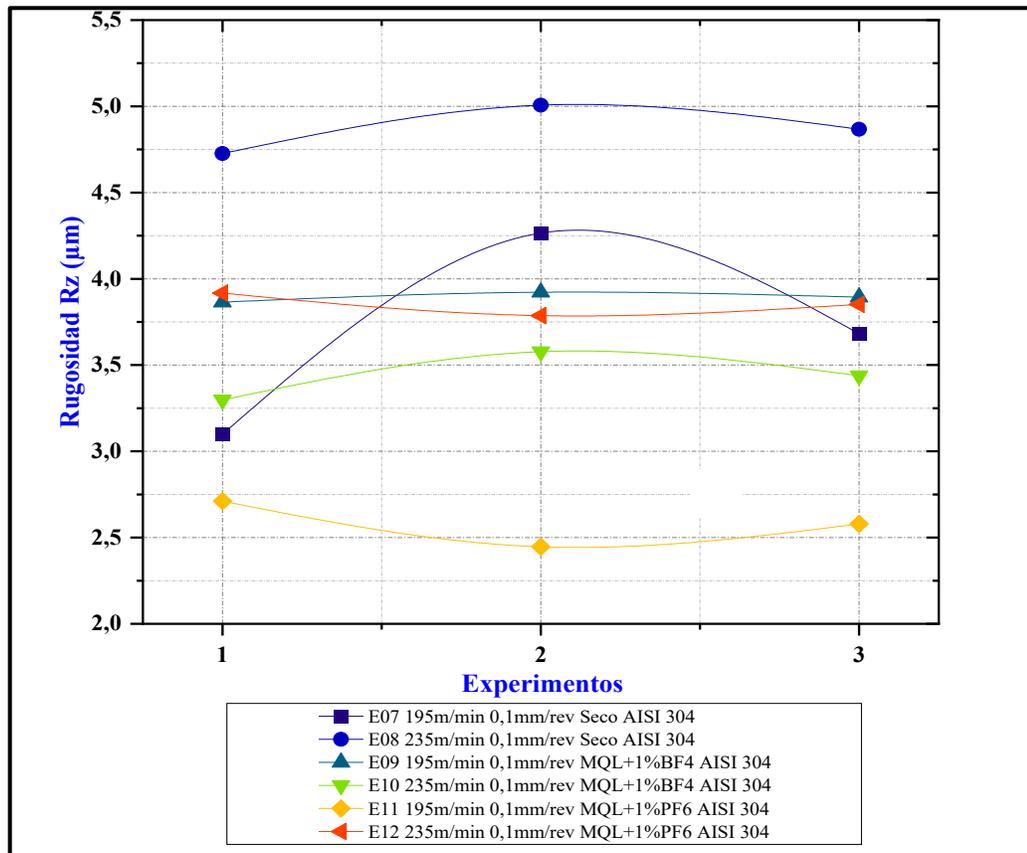


Fig. 46 Representación de la rugosidad superficial Rz del acero inoxidable AISI 304

Fuente: Autores

### 3.1.6. Comparación de la rugosidad superficial (Ra) en el torneado del acero AISI/SAE 4140 a diferentes velocidades de corte y sistemas de lubricación

Para el análisis del comportamiento de la rugosidad superficial Ra se tomó en cuenta dos parámetros de mecanizado, la velocidad de corte y el tipo de sistema de lubricación, en la figura 47 con una velocidad de corte de 195 m/min en el torneado del acero AISI/SAE 4140 se muestra como mayor valor de rugosidad superficial (Ra) el mecanizado en seco, mientras que los valores inferiores fueron obtenidos de los experimentos que utilizan a los líquidos iónicos como aditivos lubricantes, MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>, siendo en este último, el menor valor registrado. Al igual que en la comparación anterior, con una velocidad de 235 m/min, en los experimentos MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>, se obtuvo valores menores de rugosidad que el mecanizado en seco como se muestra en la figura 48, además el experimento en el cual se obtuvo el menor valor de rugosidad Ra fue MQL + 1%BF<sub>4</sub> con dicha velocidad de corte.

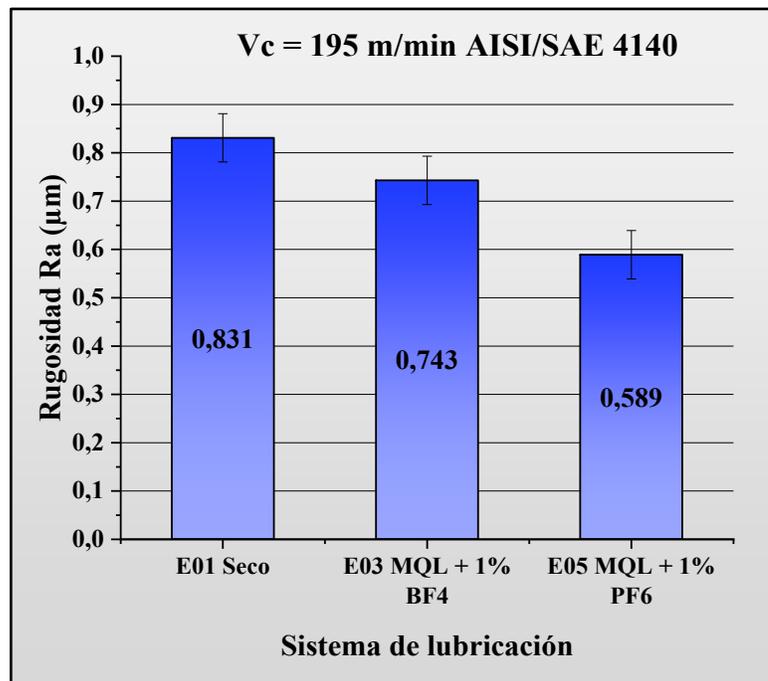


Fig. 47 Rugosidad Ra del acero AISI/SAE 4140 a 195m/min

Fuente: Autores

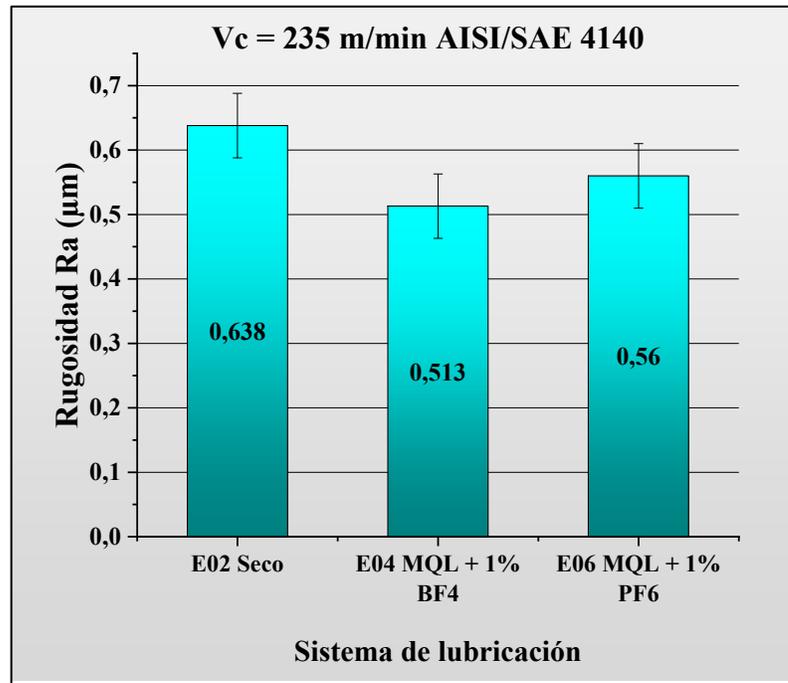


Fig. 48 Rugosidad Ra del acero AISI/SAE 4140 a 235m/min

Fuente: Autores

Los valores obtenidos de la rugosidad superficial Ra en el torneado del acero AISI/SAE 4140 fueron menores utilizando una velocidad de corte de 235 m/min mientras que al utilizar una velocidad de corte de 195 m/min los valores obtenidos fueron más altos como se presenta en la figura 49, demostrando así que el torneado de este acero presenta mejores resultados de rugosidad superficial (Ra) a mayor velocidad de corte con diferentes sistemas de lubricación. Por ello, el mejor valor de rugosidad superficial Ra, ya antes mencionado, pertenece al experimento E04 con un resultado de 0,513 µm, el cual cuenta en su proceso con una velocidad de corte de 235 m/min y el sistema de lubricación es MQL + 1%BF<sub>4</sub>. Este experimento tiene un 19,59% de mejora en comparación con el resultado del mecanizado en seco 0,638 µm, además el experimento E05 que cuenta con un sistema de lubricación de MQL + 1%PF<sub>6</sub> y una velocidad de 195 m/min tiene un valor de 0,589 µm lo que genera un 29,12 % de mejora en comparación al mecanizado en seco a estas mismas condiciones 0,831 µm.

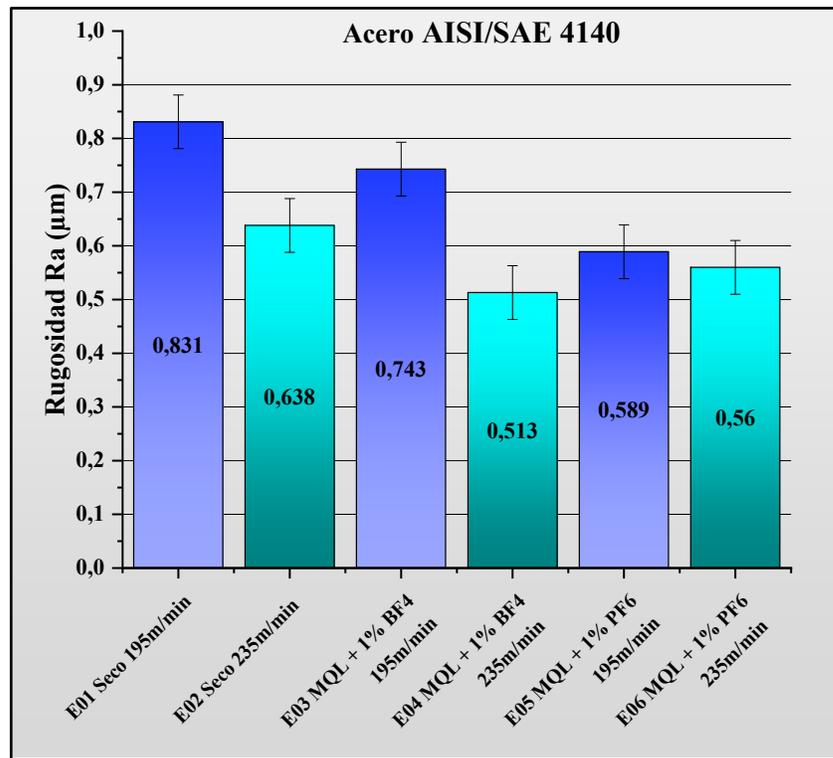


Fig. 49 Comportamiento de la rugosidad Ra del acero AISI/SAE 4140 al cambiar la velocidad de corte

Fuente: Autores

### 3.1.7. Comparación de la rugosidad superficial (Ra) en el torneado del acero AISI 304 a diferentes velocidades de corte y sistemas de lubricación

Al igual que en el análisis del comportamiento de la rugosidad superficial Ra del caso anterior, los parámetros que se tomaron en cuenta fueron la velocidad de corte y el método de lubricación utilizado, en el acero inoxidable AISI 304, tanto para la velocidad 195 m/min como para la velocidad 235 m/min los valores de rugosidad superficial Ra inferiores fueron registrados en los experimentos que cuentan con los líquidos iónicos como aditivos lubricantes en comparación con el mecanizado en seco, como se muestra en las figuras 50 y 51. En la utilización de la velocidad de corte de 195 m/min el mejor valor obtenido fue 0,417 µm correspondiente al experimento E11 con el sistema de lubricación MQL + 1%PF<sub>6</sub>, mientras que al utilizar la velocidad de corte de 235 m/min el mejor valor obtenido tuvo lugar en el experimento E10 con un sistema de lubricación de MQL + 1%BF<sub>4</sub> y un valor de 0,480 µm.

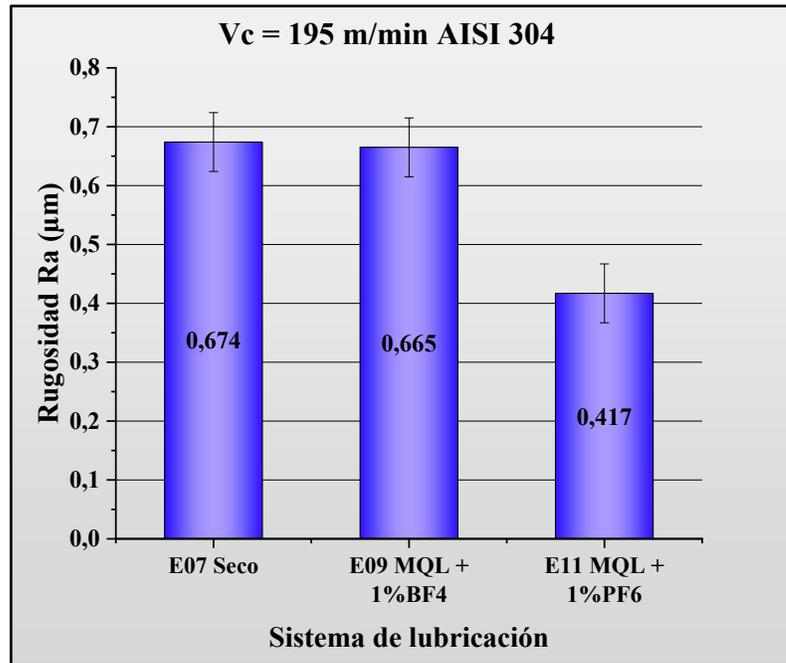


Fig. 50 Rugosidad Ra del acero AISI 304 a 195m/min

Fuente: Autores

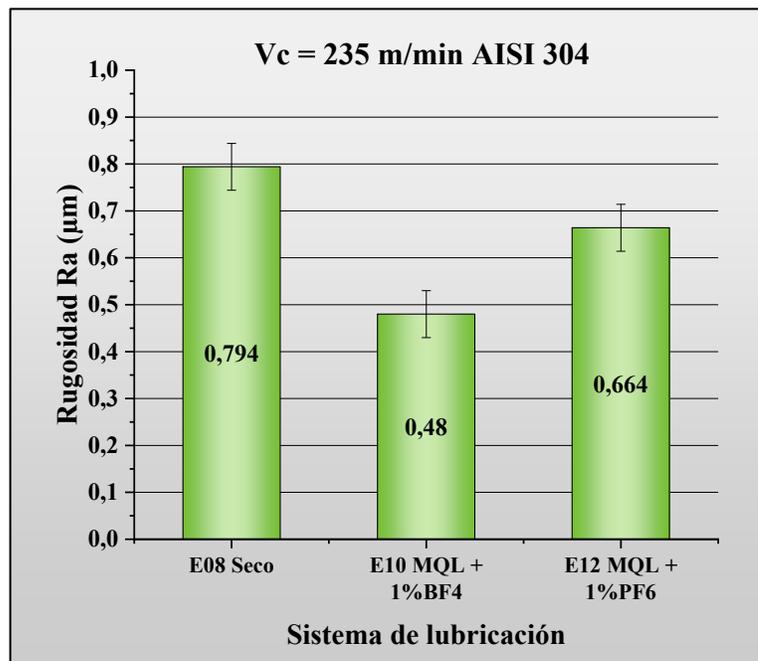


Fig. 51 Rugosidad Ra del acero AISI 304 a 235m/min

Fuente: Autores

En la figura 52 se muestra el comportamiento que tiene la rugosidad superficial Ra en el torneado del acero inoxidable AISI 304 al aumentar la velocidad de corte con diferentes sistemas de lubricación, en donde para el mecanizado en seco y MQL + 1%PF<sub>6</sub> cuando aumenta la velocidad de corte (de 195 m/min a 235 m/min) aumenta también la rugosidad superficial Ra, mientras que para el sistema de lubricación que utiliza MQL + 1%BF<sub>4</sub> cuando se aplica una velocidad de corte de 235 m/min la rugosidad baja. Los experimentos E10 y E11, ya antes mencionados, que cuentan con los mejores valores obtenidos de rugosidad superficial Ra tienen 39,55 % y 38,13 % de mejora en comparación con los experimentos E07 y E08 que corresponden al mecanizado en seco. Demostrando de esta manera que los sistemas de lubricación que cuentan con los líquidos iónicos como aditivos son más recomendables que el mecanizado en seco también cabe recalcar que el líquido iónico BF<sub>4</sub> tiene mejores resultados de rugosidad superficial (Ra) a mayores velocidades en el torneado del acero AISI 304, mientras que el PF<sub>6</sub> funciona mejor con el mecanizado a velocidades bajas.

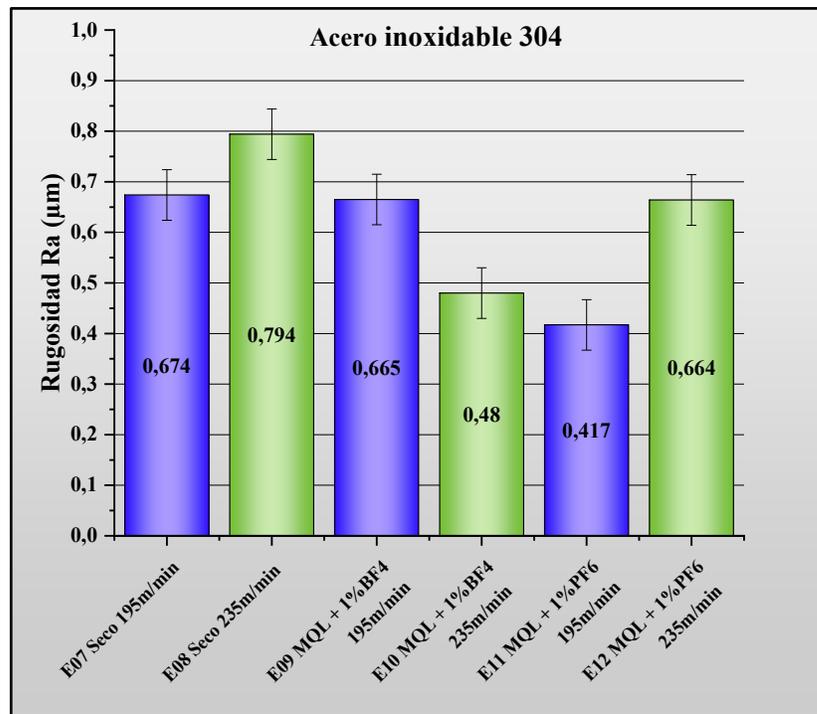


Fig. 52 Comportamiento de la rugosidad Ra del acero AISI 304 al cambiar la velocidad de corte

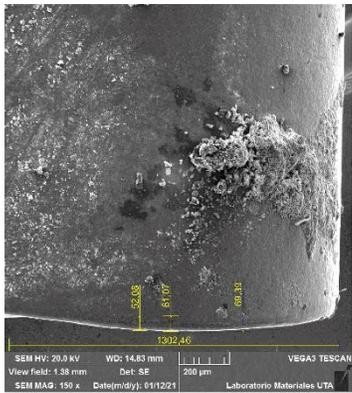
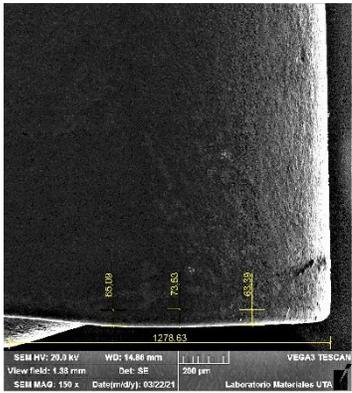
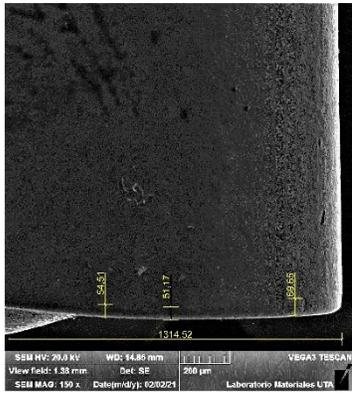
Fuente: Autores

### **3.1.8. Toma de datos y evaluación del desgaste de flanco de la herramienta de corte**

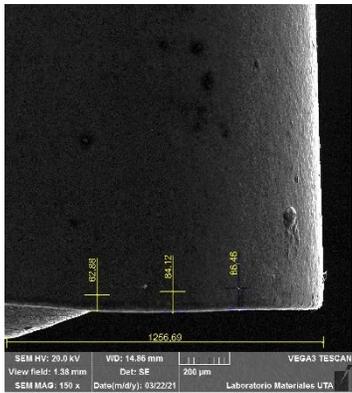
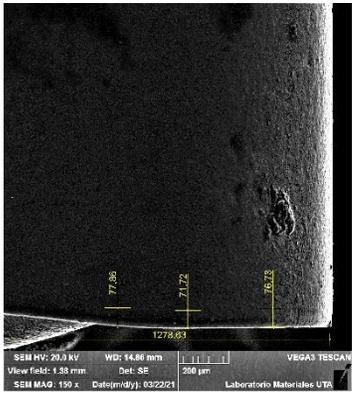
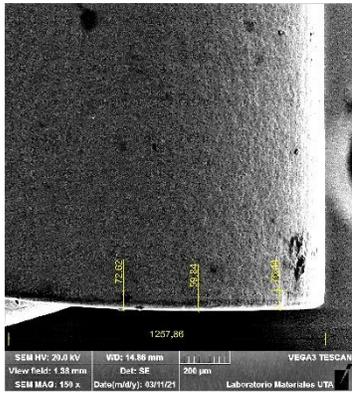
Los datos del desgaste de flanco de la herramienta de corte se encuentran en las fichas de reporte 3.1.8.1. a la 3.1.8.12., los cuales fueron obtenidos a través de mediciones confiables en el microscopio de barrido a los 10, 30 y 50 minutos de mecanizado. Los experimentos analizados se encuentran en la tabla 12, de ellos los primeros 6 experimentos corresponden al acero AISI/SAE 4140 y los siguientes al acero inoxidable AISI 304, además, se varía la velocidad de corte y el tipo de sistema de lubricación. En las fichas se realiza una comparación de los experimentos que tienen los mismos parámetros, material y velocidad de corte, con la diferencia en el método de lubricación utilizado: Seco y con líquidos iónicos como aditivos lubricantes (MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>).

La evaluación del desgaste se realiza de acuerdo con la norma ANSI/ASME B94.55M que establece dos consideraciones de límite aceptable, el desgaste máximo y el desgaste promedio máximo, 0,6 mm y 0,3 mm respectivamente, en la zona media del flanco. Con la utilización de la ecuación de Taylor y fórmulas específicas de esta norma se procede a predecir la vida útil de la herramienta en función de la velocidad de corte, a través de la obtención de un modelo matemático.

**3.1.8.1. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E01, E03 y E05 (10 minutos de mecanizado)**

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>	
<b>Fecha de ejecución</b>				B	
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM			
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	
		Guamán Pablo		Ing. Diego Núñez	
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>					
<b>Material</b>		Acero AISI/SAE 4140			
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025			
<b>Tipo de operación</b>		Acabado			
<b>Tiempo de mecanizado</b>		10 minutos			
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	0-480	0-2
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL</b>					
SECO		MQL + 1% BF <sub>4</sub>		MQL + 1% PF <sub>6</sub>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 69,390 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 73,530 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 69,650 um	
Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 60,847 um		Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 67,337 um		Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 58,443 um	
<b>Conclusión:</b> Para los 10 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b> El desgaste mayor se da en el experimento 3 el cual utiliza MQL + 1% BF <sub>4</sub> como método de lubricación, en la condición en Seco y MQL + 1% PF <sub>6</sub> el desgaste es ligeramente menor.					

**3.1.8.2. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E01, E03 y E05 (30 minutos de mecanizado)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
<b>REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	Experimental		<b>Ítem</b>	B	
<b>Fecha de ejecución</b>	11/03/2021				
<b>Lugar de estudio</b>	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>	Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
	Guamán Pablo				
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>					
<b>Material</b>	Acero AISI/SAE 4140				
<b>Herramienta de corte</b>	CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>	Acabado				
<b>Tiempo de mecanizado</b>	30 minutos				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	0-480	0-2
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL</b>					
<b>SECO</b>		<b>MQL + 1% BF<sub>4</sub></b>		<b>MQL + 1% PF<sub>6</sub></b>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 86,460 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 77,820 um	Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 77,860 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 75,237 um	Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 76,440 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 69,633 um			
<b>Conclusión:</b> Para los 30 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b> El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca menor desgaste en el PF <sub>6</sub> .					

**3.1.8.3. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E01, E03 y E05 (50 minutos de mecanizado)**

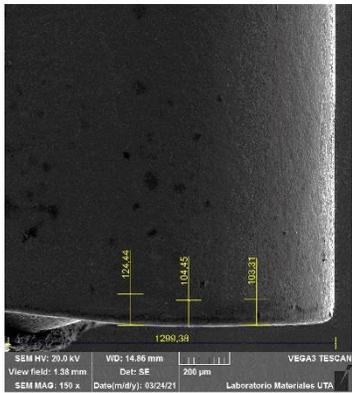
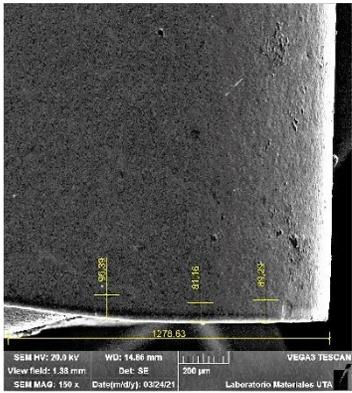
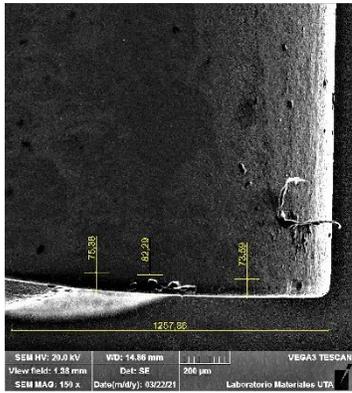
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
DATOS INFORMATIVOS					
<b>Tipo de estudio</b>	Experimental		<b>Ítem</b>	B	
<b>Fecha de ejecución</b>	22/03/2021				
<b>Lugar de estudio</b>	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>	Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
	Guamán Pablo				
Parámetros de tornado y lubricación					
<b>Material</b>	Acero AISI/SAE 4140				
<b>Herramienta de corte</b>	CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>	Acabado				
<b>Tiempo de mecanizado</b>	50 minutos				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	0-480	0-2
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
<b>SECO</b>		<b>MQL + 1% BF<sub>4</sub></b>		<b>MQL + 1% PF<sub>6</sub></b>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 124,440 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 110,733 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 96,390 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 88,947 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 82,290 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 77,087 um	
<b>Conclusión:</b>					
Para los 50 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M					
<b>Observación:</b>					
El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca menor desgaste en el PF <sub>6</sub> .					

Tabla 14 Desgaste de flanco promedio y máximo (um) en E01, E03 y E05 en función del tiempo.

Tiempo de mecanizado (min)	E01 195 m/min 0,1 mm/rev Seco		E03 195 m/min 0,1 mm/rev MQL+1% BF <sub>4</sub>		E05 195 m/min 0,1 mm/rev MQL+1% PF <sub>6</sub>	
	VBb máx.	VB	VBb máx.	VB	VBb máx.	VB
10	69,39	60,847	73,53	67,337	69,65	58,443
20	86,46	77,820	77,86	75,237	76,44	69,633
30	124,44	110,733	96,39	88,947	82,29	77,087

Fuente: Autores

En la tabla 14 se presentan los valores obtenidos de desgaste máximo y desgaste promedio en el acero AISI/SAE 4140 en los experimentos E01, E03 y E05, el parámetro que se varió de estos experimentos fue el método de lubricación, Seco, MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>, respectivamente. La comparación del desgaste en estos experimentos se muestra en la figura 53, siendo las líneas de tendencia más bajas las correspondientes a los experimentos que utilizan a los líquidos iónicos como aditivos lubricantes.

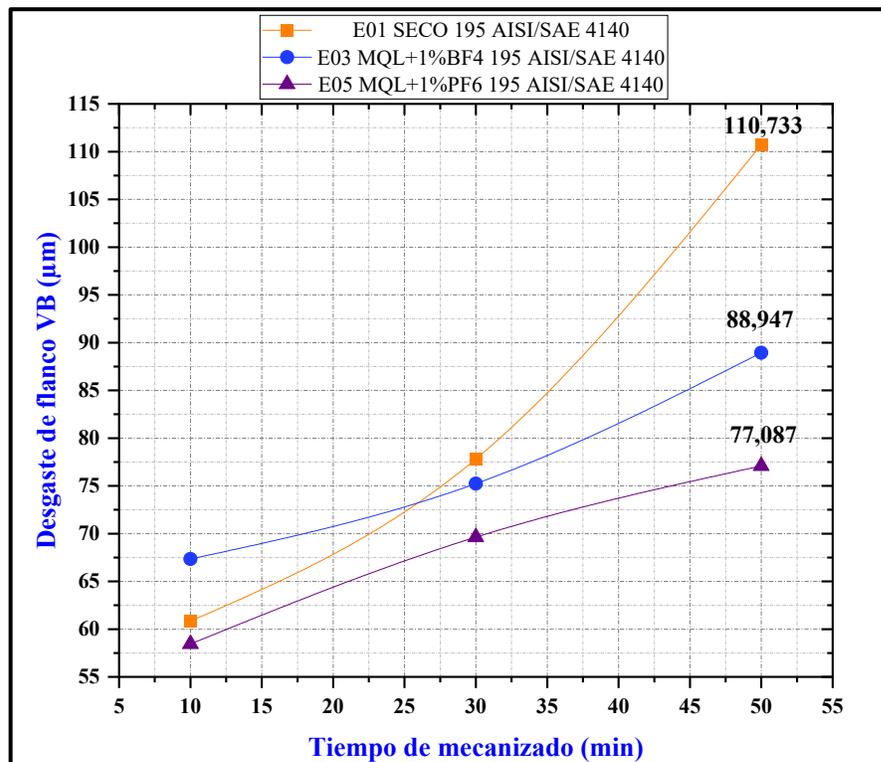


Fig. 53 Comparación del desgaste del flanco a diferente tiempo (E01, E03 y E05) AISI/SAE 4140

Fuente: Autores

En la figura 60, pese a que en los primeros 10 minutos de mecanizado el experimento E03, que utiliza como fluido de trabajo al MQL + 1%BF<sub>4</sub>, tiene el valor más alto de desgaste promedio, en los 30 y 50 minutos de mecanizado se registran valores más altos en la condición de mecanizado en seco. En la figura 54 se muestra la proyección de desgaste de la herramienta de corte a través del tiempo, en donde el experimento E01 alcanza el criterio de desgaste promedio máximo establecido por la norma ANSI/ASME B94.55M (0,3 mm) a los 118 minutos de mecanizado en cambio los experimentos E03 y E05 llegan a este criterio a los 225 y 246 minutos respectivamente, demostrando que los experimentos que utilizan a los líquidos iónicos como aditivos lubricantes tienen una vida útil de la herramienta de corte más larga en relación con el mecanizado en seco a velocidad de 195 m/min.

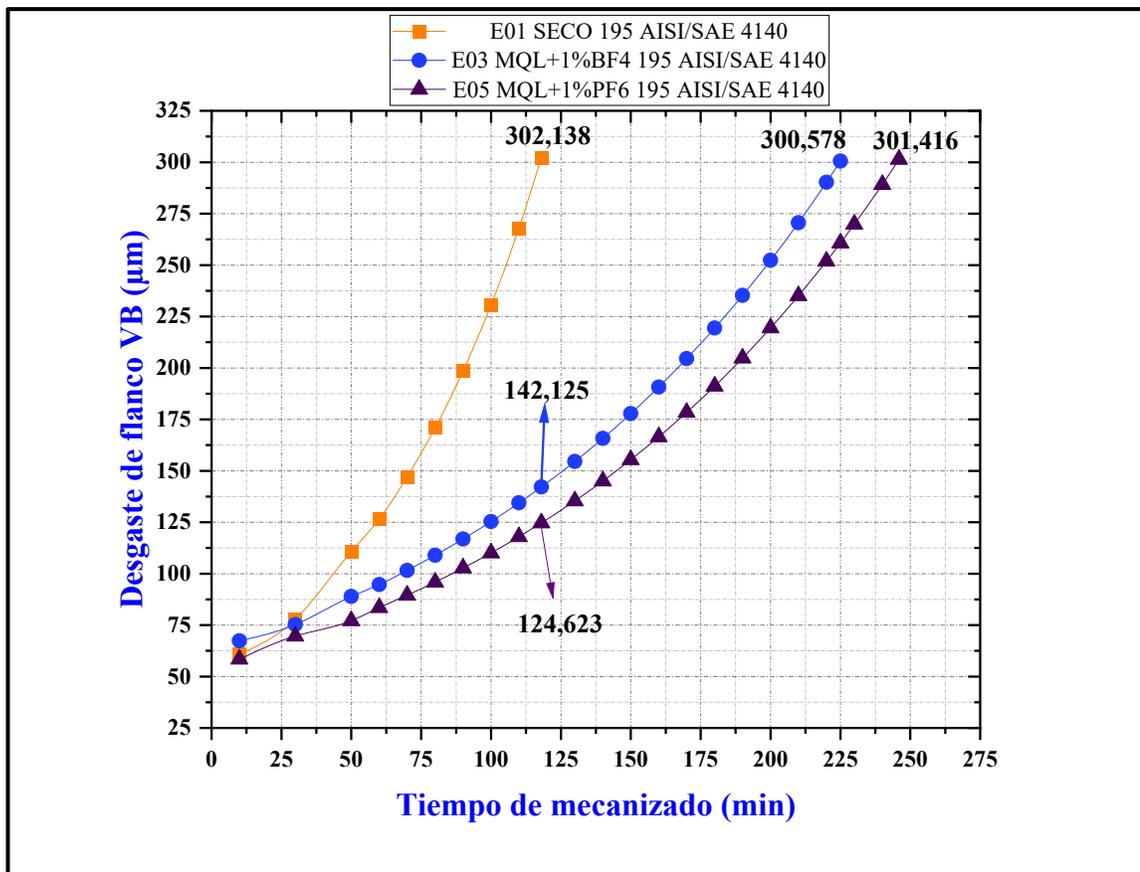
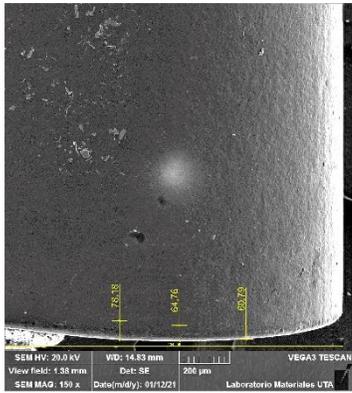
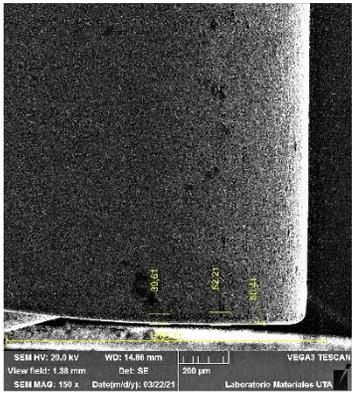
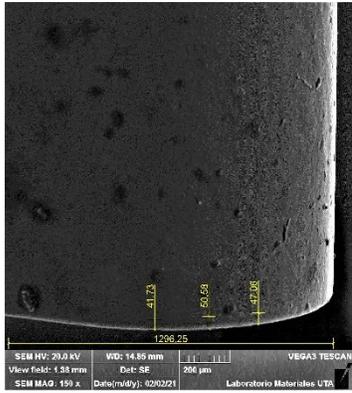


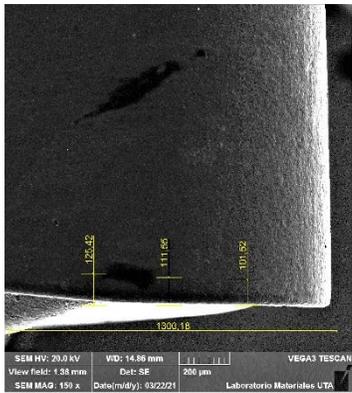
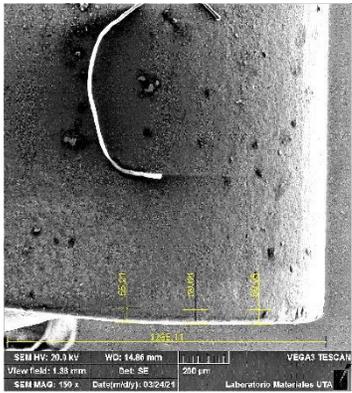
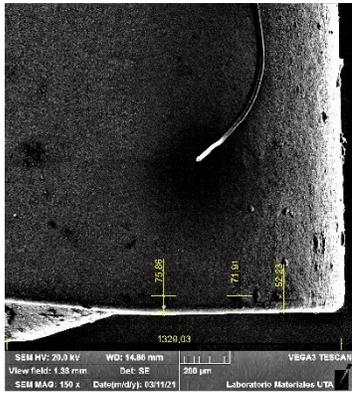
Fig. 54 Proyección del desgaste de flanco para los experimentos E01, E03 y E05 AISI/SAE 4140

Fuente: Autores

**3.1.8.4. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E02, E04 y E06 (10 minutos de mecanizado)**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	Experimental		<b>Ítem</b>	B	
<b>Fecha de ejecución</b>	02/02/2021				
<b>Lugar de estudio</b>	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>	Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>					
<b>Material</b>	Acero AISI/SAE 4140				
<b>Herramienta de corte</b>	CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>	Acabado				
<b>Tiempo de mecanizado</b>	10 minutos				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1473 - 235	1473 - 235	0,4	0,8	0-480	0-2
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL</b>					
<b>SECO</b>		<b>MQL + 1% BF<sub>4</sub></b>		<b>MQL + 1% PF<sub>6</sub></b>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 78,180 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 67,910 um	Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 52,210 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 47,410 um	Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 50,580 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 46,460 um			
<b>Conclusión:</b> Para los 10 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b> El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca menor desgaste en el PF <sub>6</sub> .					

**3.1.8.5. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E02, E04 y E06 (30 minutos de mecanizado)**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
DATOS INFORMATIVOS					
<b>Tipo de estudio</b>	Experimental		<b>Ítem</b>	B	
<b>Fecha de ejecución</b>	11/03/2021				
<b>Lugar de estudio</b>	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>	Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
	Guamán Pablo				
Parámetros de tornado y lubricación					
<b>Material</b>	Acero AISI/SAE 4140				
<b>Herramienta de corte</b>	CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>	Acabado				
<b>Tiempo de mecanizado</b>	30 minutos				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1473 - 235	1473 - 235	0,4	0,8	0-480	0-2
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO		MQL + 1% BF <sub>4</sub>		MQL + 1% PF <sub>6</sub>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 125,420 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 112,830 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 60,050 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 57,307 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 75,860 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 66,667 um	
<b>Conclusión:</b>					
Para los 10 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b>					
El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca menor desgaste en el BF <sub>4</sub> .					

**3.1.8.6. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI/SAE 4140, comparación de experimentos E02, E04 y E06 (50 minutos de mecanizado)**

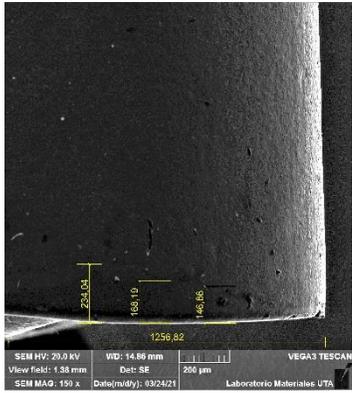
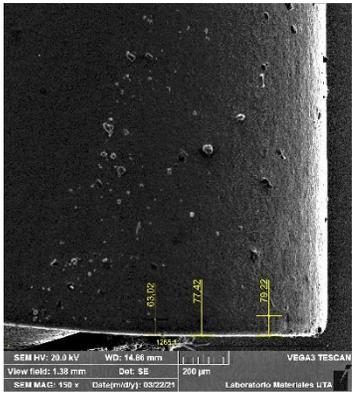
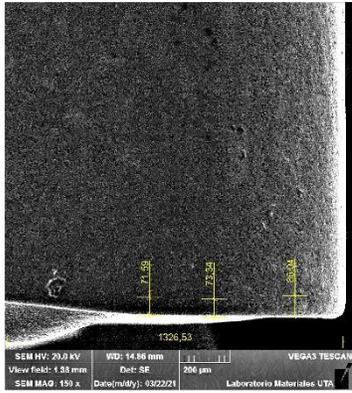
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
<b>REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	Experimental		<b>Ítem</b>	B	
<b>Fecha de ejecución</b>	22/03/2021				
<b>Lugar de estudio</b>	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>	Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
	Guamán Pablo				
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>					
<b>Material</b>	Acero AISI/SAE 4140				
<b>Herramienta de corte</b>	CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>	Acabado				
<b>Tiempo de mecanizado</b>	50 minutos				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1473 - 235	1473 - 235	0,4	0,8	0-480	0-2
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL</b>					
<b>SECO</b>		<b>MQL + 1% BF<sub>4</sub></b>		<b>MQL + 1% PF<sub>6</sub></b>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 234,040 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 183,030 um	Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 79,220 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 73,220 um	Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 86,040 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 76,990 um			
<b>Conclusión:</b> Para los 10 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b> El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca menor desgaste en el BF <sub>4</sub> .					

Tabla 15 Desgaste de flanco promedio y máximo (um) en E01, E03 y E05 en función del tiempo.

Tiempo de mecanizado (min)	E02 235 m/min 0,1 mm/rev Seco		E04 235 m/min 0,1 mm/rev MQL+1%BF4		E06 235 m/min 0,1 mm/rev MQL+1%PF6	
	VBb máx.	VB	VBb máx.	VB	VBb máx.	VB
10	78,18	67,910	52,21	47,410	50,58	46,460
20	125,42	112,830	60,05	57,307	75,86	66,667
30	234,04	183,030	79,22	73,220	86,04	76,990

Fuente: Autores

En la tabla 15 se presentan los valores obtenidos de desgaste máximo y desgaste promedio en el acero AISI/SAE 4140 en los experimentos E02, E04 y E06, al igual que en la comparación anterior, el parámetro que se varió de estos experimentos fue el método de lubricación, Seco, MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>, respectivamente, además estos experimentos utilizan 235 m/min como velocidad de corte. En la figura 55 se presenta la evolución del desgaste a través del tiempo, siendo los experimentos que cuentan con los líquidos iónicos como aditivos lubricantes los que tienen valores de desgaste más bajos.

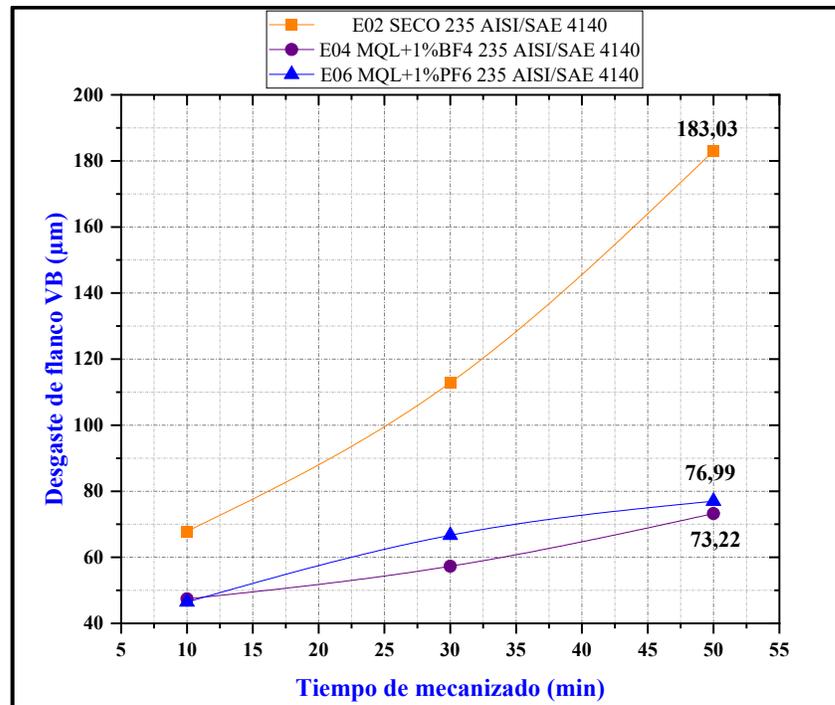


Fig. 55 Comparación del desgaste del flanco a diferente tiempo (E02, E04 y E06) AISI/SAE 4140

Fuente: Autores

En la figura 56 se muestra la proyección del desgaste de flanco para los experimentos E02, E04 y E06, para estos dos últimos, es evidente el aumento de vida útil de la herramienta de corte, pues, el experimento E04 que utiliza MQL + 1%BF<sub>4</sub> como sistema de lubricación alcanza el criterio de desgaste promedio máximo establecido por la norma ANSI/ASME B94.55M (0,3 mm) a los 181 minutos de mecanizado, además el experimento E06 que utiliza MQL + 1%PF<sub>6</sub> alcanza este criterio a los 156 minutos de mecanizado, en cambio a los 70 minutos de mecanizado el experimento E01 tiene un desgaste de 301,962  $\mu\text{m}$ . Por ello se demuestra que los experimentos que cuentan con los líquidos iónicos como aditivos lubricantes en el mecanizado del acero AISI/SAE 4140 con una velocidad de 235 m/min son más beneficiosos en comparación con el mecanizado en seco, ya que, la herramienta de corte se desgasta en un tiempo más prolongado.

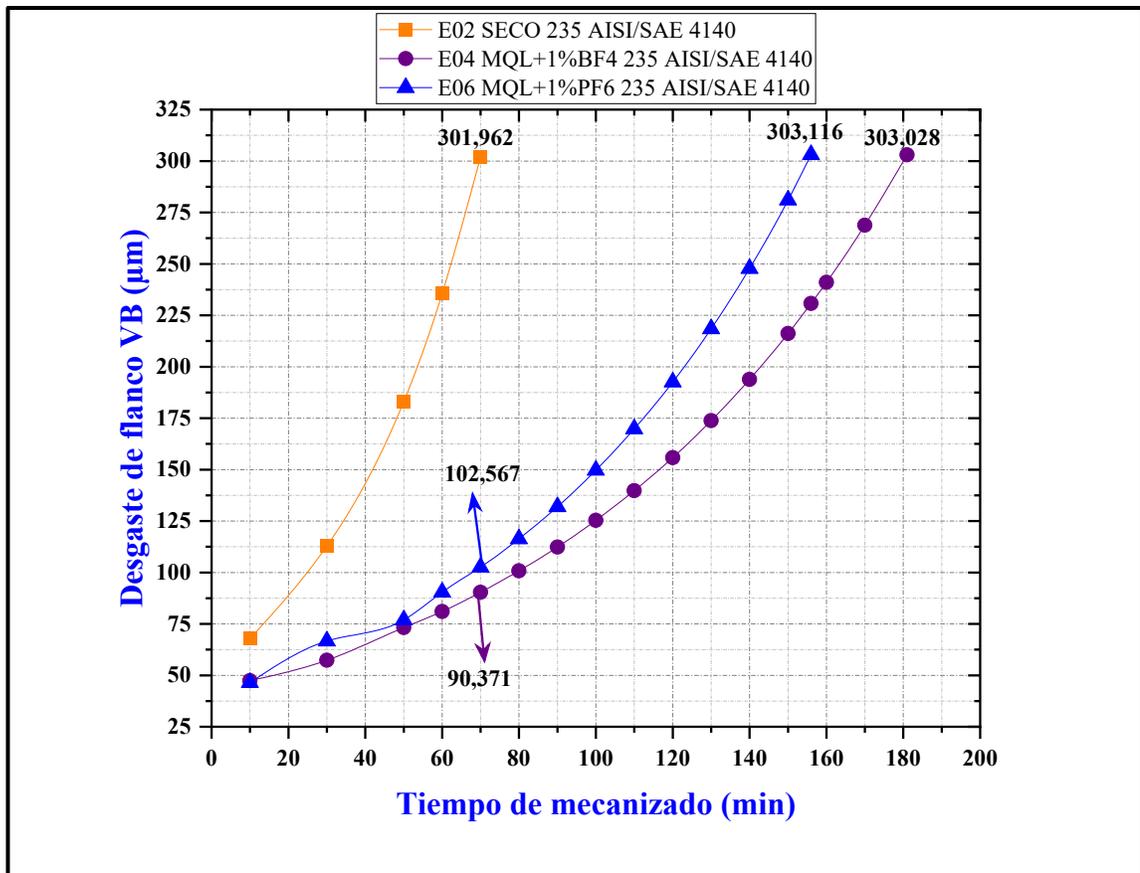
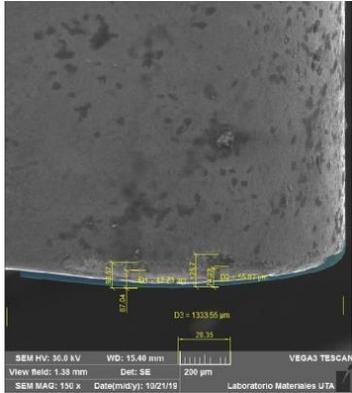
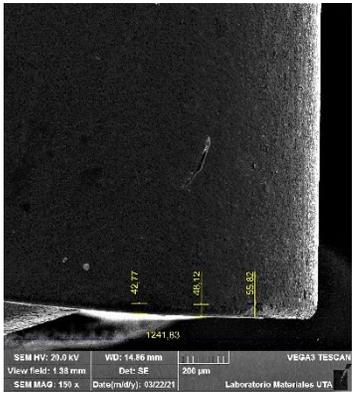
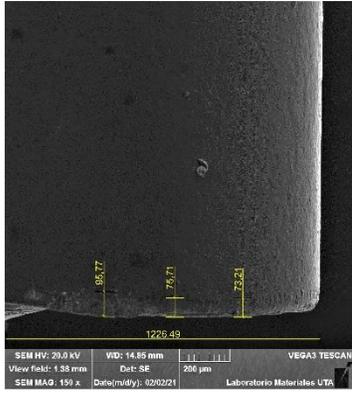


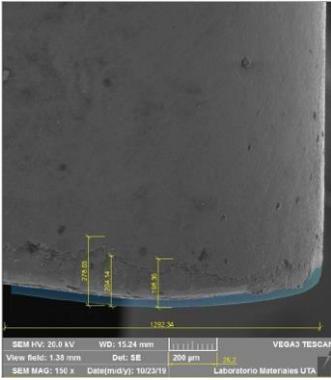
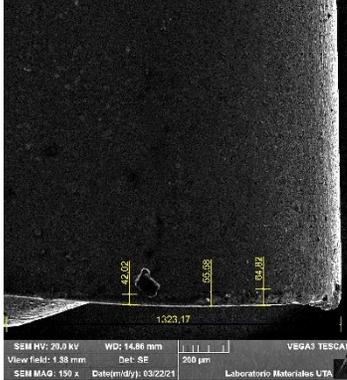
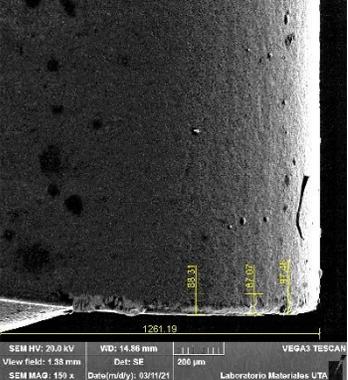
Fig. 56 Proyección del desgaste de flanco para los experimentos E02, E04 y E06 AISI/SAE 4140

Fuente: Autores

**3.1.8.7. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E07, E09 y E11 (10 minutos de mecanizado)**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	Experimental		<b>Ítem</b>	B	
<b>Fecha de ejecución</b>	11/03/2021				
<b>Lugar de estudio</b>	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>	Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
	Guamán Pablo				
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>					
<b>Material</b>	Acero inoxidable 304				
<b>Herramienta de corte</b>	CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>	Acabado				
<b>Tiempo de mecanizado</b>	10 minutos				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	0-480	0-2
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL</b>					
SECO		MQL + 1% BF <sub>4</sub>		MQL + 1% PF <sub>6</sub>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 125,70 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 98,83 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 55,820 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 48,903 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 95,770 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 81,563 um	
<b>Conclusión:</b> Para los 10 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b> El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca el menor desgaste en el BF <sub>4</sub> .					

**3.1.8.8. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E07, E09 y E11 (30 minutos de mecanizado)**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
DATOS INFORMATIVOS					
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>	
<b>Fecha de ejecución</b>		22/03/2021			
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM			
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	
		Guamán Pablo		Ing. Diego Núñez	
Parámetros de tornado y lubricación					
<b>Material</b>		Acero inoxidable 304			
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025			
<b>Tipo de operación</b>		Acabado			
<b>Tiempo de mecanizado</b>		30 minutos			
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	0-480	0-2
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
<b>SECO</b>		<b>MQL + 1% BF<sub>4</sub></b>		<b>MQL + 1% PF<sub>6</sub></b>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 278,650 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 227,050 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 64,820 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 54,140 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 97,460 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 90,947 um	
<b>Conclusión:</b> Para los 10 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b> El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca menor desgaste en el BF <sub>4</sub> .					

**3.1.8.9. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos en E07, E09 y E11 (50 minutos de mecanizado)**

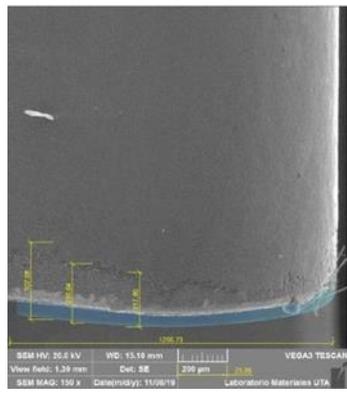
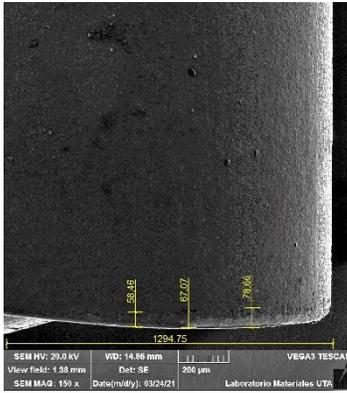
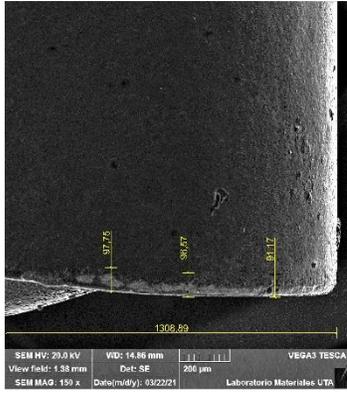
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  </div>						
<b>REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>Tipo de estudio</b>	Experimental		<b>Ítem</b>	B		
<b>Fecha de ejecución</b>	24/03/2021					
<b>Lugar de estudio</b>	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM					
<b>Realizado por:</b>	Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez		
	Guamán Pablo					
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>						
<b>Material</b>	Acero AISI/SAE 4140					
<b>Herramienta de corte</b>	CNMG120408 MF 2025					
<b>Tipo de operación</b>	Acabado					
<b>Tiempo de mecanizado</b>	50 minutos					
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>	
1222 - 195	122,2 – 0,1	0,4	0,8	0-480	0-2	
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL</b>						
<b>SECO</b>		<b>MQL + 1% BF<sub>4</sub></b>		<b>MQL + 1% PF<sub>6</sub></b>		
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	
						
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 307,680 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 254,060 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 78,660 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 68,063 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 97,750 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 95,163 um		
<b>Conclusión:</b> Para los 10 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.						
<b>Observación:</b> El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca menor desgaste en el BF <sub>4</sub> .						

Tabla 16 Desgaste de flanco promedio y máximo (um) en E07, E09 y E11 en función del tiempo.

Tiempo de mecanizado (min)	E07 195 m/min 0,1 mm/rev Seco		E09 195 m/min 0,1 mm/rev MQL+1%BF4		E11 195 m/min 0,1 mm/rev MQL+1%PF6	
	VBb máx.	VB	VBb máx.	VB	VBb máx.	VB
10	125,7	98,833	55,82	48,903	95,77	81,563
30	278,65	227,050	64,82	54,140	97,46	90,947
50	307,68	254,060	78,66	68,063	97,75	95,163

Fuente: Autores

Al igual que en los primeros 6 experimentos que utilizan al acero AISI/SAE 4140 como material para el mecanizado, en los últimos 6 experimentos se utiliza acero inoxidable AISI 304 y los parámetros que se variaron fueron el sistema de lubricación y la velocidad de corte. En la tabla 16 se presentan los valores obtenidos de desgaste máximo y desgaste promedio en el acero inoxidable AISI 304 en los experimentos E07, E09 y E11, los valores presentados en el experimento E07 fueron recolectados de [21], investigación que cuenta con el mecanizado en seco de este acero a las mismas condiciones.

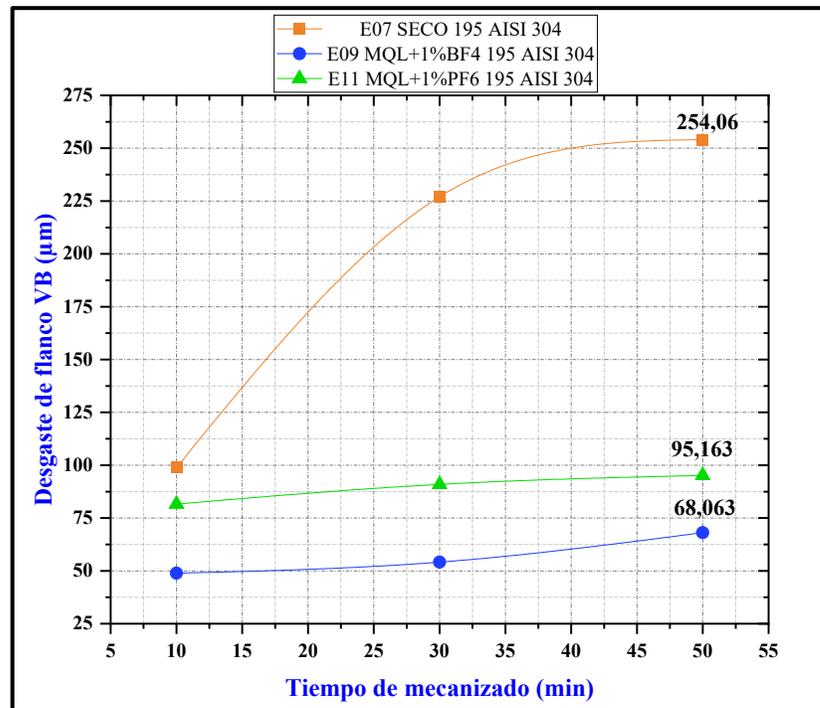


Fig. 57 Comparación del desgaste del flanco a diferente tiempo (E07, E09 y E11) AISI 304

Fuente: Autores

En la figura 57 se puede apreciar la tendencia del desgaste desde los 10 a los 50 minutos de mecanizado en los experimentos E07, E09 y E11, en estos tres experimentos se aplicó la misma velocidad de corte, 195 m/min, mientras que el sistema de lubricación fue distinto, Seco, MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>, respectivamente, en esta figura también se muestra que los experimentos que tienen a los líquidos iónicos como aditivos lubricantes tienen valores de desgaste más bajos en comparación con el mecanizado en seco del experimento E07. En la figura 58 se presenta la proyección de los valores del desgaste promedio hasta que estos experimentos alcancen el criterio de desgaste promedio máximo establecido por la norma ANSI/ASME B94.55M (0,3 mm), el experimento E07 alcanza dicho criterio a los 72 minutos de mecanizado, mientras que el experimento E09 a los 232 minutos y E11 a los 342 minutos, demostrando así que los líquidos iónicos incrementan la vida útil de la herramienta de corte.

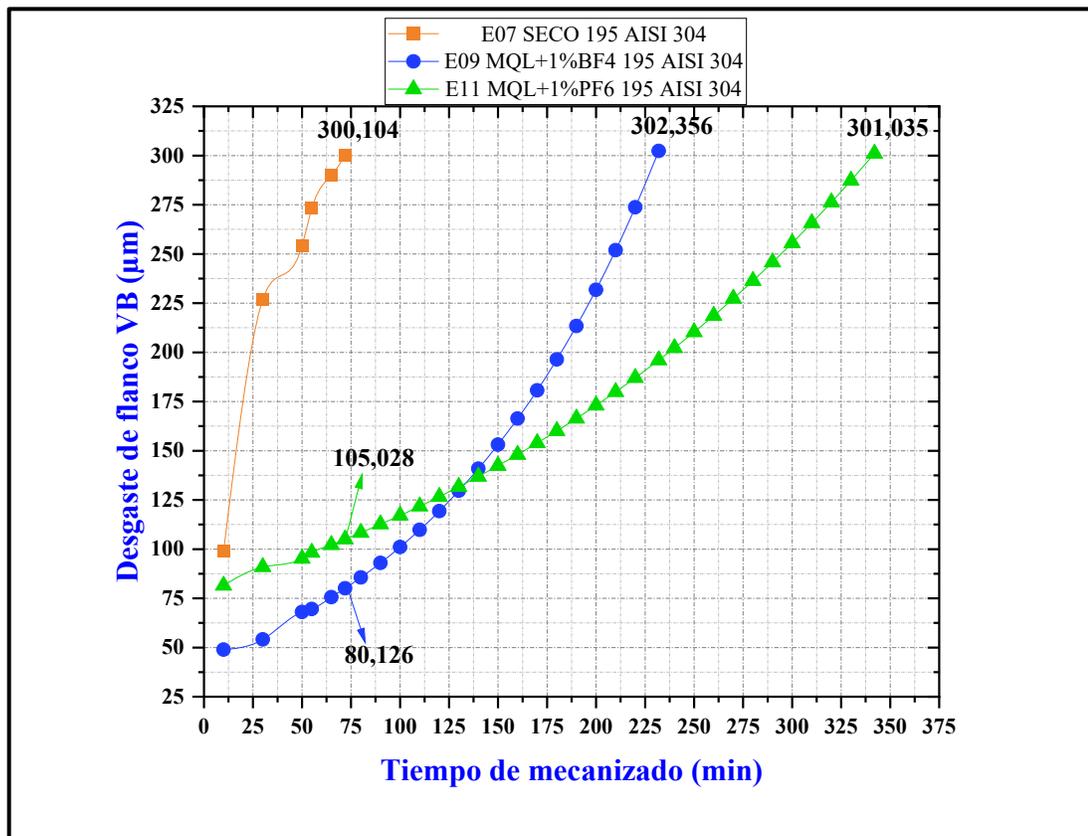
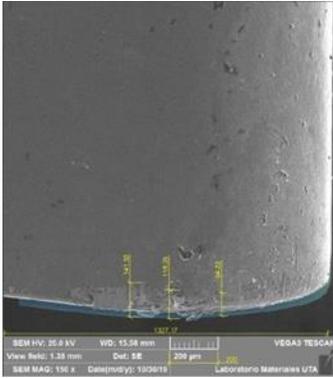
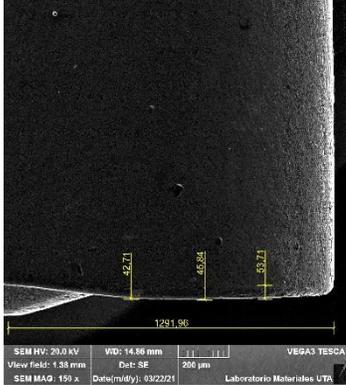
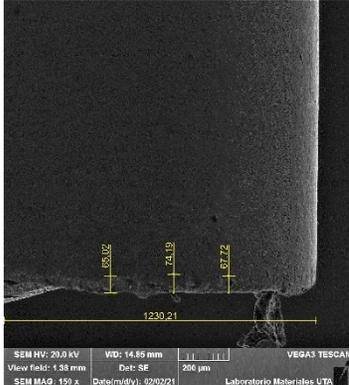


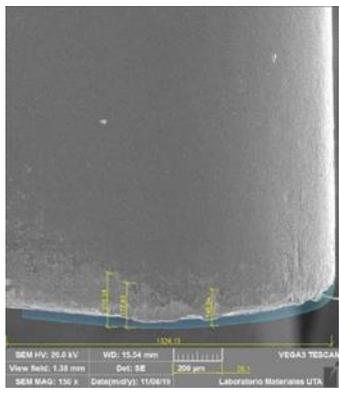
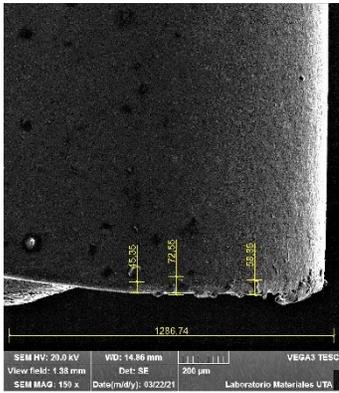
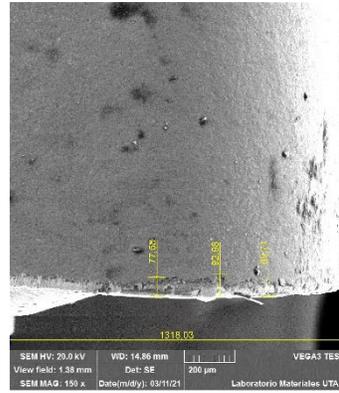
Fig. 58 Proyección del desgaste de flanco para los experimentos SECO, E07 y E09 AISI 304

Fuente: Autores

**3.1.8.10. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E08, E10 y E12 (10 minutos de mecanizado)**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
DATOS INFORMATIVOS					
<b>Tipo de estudio</b>	Experimental		<b>Ítem</b>	B	
<b>Fecha de ejecución</b>	11/03/2021				
<b>Lugar de estudio</b>	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>	Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
	Guamán Pablo				
Parámetros de tornado y lubricación					
<b>Material</b>	Acero inoxidable 304				
<b>Herramienta de corte</b>	CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>	Acabado				
<b>Tiempo de mecanizado</b>	10 minutos				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1473 - 235	1473 - 235	0,4	0,8	0-480	0-2
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO		MQL + 1% BF <sub>4</sub>		MQL + 1% PF <sub>6</sub>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 141,320 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 117,930 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 53,710 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 47,420 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 74,190 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 68,977 um	
<b>Conclusión:</b> Para los 10 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b> El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca el menor desgaste en el BF <sub>4</sub> .					

**3.1.8.11. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E08, E10 y E12 (30 minutos de mecanizado)**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
<b>REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	Experimental		<b>Ítem</b>	B	
<b>Fecha de ejecución</b>	22/03/2021				
<b>Lugar de estudio</b>	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM				
<b>Realizado por:</b>	Albán Daniel		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
	Guamán Pablo				
<b>Parámetros de tornado y lubricación</b>					
<b>Material</b>	Acero inoxidable 304				
<b>Herramienta de corte</b>	CNMG120408 MF 2025				
<b>Tipo de operación</b>	Acabado				
<b>Tiempo de mecanizado</b>	30 minutos				
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1473 - 235	1473 - 235	0,4	0,8	0-480	0-2
<b>REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL</b>					
<b>SECO</b>		<b>MQL + 1% BF<sub>4</sub></b>		<b>MQL + 1% PF<sub>6</sub></b>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 216,300 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 180,360 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 72,550 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 58,750 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 92,980 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 80,090 um	
<b>Conclusión:</b>					
Para los 30 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b>					
El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca menor desgaste en el BF <sub>4</sub> .					

3.1.8.12. Ficha de registro de datos de desgaste de flanco AISI 304, comparación de experimentos E08, E10 y E12 (50 minutos de mecanizado)

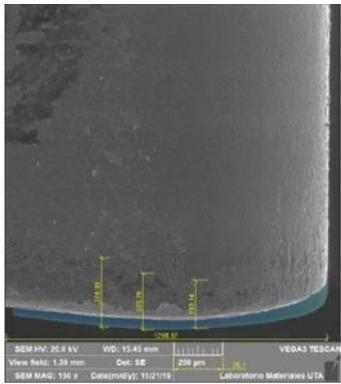
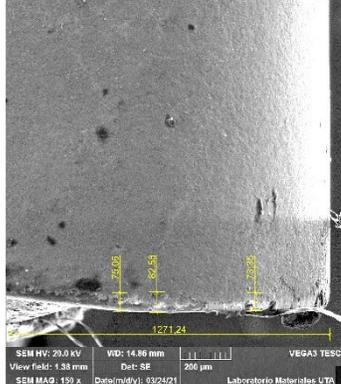
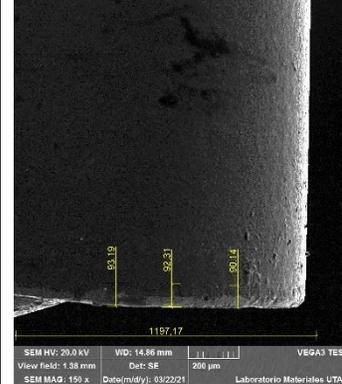
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
REPORTE DE DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA					
DATOS INFORMATIVOS					
<b>Tipo de estudio</b>		Experimental		<b>Ítem</b>	
<b>Fecha de ejecución</b>		24/03/2021			
<b>Lugar de estudio</b>		Universidad Técnica de Ambato Laboratorio FICM			
<b>Realizado por:</b>		Albán Daniel Guamán Pablo		<b>Revisado por:</b>	
				Ing. Diego Núñez	
Parámetros de tornado y lubricación					
<b>Material</b>		Acero AISI/SAE 4140			
<b>Herramienta de corte</b>		CNMG120408 MF 2025			
<b>Tipo de operación</b>		Acabado			
<b>Tiempo de mecanizado</b>		50 minutos			
<b>n (rpm) – Vc (m/min)</b>	<b>Vf (mm/min) – fn (mm/rev)</b>	<b>Ap (mm)</b>	<b>Radio de punta del inserto (mm)</b>	<b>Caudal lubricante (ml/h)</b>	<b>Presión de aire comprimido (bar)</b>
1473 - 235	1473 - 235	0,4	0,8	0-480	0-2
REGISTRO DE MEDICIÓN GENERAL					
SECO		MQL + 1% BF <sub>4</sub>		MQL + 1% PF <sub>6</sub>	
<b>Lubricante</b>	No utilizado	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP	<b>Lubricante</b>	Coolube 2210 EP
					
Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 279,330 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 239,767 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 82,580 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 76,997 um		Desgaste máximo en el ancho del flanco ( <b>VBb máx</b> ) = 93,190 um Desgaste promedio en el ancho del flanco ( <b>VB</b> ) = 91,880 um	
<b>Conclusión:</b> Para los 50 minutos de mecanizado en estos experimentos el desgaste del filo en la zona media del flanco no sobrepasa el desgaste promedio y desgaste máximo, 300 um y 600 um respectivamente, valores establecidos por la norma ANSI/ASME B94.55M.					
<b>Observación:</b> El mayor desgaste se registra en el flanco en donde no se cuenta con un fluido de trabajo para realizar el mecanizado (seco), debido a que, se genera una mayor fricción y se desprende el recubrimiento más fácilmente, entre las condiciones de los líquidos iónicos se destaca menor desgaste en el BF <sub>4</sub> .					

Tabla 17 Desgaste de flanco promedio y máximo (um) en E01, E07 y E09 en función del tiempo.

Tiempo de mecanizado (min)	E08 235 m/min 0,1 mm/rev Seco		E10 235 m/min 0,1 mm/rev MQL+1%BF4		E12 235 m/min 0,1 mm/rev MQL+1%PF6	
	VBb máx.	VB	VBb máx.	VB	VBb máx.	VB
10	141,32	117,93	53,71	47,42	74,19	68,977
30	216,3	180,360	72,55	58,750	92,98	80,09
50	279,33	239,767	82,58	76,997	93,19	91,88

Fuente: Autores

En la tabla 17 se muestran los resultados obtenidos de desgaste máximo y desgaste promedio en los experimentos E08, E10 y E12, con una velocidad de corte de 235 m/min, al igual que en el caso anterior los valores correspondientes al mecanizado en seco fueron recolectados de [21], investigación que cuenta con estos resultados a los mismos parámetros, valores que corresponden al experimento E08, así mismo se varió el sistema de lubricación utilizando mecanizado en Seco, MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>, respectivamente para estos experimentos.

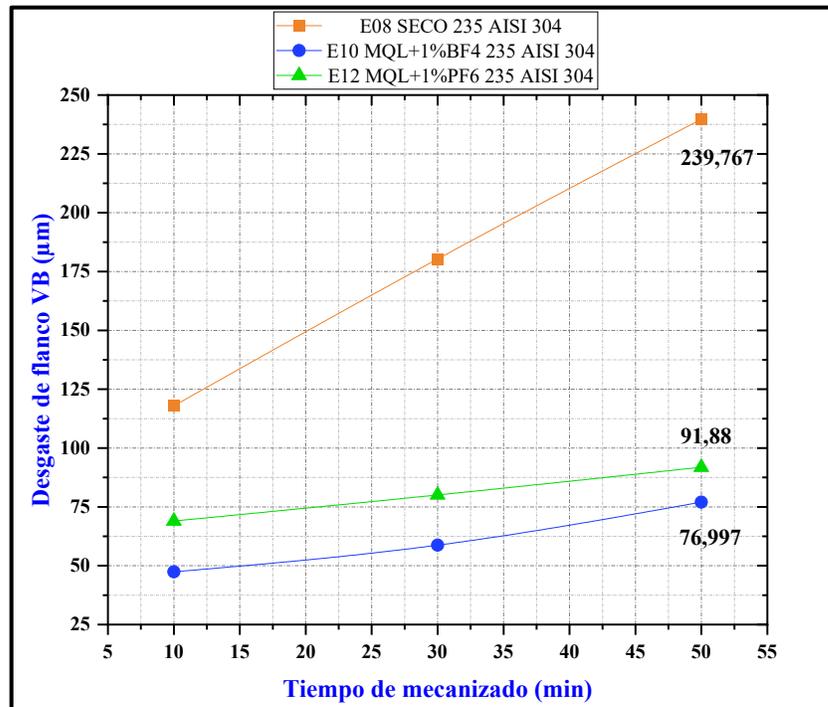


Fig. 59 Comparación del desgaste del flanco a diferente tiempo (SECO, E08 y E10) AISI 304

Fuente: Autores

En la figura 59 se muestra la evolución del desgaste de flanco en los experimentos E08, E10 y E12, para estos dos últimos experimentos el desgaste en la herramienta presenta valores más bajos, en el tiempo, en comparación con el experimento E08 que no utiliza un sistema de lubricación. En la figura 60 se representa la proyección del desgaste de la herramienta a través del tiempo para estos experimentos, en donde el experimento E08 alcanza el criterio de desgaste promedio máximo establecido por la norma ANSI/ASME B94.55M a los 130 minutos de mecanizado, mientras que los experimentos que cuentan con líquidos iónicos como aditivos lubricantes, E10 y E12, alcanzan este criterio a los 164 y 214 minutos de mecanizado, respectivamente, demostrando así que este sistema de lubricación en el mecanizado incrementa la vida útil de la herramienta de corte.

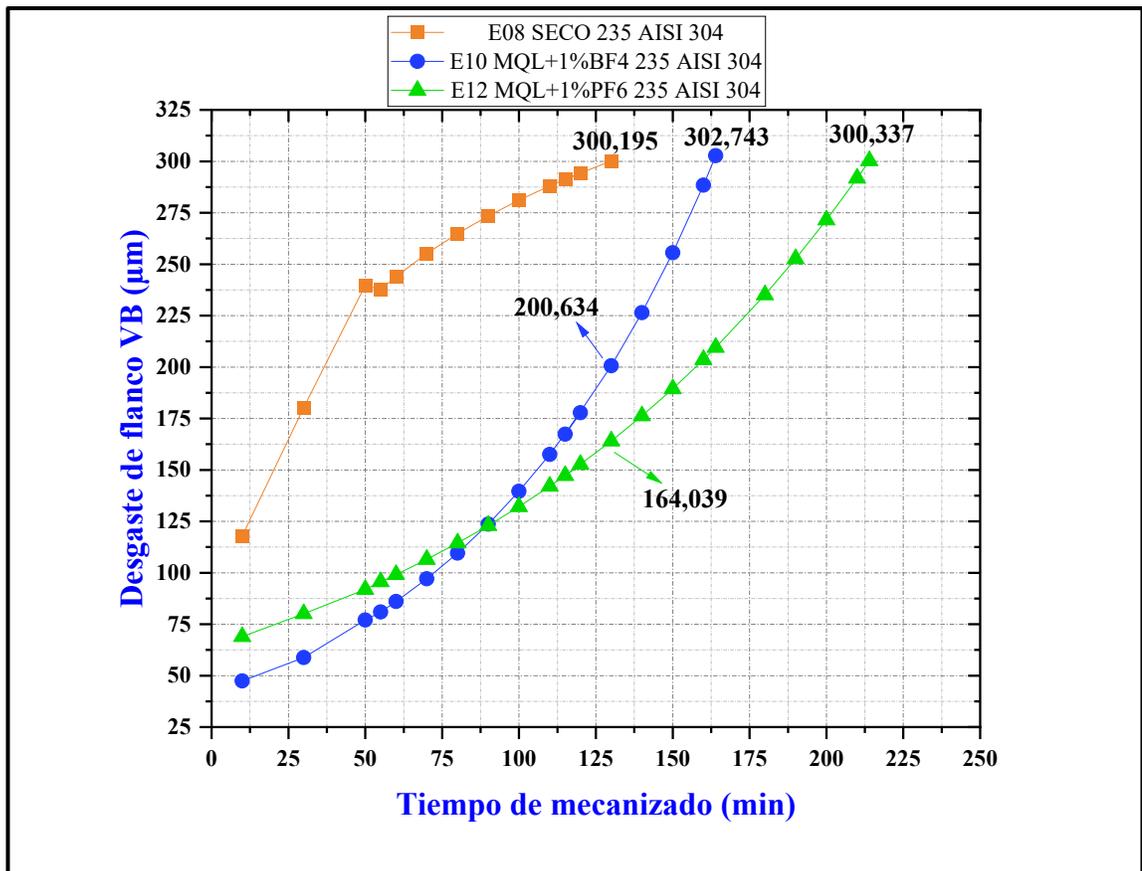


Fig. 60 Proyección del desgaste de flanco para los experimentos SECO, E08 y E10 AISI 304

Fuente: Autores

### 3.1.9. Ecuación de Taylor en la vida útil de la herramienta de corte para el mecanizado del acero AISI/SAE 4140

La relación de Taylor predice la vida útil de la herramienta de corte, como se mencionó en el capítulo 1 en el punto 1.4.4.2., la ecuación de Taylor está en función de la velocidad de mecanizado y tiempo en el cual a dicha velocidad la herramienta de corte alcanza su desgaste promedio máximo. La norma ANSI/ASME B94.55M en su apéndice “F 2.2 Cálculos” establece la relación de Taylor definida por la ecuación 5, la cual está en función de dos parámetros, de la velocidad de corte y tiempo de mecanizado, ya mencionados, además de dos constantes  $k$  y  $C$ , que son definidas por esta misma norma a través de las ecuaciones 6 y 7, respectivamente.

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

$$k = \frac{\sum xy - \left(\frac{\sum x \cdot \sum y}{n}\right)}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (6)$$

$$\log C = \bar{x} - \frac{\bar{y}}{k} \quad (7)$$

Donde:

- $V_c$  Velocidad de corte.
- $T$  Tiempo de mecanizado.
- $C$  y  $k$  Constantes calculadas en función de las condiciones de corte del proceso.
- $n$  es el número de pruebas realizadas a diferentes parámetros en el mecanizado.
- $x$  valor del logaritmo de la Velocidad de corte.
- $y$  valor del logaritmo del Tiempo de mecanizado.

Desde la tabla 18 a la 23 se presentan los factores calculados para la obtención de las constantes C y k de la ecuación de Taylor para los diferentes sistemas de lubricación considerados en los experimentos de desgaste de la herramienta de corte, Seco, MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>, considerando también el número de pruebas de cada sistema correspondiente a la variación de la velocidad de corte 195 m/min y 235 m/min.

Tabla 18 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado en seco

<b>TORNEADO EN SECO ACERO AISI/SAE 4140</b>							
<b>N° de prueba</b>	<b>Vc</b>	<b>t</b>	<b>x = logVc</b>	<b>y = log(t)</b>	<b>xy</b>	<b>x<sup>2</sup></b>	<b>y<sup>2</sup></b>
1	195	117,527	2,290	2,07	4,74	5,244	4,285
2	235	69,739	2,371	1,843	4,37	5,622	3,397
<b>Σ</b>			<b>4,661</b>	<b>3,913</b>	<b>9,110</b>	<b>10,866</b>	<b>7,682</b>

Fuente: Autores

Tabla 19 Resultados de las constantes C y k (Seco – AISI/SAE 4140)

<b>(Σx)<sup>2</sup></b>	21,725
<b>Σx.Σy</b>	18,238
<b>((Σx)<sup>2</sup> /n</b>	10,863
<b>(Σx Σy) /n</b>	9,119
<b><math>\bar{x} = \Sigma x/n</math></b>	2,331
<b><math>\bar{y} = \Sigma y/n</math></b>	1,957
<b>k</b>	<b>-2,571</b>
<b>LogC</b>	3,091
<b>C</b>	<b>1233,105</b>

Fuente: Autores

Tabla 20 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado con MQL+1%PF<sub>6</sub>

<b>TORNEADO CON MQL + 1%PF6 ACERO AISI/SAE 4140</b>							
<b>N° de prueba</b>	<b>Vc</b>	<b>t</b>	<b>x = logVc</b>	<b>y = log(t)</b>	<b>xy</b>	<b>x<sup>2</sup></b>	<b>y<sup>2</sup></b>
1	195	245,318	2,290	2,39	5,473	5,244	5,712
2	235	155,201	2,371	2,191	5,195	5,622	4,8
<b>Σ</b>			<b>4,661</b>	<b>4,581</b>	<b>10,668</b>	<b>10,866</b>	<b>10,512</b>

Fuente: Autores

Tabla 21 Resultados de las constantes C y k (MQL+1%PF<sub>6</sub> – AISI/SAE 4140)

$(\Sigma x)^2$	21,725
$\Sigma x.\Sigma y$	21,352
$((\Sigma x)^2)/n$	10,863
$(\Sigma x \Sigma y)/n$	10,676
$\bar{x} = \Sigma x/n$	2,331
$\bar{y} = \Sigma y/n$	2,291
<b>k</b>	<b>-2,286</b>
<b>LogC</b>	3,333000
<b>C</b>	<b>2,15X10<sup>3</sup></b>

Fuente: Autores

Tabla 22 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado con MQL+1%BF<sub>4</sub>

TORNEADO CON MQL + 1%BF <sub>4</sub> ACERO AISI/SAE 4140							
N° de prueba	Vc	t	x = logVc	y = log(t)	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	195	224,725	2,290	2,352	5,386	5,244	5,532
2	235	180,100	2,371	2,256	5,349	5,622	5,09
<b>Σ</b>			<b>4,661</b>	<b>4,608</b>	<b>10,735</b>	<b>10,866</b>	<b>10,622</b>

Fuente: Autores

Tabla 23 Resultados de las constantes C y k (MQL+1%BF<sub>4</sub> – AISI/SAE 4140)

$(\Sigma x)^2$	21,725
$\Sigma x.\Sigma y$	21,478
$((\Sigma x)^2)/n$	10,863
$(\Sigma x \Sigma y)/n$	10,739
$\bar{x} = \Sigma x/n$	2,331
$\bar{y} = \Sigma y/n$	2,304
<b>k</b>	<b>-1,143</b>
<b>LogC</b>	4,346
<b>C</b>	<b>22181,964</b>

Fuente: Autores

### ***Ecuación de Taylor para el mecanizado en seco del acero AISI/SAE 4140***

Reemplazando los valores obtenidos en la tabla 19 de las constantes C y k de la ecuación de Taylor, -2,571 y 1233,105 respectivamente, se obtiene el modelo matemático que define la vida útil de la herramienta en minutos en función de la velocidad de corte para el mecanizado en seco del acero AISI/SAE 4140.

$$V_c T^{\frac{1}{2,571}} = 1233,105$$

***Ecuación de Taylor para el mecanizado con MQL+1%PF<sub>6</sub> del acero AISI/SAE 4140***

En la tabla 21 se muestra los resultados obtenidos de las constantes C el cual es  $2,15 \times 10^3$  mientras que k es -2,286, estos valores al ser reemplazados en la ecuación de Taylor dan como resultado la obtención del modelo matemático que define la vida útil de la herramienta de corte en el mecanizado del acero AISI/SAE 4140 con MQL + 1%PF<sub>6</sub>.

$$V_c T^{\frac{1}{2,286}} = 2,15 \times 10^3$$

***Ecuación de Taylor para el mecanizado con MQL+1%BF<sub>4</sub> del acero AISI/SAE 4140***

Al igual que en el caso anterior, al reemplazar los valores obtenidos de las constantes C y k de la ecuación de Taylor que se encuentran en la tabla 23 los cuales son 22181,964 y -1,143, da como resultado el modelo matemático que define la vida útil de la herramienta de corte para el mecanizado utilizando el sistema de lubricación MQL + 1%BF<sub>4</sub> en el acero AISI/SAE 4140.

$$V_c T^{\frac{1}{1,143}} = 22181,964$$

Se puede predecir la vida útil de la herramienta de corte en el mecanizado del acero AISI/SAE 4140 despejando el tiempo de corte (T<sub>c</sub>) de los modelos matemáticos, antes mencionados, para todos los sistemas de lubricación analizados, como son; el mecanizado en seco, con MQL + 1%PF<sub>6</sub> y con MQL + 1%BF<sub>4</sub>. En la tabla 22 se presenta una comparación de la vida útil de la herramienta de corte en minutos para estos 3 casos en donde se utiliza diferentes sistemas de lubricación, además se varía la velocidad de corte en intervalos de 5 m/min desde 195 m/min hasta 235 m/min.

Tabla 24 Comparación de la vida útil de la herramienta de corte, según la ecuación de Taylor para diferentes tipos de sistema de lubricación (Seco - MQL+1%PF<sub>6</sub> y MQL+1%BF<sub>4</sub>) AISI/SAE 4140

Velocidad de corte (Vc)	SECO	MQL+1%PF <sub>6</sub>	MQL+1%BF <sub>4</sub>
	Tiempo de mecanizado (min)	Tiempo de mecanizado (min)	Tiempo de mecanizado (min)
195	114,716	242,059	223,705
200	107,486	228,449	217,324
205	100,873	215,912	211,277
210	94,812	204,341	205,538
215	89,246	193,641	200,084
220	84,123	183,729	194,896
225	79,399	174,529	189,954
230	75,036	165,978	185,242
235	70,999	158,016	180,745
240	67,258	150,592	176,448
245	63,785	143,660	172,338
250	60,556	137,177	168,405
255	57,549	131,106	164,636
260	54,746	125,414	161,023
265	52,129	120,071	157,555
270	49,683	115,049	154,225
275	47,393	110,324	151,025
280	45,247	105,872	147,947
285	43,234	101,674	144,984
290	41,343	97,712	142,131
295	39,565	93,968	139,381
300	37,892	90,426	136,729

Fuente: Autores

En la tabla 24 se evidencia, en el torneado del acero AISI/SAE 4140, a una mayor velocidad de corte la vida útil de la herramienta se reduce considerablemente para los tres casos, para el mecanizado en seco en la velocidad de 195 m/min se obtiene un tiempo de vida útil de 114,716 minutos mientras que con una velocidad de 235 m/min se obtiene 70,999 minutos tiempo de vida útil de la herramienta de corte, sin embargo para los sistemas de lubricación que utilizan a los líquidos iónicos como aditivos en el aceite lubricante MQL + 1%PF<sub>6</sub> y MQL + 1%BF<sub>4</sub> el tiempo de vida útil de la herramienta de corte aumenta al aplicar estas mismas velocidades.

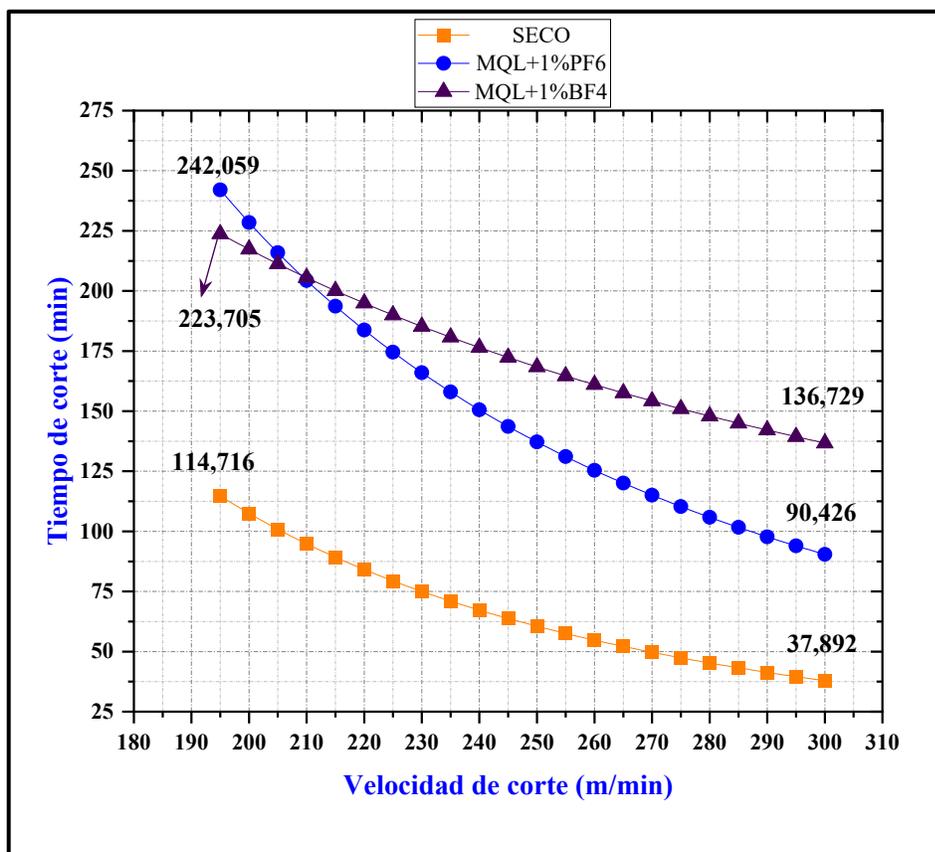


Fig. 61 Comparación de la vida útil de la herramienta de corte, según la ecuación de Taylor para diferentes tipos de sistema de lubricación (Seco - MQL+1%PF<sub>6</sub> y MQL+1%BF<sub>4</sub>) AISI/SAE 4140

Fuente: Autores

En la figura 61 se muestran tres líneas de tendencia, de los valores obtenidos en la tabla 22, siendo la de color naranja la representación de la vida útil de la herramienta de corte con un torneado en seco, mientras que la línea de tendencia azul y morado representan el tiempo de vida útil con la utilización de sistemas de lubricación diferentes MQL + 1%PF<sub>6</sub> y MQL + 1%BF<sub>4</sub>. En los tres casos la curva de tendencia es decreciente con el eje y, demostrando así que mientras más es la velocidad de corte el tiempo de vida útil es menor, no obstante, las líneas de tendencia de color azul y morado se presentan mucho más arriba que la línea de mecanizado en seco siendo evidente la mejoría de los líquidos iónicos como aditivos lubricantes en la vida útil de la herramienta de corte, ya que, el sistema de lubricación con MQL + 1%PF<sub>6</sub> tiene un 53,84% de mejora en comparación al mecanizado en seco, y también se registra un 54,72% de mejora en la lubricación con MQL + 1%BF<sub>4</sub>.

### 3.1.10. Ecuación de Taylor en la vida útil de la herramienta de corte para el mecanizado del acero inoxidable AISI 304

Al igual que en el análisis del torneado del acero AISI/SAE 4140 del caso anterior, para poder predecir el tiempo de vida útil de la herramienta de corte en el torneado del acero inoxidable AISI 304 se utilizó la relación de Taylor y sus constantes presentadas en las ecuaciones 5,6 y 7 definidas por la norma ANSI/ASME B94.55M en su apéndice “F 2.2 Cálculos”. Desde la tabla 25 a la 30 se representan los factores para el cálculo de las variables C y k de la ecuación de Taylor en cada uno de los sistemas de lubricación utilizados para el torneado del acero AISI 304, Seco, con MQL + 1%BF<sub>4</sub> y con MQL + 1%PF<sub>6</sub>.

Tabla 25 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado en seco.

<b>TORNEADO EN SECO ACERO AISI 304</b>							
<b>N° de prueba</b>	<b>Vc</b>	<b>t</b>	<b>x = logVc</b>	<b>y = log(t)</b>	<b>xy</b>	<b>x<sup>2</sup></b>	<b>y<sup>2</sup></b>
1	195	71,925	2,290	1,857	4,253	5,244	3,448
2	235	129,652	2,371	2,113	5,01	5,622	4,465
<b>Σ</b>			<b>4,661</b>	<b>3,970</b>	<b>9,263</b>	<b>10,866</b>	<b>7,913</b>

Fuente: Autores

Tabla 26 Resultados de las constantes C y k (Seco – AISI 304)

<b>(Σx)<sup>2</sup></b>	21,725
<b>Σx.Σy</b>	18,504
<b>((Σx)<sup>2</sup> /n</b>	10,863
<b>(Σx Σy) /n</b>	9,252
<b><math>\bar{x} = \Sigma x/n</math></b>	2,331
<b><math>\bar{y} = \Sigma y/n</math></b>	1,985
<b>k</b>	<b>-3,143</b>
<b>LogC</b>	2,962
<b>C</b>	<b>916,220</b>

Fuente: Autores

Tabla 27 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado con MQL+1%PF<sub>6</sub>

<b>TORNEADO CON MQL + 1%PF<sub>6</sub> ACERO AISI 304</b>							
N° de prueba	Vc	t	x = logVc	y = log(t)	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	195	341,117	2,290	2,533	5,801	5,244	6,416
2	235	213,845	2,371	2,33	5,524	5,622	5,429
<b>Σ</b>			<b>4,661</b>	<b>4,863</b>	<b>11,325</b>	<b>10,866</b>	<b>11,845</b>

Fuente: Autores

Tabla 28 Resultados de las constantes C y k (MQL+1%PF<sub>6</sub> – AISI 304)

$(\Sigma x)^2$	21,725
$\Sigma x \cdot \Sigma y$	22,666
$((\Sigma x)^2) / n$	10,863
$(\Sigma x \Sigma y) / n$	11,333
$\bar{x} = \Sigma x / n$	2,331
$\bar{y} = \Sigma y / n$	2,432
<b>k</b>	<b>-2,286</b>
<b>LogC</b>	3,394000
<b>C</b>	<b>2,48X10<sup>3</sup></b>

Fuente: Autores

Tabla 29 Factores para el cálculo de las constantes C y k del torneado con MQL+1%BF<sub>4</sub>

<b>TORNEADO CON MQL + 1%BF<sub>4</sub> ACERO AISI 304</b>							
N° de prueba	Vc	t	x = logVc	y = log(t)	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	195	231,058	2,290	2,364	5,414	5,244	5,588
2	235	163,248	2,371	2,213	5,247	5,622	4,897
<b>Σ</b>			<b>4,661</b>	<b>4,577</b>	<b>10,661</b>	<b>10,866</b>	<b>10,485</b>

Fuente: Autores

Tabla 30 Resultados de las constantes C y k (MQL+1%BF<sub>4</sub> – AISI 304)

$(\Sigma x)^2$	21,725
$\Sigma x \cdot \Sigma y$	21,333
$((\Sigma x)^2) / n$	10,863
$(\Sigma x \Sigma y) / n$	10,667
$\bar{x} = \Sigma x / n$	2,331
$\bar{y} = \Sigma y / n$	2,289
<b>k</b>	<b>-1,571</b>
<b>LogC</b>	3,787
<b>C</b>	<b>6123,504</b>

Fuente: Autores

### ***Ecuación de Taylor para el mecanizado en seco del acero AISI 304***

Al reemplazar los valores obtenidos en la tabla 26 de las constantes C y k en la ecuación de Taylor se tiene como resultado un modelo matemático que define el tiempo de vida útil para el torneado en seco del acero AISI 304 en función de la velocidad y tiempo de corte, el cual se presenta a continuación.

$$VcT^{\frac{1}{3,143}} = 916,220$$

### ***Ecuación de Taylor para el mecanizado con MQL+1%PF<sub>6</sub> del acero AISI 304***

En la tabla 28 se encuentran los valores calculados correspondientes a las constantes C y k de la ecuación de Taylor,  $2,48 \times 10^3$  y -2,286 respectivamente, y al reemplazar estas constantes se obtiene el modelo matemático que define el tiempo de vida útil de la herramienta de corte para el torneado del acero AISI 304 utilizando a MQL+1%PF<sub>6</sub> como método de lubricación.

$$VcT^{\frac{1}{2,286}} = 2,48 \times 10^3$$

### ***Ecuación de Taylor para el mecanizado con MQL+1%BF<sub>4</sub> del acero AISI 304***

Como en el caso anterior, para la obtención de un modelo matemático que defina el tiempo de vida útil de la herramienta de corte para el mecanizado con MQL+1%BF<sub>4</sub> del acero AISI 304 se reemplazan los valores de la tabla 30 correspondientes a las constantes C y k en la ecuación de Taylor como se muestra a continuación.

$$VcT^{\frac{1}{1,571}} = 6123,504$$

Todos estos modelos matemáticos obtenidos anteriormente permiten predecir la vida útil de la herramienta de corte con los diferentes sistemas de lubricación analizados, Seco, con MQL + 1%BF<sub>4</sub> y con MQL + 1%PF<sub>6</sub>, una vez se despeje el tiempo de corte (Tc). En la tabla 29 se encuentra una comparación del tiempo de vida útil de la herramienta de corte en el torneado del acero AISI 304 con la utilización de los métodos de lubricación antes mencionados, además se incrementa la velocidad de corte de 195 a 300 m/min con intervalos de 5 m/min.

*Tabla 31 Comparación de la vida útil de la herramienta de corte, según la ecuación de Taylor para diferentes tipos de sistema de lubricación (Seco - MQL+1%PF<sub>6</sub> y MQL+1%BF<sub>4</sub>) AISI 304*

Velocidad de corte (Vc)	SECO	MQL+1%PF <sub>6</sub>	MQL+1%BF <sub>4</sub>
	Tiempo de mecanizado (min)	Tiempo de mecanizado (min)	Tiempo de mecanizado (min)
195	129,387	333,695	225,099
200	119,491	314,932	216,320
205	110,568	297,650	208,087
210	102,503	281,698	200,354
215	95,197	266,948	193,081
220	88,561	253,283	186,230
225	82,522	240,601	179,768
230	77,014	228,812	173,665
235	71,980	217,836	167,894
240	67,372	207,602	162,431
245	63,144	198,045	157,252
250	59,260	189,107	152,338
255	55,684	180,739	147,671
260	52,387	172,892	143,233
265	49,343	165,526	139,009
270	46,528	158,603	134,985
275	43,921	152,089	131,148
280	41,502	145,952	127,487
285	39,257	140,165	123,990
290	37,169	134,703	120,647
295	35,224	129,541	117,449
300	33,412	124,659	114,388

*Fuente: Autores*

Como se puede apreciar en la tabla 31, al igual que en el caso anterior del análisis del acero AISI/SAE 4140, en el torneado del acero AISI 304 mientras se aumenta la velocidad de corte disminuye el tiempo de vida útil de la herramienta de corte, los mecanizados que utilizan a los líquidos iónicos como aditivos lubricantes tienen un 64,09% y 49,82% de mejora del tiempo de vida útil de la herramienta de corte en comparación con el mecanizado en seco para las velocidades de 195 m/min y 235 m/min. A continuación, en la figura 62 se muestran las líneas de tendencia obtenidas del tiempo de vida útil de la herramienta de corte según la tabla 31, en donde se aprecia que la línea de color naranja (mecanizado en seco) está por debajo de las líneas de tendencia de color azul y verde que corresponden a los mecanizados que utilizan los sistemas de lubricación MQL + 1%BF<sub>4</sub> y MQL + 1%PF<sub>6</sub>, siendo este último el que cuenta con un mejor tiempo de vida útil para la herramienta de corte y un 64,09% de mejora en comparación al mecanizado en seco ya antes mencionado.

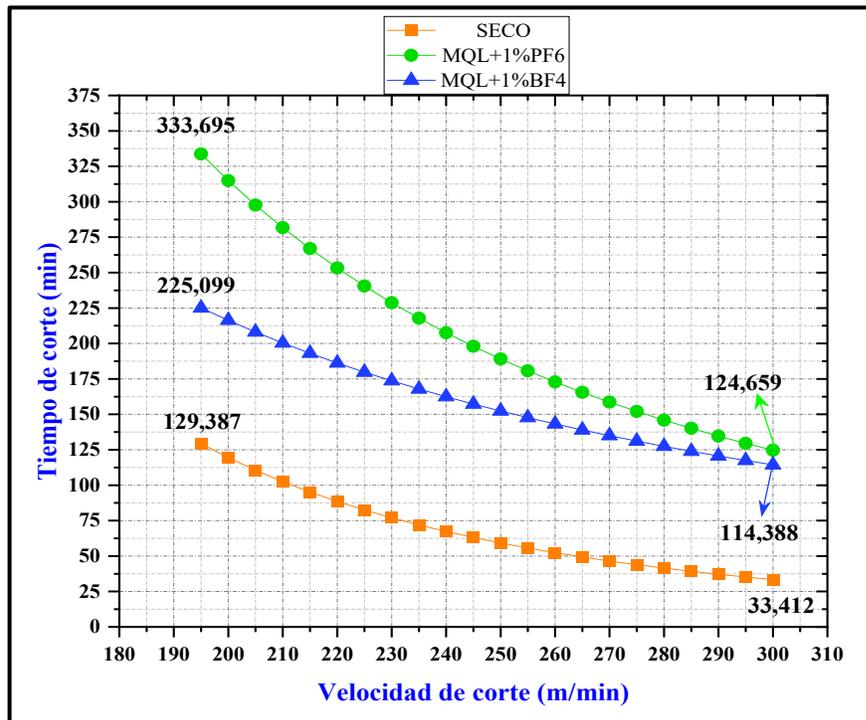


Fig. 62 Comparación de la vida útil de la herramienta de corte, según la ecuación de Taylor para diferentes tipos de sistema de lubricación (Seco - MQL+1%PF<sub>6</sub> y MQL+1%BF<sub>4</sub>) AISI 304

Fuente: Autores

### 3.1.11. Tipo de viruta

#### *Tipo de viruta en el Acero AISI 304*

En el mecanizado es de gran importancia identificar el tipo de viruta porque permite conocer cómo afecta los parámetros de corte establecidos en el desprendimiento del material. Para el acero AISI 304 los resultados, de tipo de viruta obtenida, fueron recopilados de [21], investigación que cuenta con el análisis del mecanizado en seco de este acero, en donde se obtiene una viruta de tipo continua, helicoidal larga como se puede ver en la figura 63, además presenta una coloración amarillenta debido a las condiciones de mecanizado y temperatura elevada al no tener un lubricante.



*Fig. 63 Tipo de viruta de mecanizado en seco en el acero AISI 304 [21]*

Para el acero AISI 304 en el caso de mecanizado con sistema de lubricación MQL+ Líquidos iónicos se obtiene una viruta de tipo continua, arqueada larga y que tiende a enmarañarse como se puede ver en la figura 64, presenta un color natural propio del acero, puesto que, al tener lubricación no hay afectaciones por temperatura.



*Fig. 64 Tipo de viruta de mecanizado con sistema MQL+ Líquidos iónicos en el acero AISI 304*

*Fuente: Autores*

### ***Tipo de viruta en el Acero AISI/SAE 4140***

Para el acero AISI/SAE 4140 en el mecanizado en seco se obtiene una viruta de tipo continua y helicoidal larga, que tiende a enmarañarse y formar nidos como se puede ver en la figura 65 y que presenta una coloración azulada debido a la ausencia de un fluido lubricante y a las condiciones térmicas propias de este tipo de mecanizado.



*Fig. 65 Tipo de viruta de mecanizado en seco en el acero AISI SAE 4140*

*Fuente: Autores*

Para el acero AISI SAE 4140 en el caso de mecanizado con sistema de lubricación MQL+ Líquidos iónicos se obtiene una viruta de tipo continua, helicoidal larga y que tiende a enmarañarse como se puede ver en la figura 66, presenta un color natural propio del acero, de modo que, al tener lubricación no hay afectaciones por temperatura.



*Fig. 66 Tipo de viruta de mecanizado con sistema MQL+ Líquidos iónicos en el acero AISI SAE 4140*

*Fuente: Autores*

### **3.1.12. Costo de mecanizado**

#### **3.1.12.1. Costo del mecanizado en seco**

##### ***Costo de la materia prima:***

Para la experimentación se utilizaron probetas de AISI 304 y AISI SAE 4140 en donde para cada experimento se utilizaron 2,6 kg de material por hora, teniendo un costo por kg de \$3.00 en probetas AISI 304 y \$2.75 en probetas AISI SAE 4140.

##### ***Costo de mano de obra:***

Para el costo de mano de obra se toma como punto de referencia el salario de un operario de torno en el sector industrial en la ciudad de Ambato, tomando en cuenta un salario de \$650.00 y 160 horas laborales en un mes se obtiene un costo de \$4.10 por hora de mecanizado.

##### ***Costo de utilización de torno:***

El mecanizado en el proceso de experimentación se realizó con el torno de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en donde el precio por hora de utilización establecido es de \$15.00.

### **Costo de herramienta de corte:**

Para la experimentación se utilizó herramientas de corte (insertos) que poseen cuatro flancos con un costo de \$18.00 de los cuales en una hora de mecanizado se empleó uno de los flancos con un costo proporcional de \$4.50.

### **Costo Total:**

Para la condición de mecanizado en seco tenemos dos costos dependiendo del material de la probeta del experimento AISI 304 con un valor de \$31.40 por hora de mecanizado y \$12.10 por kg de material, AISI SAE 4140 con un valor de \$30.75 por hora de mecanizado y \$11.82 por kg de material, en las figuras 67 y 68 se detallan los costos por cada parámetro analizado.



Fig. 67 Costo del mecanizado en seco para AISI 304

Fuente: Autores



Fig. 68 Costo del mecanizado en seco para AISI/SAE 4140

Fuente: Autores

### 3.1.11.2. Mecanizado utilizando MQL con líquidos iónicos

Además de los costos de mecanizado en seco se deben agregar los costos por lubricación con líquidos iónicos para los experimentos desarrollados. La lubricación se desarrolló mediante el sistema de mínima cantidad de lubricación MQL con una mezcla homogénea entre aceite vegetal “Coolube 2210 EP” y dos tipos de líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>), los cuales se utilizaron por hora una mezcla de 100 ml de aceite vegetal con líquidos iónicos en un 1% en peso (1 ml por hora). El proporcional de 100 ml de aceite vegetal “Coolube 2210 EP” es de \$6.00, el costo proporcional de 1 gr de los líquidos iónicos de PF<sub>6</sub> es \$26.15 y de BF<sub>4</sub> es \$ 33.00. El costo total de lubricación por hora está dado en \$ 32.15 para el líquido iónico (BMIM)(PF<sub>6</sub>) y en \$ 39.00 para el líquido iónico (BMIM)(BF<sub>4</sub>).

Tomando en cuenta el valor de mecanizado en seco más el costo por lubricación se tiene para el caso del acero AISI 304 con lubricación MQL con líquido iónico  $\text{PF}_6$  un costo de \$63.55 por hora de mecanizado y \$24.45 por cada 2,6 kg de material, lubricación MQL con líquido iónico  $\text{BF}_4$  un costo de \$70.40 por hora de mecanizado y \$27.10 por cada 2,6 kg de material, para el caso del acero AISI SAE 4140 con lubricación MQL con líquido iónico  $\text{PF}_6$  un costo de \$62.00 por hora de mecanizado y \$24.20 por cada 2,6 kg de material, lubricación MQL con líquido iónico  $\text{BF}_4$  un costo de \$69.75 por hora de mecanizado y \$28.80 por cada 2,6 kg de material. Desde la figura 69 a la 72 se detalla de una manera clara los diferentes costos obtenidos, ya mencionados, en cada uno de los casos analizados.



Fig. 69 Costo de mecanizado para el acero AISI 304 con lubricación MQL + 1%PF<sub>6</sub>

Fuente: Autores



Fig. 70 Costo de mecanizado para el acero AISI 304 con lubricación MQL + 1%BF<sub>4</sub>

Fuente: Autores



Fig. 71 Costo de mecanizado para el acero AISI/SAE 4140 con lubricación MQL + 1%PF<sub>6</sub>

Fuente: Autores



Fig. 72 Costo de mecanizado para el acero AISI/SAE 4140 con lubricación MQL + 1%BF<sub>4</sub>

Fuente: Autores

### 3.1.11.3. Relación del costo de mecanizado con lubricación MQL con líquidos iónicos con otros procesos.

Para la comparación de costos del mecanizado del acero AISI 304, se ha realizado el análisis de 5 condiciones de lubricación diferentes, mecanizado en seco, MQL con líquido iónico  $\text{PF}_6$ , MQL con líquido iónico  $\text{BF}_4$ , mecanizado con criogenización y MQL (CRY MQL) y mecanizado con criogenización y MQL + Nano  $\text{TiO}_2$  (CRY MQL + MQL Nano  $\text{TiO}_2$ ), para estas dos últimas condiciones el valor del costo se tomó de [21], trabajo experimental que cuenta con el mecanizado del acero AISI 304 a las mismas condiciones con las cuales se experimentó la lubricación con MQL y líquidos iónicos. Como se muestra en la figura 73 el costo menor se da en el mecanizado en seco (\$12,10), mientras que el mayor costo (\$27,90), se genera con la lubricación aplicando CRY MQL + MQL Nano  $\text{TiO}_2$ .

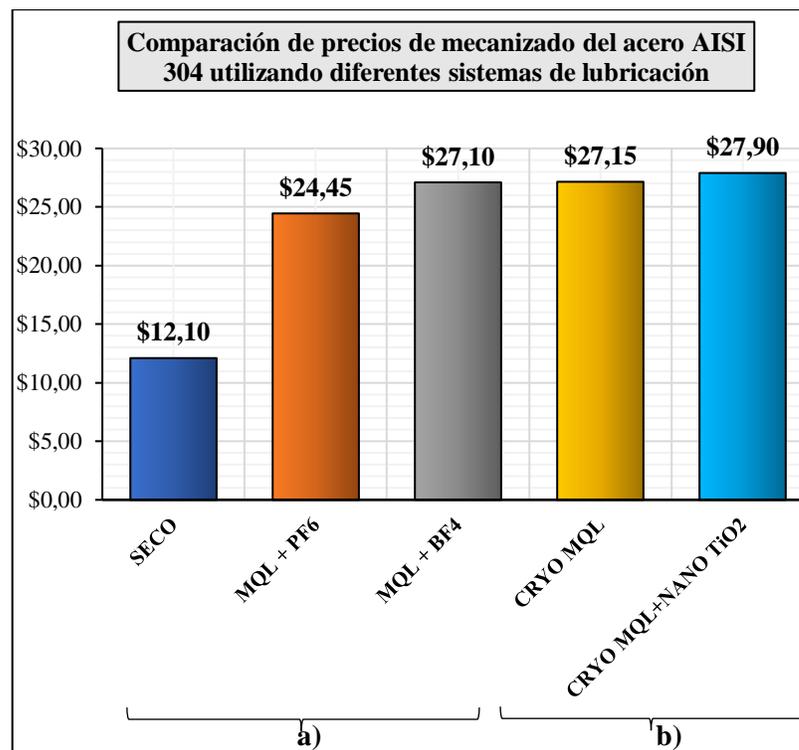


Fig. 73 Comparación de costos de mecanizado del acero AISI 304 con diferentes métodos de lubricación en base a otros estudios realizados a condiciones similares b) [21]

Fuente: Autores

A pesar de que el mecanizado en seco representa el menor costo de los casos analizados, no es el método óptimo, pues, presenta valores elevados de rugosidad superficial Ra y Rz, y además la herramienta de corte se desgasta con mayor facilidad. En cuestión a la vida útil de la herramienta de corte para el mecanizado del acero AISI 304 el método más eficaz analizado es la lubricación con criogenización y MQL + Nano TiO<sub>2</sub> (CRYO MQL + MQL Nano TiO<sub>2</sub>) el cual tiene un 81,1% de mejora respecto al mecanizado en seco, sin embargo, este es el método más costoso, ya antes mencionado, con un valor de \$27,90, los métodos que tienen a los líquidos iónicos PF<sub>6</sub> y BF<sub>4</sub> como aditivos lubricantes en el sistema MQL tienen un 64,09% y un 49,82% de mejora, respectivamente, como se evidencia en la figura 74.

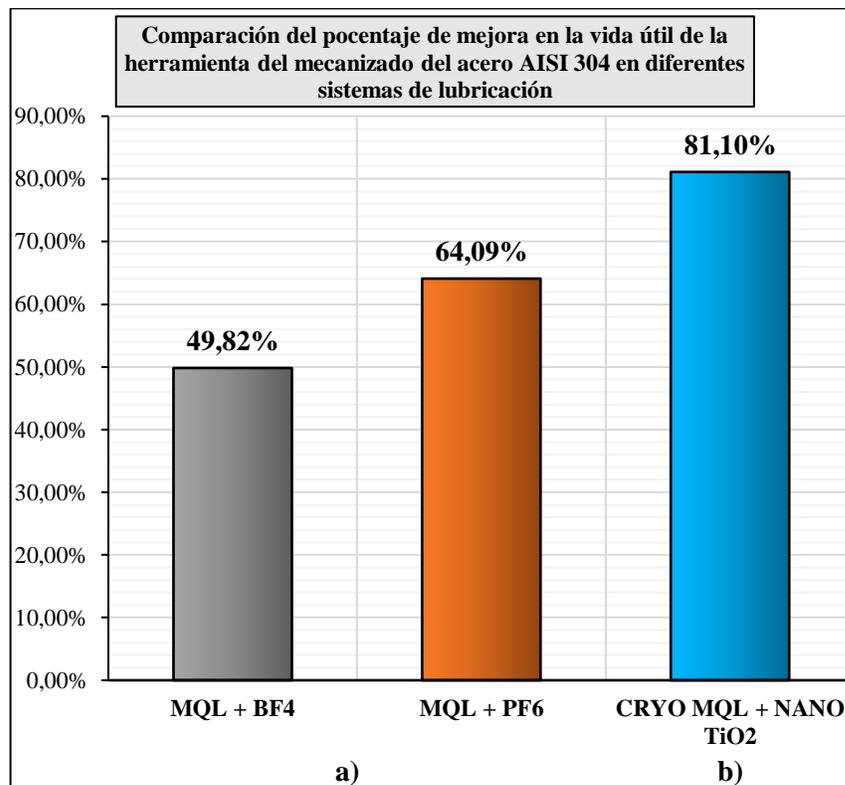


Fig. 74 Comparación del porcentaje de mejora en la vida útil de la herramienta al mecanizar el acero AISI 304 con diferentes tipos de lubricación b) [21]

Fuente: Autores

Para el caso del acabado superficial en comparación con el mecanizado en seco el método MQL con líquido iónico  $\text{BF}_4$  es el más recomendable, ya que, presenta un 39,55% de mejora con un costo de \$27,10, así mismo el método MQL con líquido iónico  $\text{PF}_6$  tiene un 38,13% de mejora con un costo de \$24,45, todo lo contrario, ocurre con el método CRYO MQL + MQL Nano  $\text{TiO}_2$  que registra un porcentaje de mejora bajo, respecto a los dos métodos ya mencionados, con un valor de 21,40%. En la figura 75 se muestran dichos porcentajes en donde se observa una clara ventaja por parte del mecanizado que utiliza a los líquidos iónicos  $\text{PF}_6$  y  $\text{BF}_4$  como aditivos para el aceite vegetal con MQL, en comparación con la condición de que utiliza la criogenización con MQL + Nano  $\text{TiO}_2$ , los líquidos iónicos tienen más del 15% de mejora en el acabado superficial.

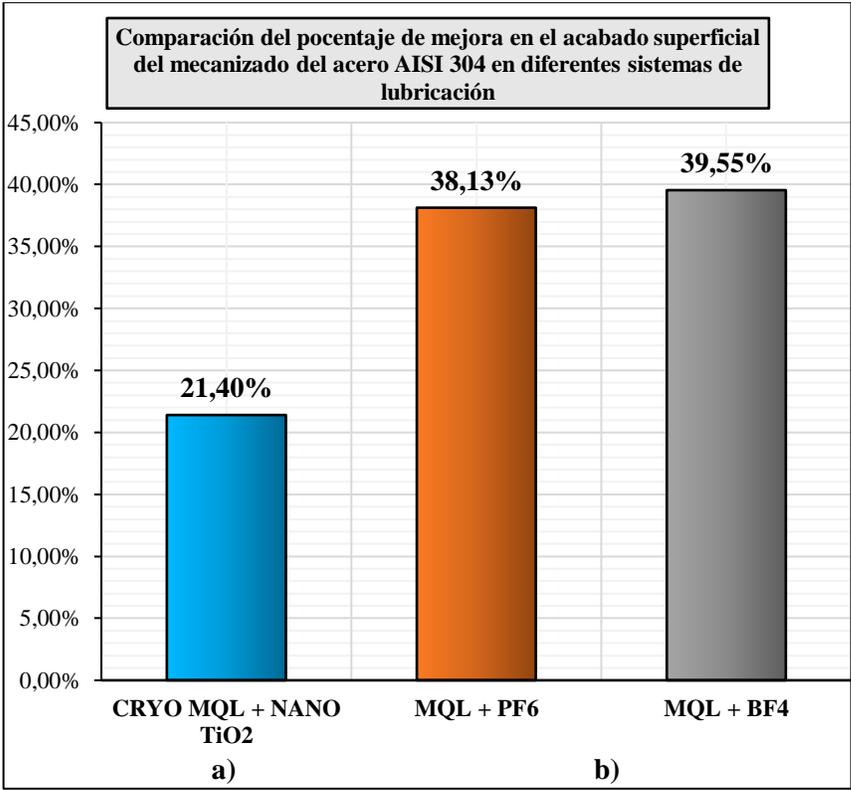


Fig. 75 Comparación del porcentaje de mejora en el acabado superficial al mecanizar el acero AISI 304 con diferentes tipos de lubricación a) [21]

Fuente: Autores

### **3.2. Verificación de la hipótesis**

El método de distribución de “t Student” se utilizará para la verificación de la hipótesis, ya que, este método permite conocer si existe una relación significativa o nula entre dos grupos de datos, la hipótesis que se toma como base es la presentada anteriormente en el capítulo 1.

#### ***Hipótesis:***

El usar los líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>) como aditivos al aceite vegetal para el sistema MQL mejorará el acabado superficial del torneado del acero inoxidable AISI 304 y acero AISI/SAE 4140 y por lo tanto, la vida útil de las herramientas de corte.

#### ***Variable dependiente:***

Acabado superficial del acero inoxidable AISI 304 y del acero AISI/SAE 4140.

Vida útil de la herramienta de corte.

#### ***Variable independiente:***

Líquidos iónicos (BMIM)(BF<sub>4</sub>) y (BMIM)(PF<sub>6</sub>) como aditivos en el aceite vegetal para el sistema de lubricación MQL en el proceso de torneado.

#### ***Determinación del nivel de significancia y obtención del valor “t tabulado”:***

Se considera un nivel de confianza de 95 %, por lo t el nivel de significancia es de 5% lo que genera una probabilidad de  $P = 0,05$ . Para la obtención del valor de t tabulado se necesita el cálculo de los grados de libertad a través de la siguiente formula:

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

Donde:

$v$  es el número de grados de libertad

$n_1$  es el número de muestra del experimento en seco

$n_2$  es el número de muestra del experimento con MQL + 1% PF<sub>6</sub>

$$v = 8 + 8 - 2$$

$$v = 14$$

Tabla 32 Distribución “t Student” [45]

$v \backslash P$	0,50	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
1	1,00000	2,4142	6,3138	12,706	25,452	63,657	127,32
2	0,81650	1,6036	2,9200	4,3027	6,2053	9,9248	14,089
3	0,76489	1,4226	2,3534	3,1825	4,1765	5,8409	7,4533
4	0,74070	1,3444	2,1318	2,7764	3,4954	4,6041	5,5976
5	0,72669	1,3009	2,0150	2,5706	3,1634	4,0321	4,7733
6	0,71756	1,2733	1,9432	2,4469	2,9687	3,7074	4,3168
7	0,71114	1,2543	1,8946	2,3646	2,8412	3,4995	4,0293
8	0,70639	1,2403	1,8595	2,3060	2,7515	3,3554	3,8325
9	0,70272	1,2297	1,8331	2,2622	2,6850	3,2498	3,6897
10	0,69981	1,2213	1,8125	2,2281	2,6338	3,1693	3,5814
11	0,69745	1,2145	1,7959	2,2010	2,5931	3,1058	3,4966
12	0,69548	1,2089	1,7823	2,1788	2,5600	3,0545	3,4284
13	0,69384	1,2041	1,7709	2,1604	2,5326	3,0123	3,3725
14	0,69242	1,2001	1,7613	2,1448	2,5096	3,9768	3,3257
15	0,69120	1,1967	1,7530	2,1315	2,4899	2,9467	3,2860
16	0,69013	1,1937	1,7459	2,1199	2,4729	2,9208	3,2520
17	0,68919	1,1910	1,7396	2,1098	2,4581	2,8982	3,2225
18	0,68837	1,1887	1,7341	2,1009	2,4450	2,8784	3,1966
19	0,68763	1,1886	1,7291	2,0930	2,4334	2,8609	3,1737

$$t \text{ tabulado} = 2,1448$$

Con los valores de la probabilidad P 0,05 y de los grados de libertad 14, mediante la tabla 32 se obtuvo el valor de “t tabulado”, el cual corresponde a 2,1448 y a continuación se procede a obtener la “t calculada”.

### 3.2.11. Cálculo de la distribución t (Mecanizado en Seco vs. MQL + 1% PF<sub>6</sub>)

**Hipótesis nula Ho:**

**Ho:** El líquido iónico (BMIM)(PF<sub>6</sub>), al usarlo como aditivo en el aceite vegetal para el sistema MQL, no mejora el acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 y del acero AISI/SAE 4140; es decir, es igual a las condiciones de mecanizado en seco.

**Hipótesis alternativa Ha:**

**Ha:** El líquido iónico (BMIM)(PF<sub>6</sub>), al usarlo como aditivo en el aceite vegetal para el sistema MQL, mejora el acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 y del acero AISI/SAE 4140; es decir, no es igual a las condiciones de mecanizado en seco.

**Modelo matemático:**

$$H_0 = Ra_{SECO} = Ra_{MQL+1\%PF_6}; H_a = Ra_{SECO} \neq Ra_{MQL+1\%PF_6}$$

Tabla 33 Valores de rugosidad Ra del mecanizado en Seco y MQL + 1% PF<sub>6</sub> para el cálculo de la distribución t

No.	Seco (x)	MQL + 1% PF <sub>6</sub> (y)
1	0,848	0,622
2	0,813	0,556
3	0,634	0,545
4	0,642	0,574
5	0,609	0,432
6	0,738	0,401
7	0,771	0,641
8	0,816	0,686
Media μ	<b>0,7339</b>	<b>0,5571</b>

Fuente: Autores

Para el cálculo de la distribución t es necesario primero obtener la varianza con dos datos de la tabla 33, la varianza se calcula con la fórmula presentada a continuación [45]:

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \mu_x)^2 - \sum(y_i - \mu_y)^2}{v} \quad (9)$$

Donde:

$S^2$  es la varianza

$x_i$  conjunto de los valores de la muestra correspondiente a la rugosidad Ra del mecanizado en seco.

$y_i$  conjunto de valores de la muestra correspondientes a la rugosidad Ra con MQL + 1% PF<sub>6</sub>

$\mu_x$  media de los valores correspondientes a  $x_i$

$\mu_y$  media de los valores correspondientes a  $y_i$

$v$  grados de libertad

$$S^2 = \frac{0,0614 - 0,0683}{8}$$

$$S^2 = 0,0093$$

La ecuación 10 se utiliza para calcular la distribución t [45]:

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

Donde:

t es el valor de la distribución “t Student”

$$t = \frac{0,7339 - 0,5571}{\sqrt{\frac{0,0093}{8} + \frac{0,0093}{8}}}$$

$$t = 3,6667$$

$$t_{calculado} = 3,6667 > t_{tabulado} = 2,1448$$

El resultado obtenido de t es mayor que el t encontrado en la tabla; debido a ello, la hipótesis nula es rechazada y la hipótesis alternativa se acepta, esta última indica que:

El líquido iónico (BMIM)(PF<sub>6</sub>), al usarlo como aditivo en el aceite vegetal para el sistema MQL, mejora el acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 y del acero AISI/SAE 4140; es decir, no es igual a las condiciones de mecanizado en seco.

### 3.2.12. Cálculo de la distribución t (Mecanizado en Seco vs. MQL + 1% BF<sub>4</sub>)

*Hipótesis nula Ho:*

**Ho:** El líquido iónico (BMIM)(BF<sub>4</sub>), al usarlo como aditivo en el aceite vegetal para el sistema MQL, no mejora el acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 y del acero AISI/SAE 4140; es decir, es igual a las condiciones de mecanizado en seco.

**Hipótesis alternativa  $H_a$ :**

**$H_a$ :** El líquido iónico (BMIM)(BF<sub>4</sub>), al usarlo como aditivo en el aceite vegetal para el sistema MQL; mejora el acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 y del acero AISI/SAE 4140 es decir, no es igual a las condiciones de mecanizado en seco.

**Modelo matemático:**

$$H_0 = Ra_{SECO} = Ra_{MQL+1\%BF_4}; H_0 = Ra_{SECO} \neq Ra_{MQL+1\%BF_4}$$

Tabla 34 Valores de rugosidad Ra del mecanizado en Seco y MQL + 1% BF<sub>4</sub> para el cálculo de la distribución t

No.	Seco (x)	MQL + 1% PF <sub>6</sub> (y)
1	0,848	0,742
2	0,813	0,743
3	0,634	0,503
4	0,642	0,523
5	0,609	0,656
6	0,738	0,673
7	0,771	0,471
8	0,816	0,488
Media $\mu$	<b>0,7339</b>	<b>0,5999</b>

Fuente: Autores

Para la obtención de la varianza se utilizan los datos de la tabla 34 y la ecuación 9, anteriormente descrita:

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \mu_x)^2 - \sum(y_i - \mu_y)^2}{v}$$

$$S^2 = \frac{0,0614 - 0,0936}{8}$$

$$S^2 = 0,011$$

Se sustituye el valor de la varianza en la ecuación 10, previamente descrita:

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

$$t = \frac{0,7339 - 0,5999}{\sqrt{\frac{0,011}{8} + \frac{0,011}{8}}}$$

$$t = 2,5553$$

$$t_{calculado} = 2,5553 > t_{tabulado} = 2,1448$$

El resultado obtenido de t es mayor que el t encontrado en la tabla; debido a ello, la hipótesis nula es rechazada y la hipótesis alternativa se acepta, esta última indica que:

El líquido iónico (BMIM)(BF<sub>4</sub>), al usarlo como aditivo en el aceite vegetal para el sistema MQL; mejora el acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 y del acero AISI/SAE 4140 es decir, no es igual a las condiciones de mecanizado en seco.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Se identificó que para el proceso de torneado de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140 en el país se utiliza mecanizado en seco para trabajos de bajo impacto a menor escala y principalmente se utiliza el método de lubricación por inundación de taladrina en piezas de mecanizado específico, además, en este estudio se evidenció los beneficios que presenta la utilización del sistema de mínima cantidad de lubricación (MQL) con la utilización de aditivos en el aceite vegetal, en el mecanizado de estos aceros.
- Los principales parámetros que intervienen en el acabado superficial en el proceso de torneado son la velocidad de giro del husillo, la velocidad de avance, profundidad de corte, la geometría, el radio y el material de la herramienta de corte, en el presente trabajo se utilizó un inserto CNMG 120408 2025 MF con geometría rómbica, radio de punta de 0,8 mm y de carburo de tungsteno sintetizado de la marca Sandvik, el cual brinda mejores propiedades para el mecanizado de materiales duros como los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140.
- En las 3 condiciones analizadas de lubricación, mecanizado en seco, mecanizado con MQL+1%(BMIM)(PF6) y MQL+1%(BMIM)(BF4), los datos de rugosidad superficial más bajos, en el acero AISI 304, se obtuvieron en los experimentos en los que se empleó una lubricación con sistema MQL con el líquido iónico (BMIM)(PF6) como aditivo y en el acero AISI/SAE 4140, la calidad superficial más baja se obtuvo con el sistema MQL con el líquido iónico (BMIM)(BF4), debido a que estos tipos de aditivos generan una película protectora que mejoran las condiciones tribológicas entre la probeta y la herramienta de corte, manteniendo estable la geometría de esta.

- La mejor calidad superficial, del promedio de los picos medidos en la superficie mecanizada Ra, en el acero AISI 304 fue de 0,417  $\mu\text{m}$  que pertenece al experimento desarrollado con una velocidad de corte de 195 m/min, un avance de 0,1 mm/rev, una profundidad de 0,4 mm y con el método de lubricación MQL+1%(BMIM) (PF6) con una calidad superficial N5, reflejando un acabado fino con marcas poco observables y una superficie lisa. En el acero AISI/SAE 4140 fue de 0,513  $\mu\text{m}$  que pertenece al experimento desarrollado con una velocidad de corte de 235 m/min, con un avance de 0,1 mm/rev, una profundidad de 0,4 mm y con el método de lubricación MQL+1%(BMIM) (BF4) con una calidad superficial N6, con marcas ligeramente observables y una superficie poco rugosa.
- El valor más bajo de la rugosidad superficial Rz, la cual representa el valor promedio entre el pico más alto y más bajo registrado de cada medición realizada en la superficie mecanizada, se obtuvo en el experimento desarrollado con una velocidad de corte de 195 m/min, un avance de 0,1 mm/rev, una profundidad de 0,4 mm y con el método de lubricación MQL + 1% (BMIM) (PF6) cuyo valor es 2,579  $\mu\text{m}$  para el caso del acero AISI 304. En el acero AISI/SAE 4140 el valor promedio de Rz obtenido fue de 2,890  $\mu\text{m}$  que pertenece al experimento desarrollado con una velocidad de corte de 235 m/min, con un avance de 0,1 mm/rev, una profundidad de 0,4 mm y con el método de lubricación MQL + 1% (BMIM)(BF4).
- En base a la norma ANSI/ASME B94.55M se evaluó el desgaste de la herramienta de corte de metal duro en la zona intermedia del flanco en el torneado en seco de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140, en donde se obtuvo un desgaste promedio de 254,06  $\mu\text{m}$  a una velocidad de corte de 195 m/min y un desgaste promedio de 239,767  $\mu\text{m}$  a una velocidad de corte de 235 m/min después de 50 minutos de mecanizado para el acero AISI 304. En el acero AISI/SAE 4140 después de 50 minutos de mecanizado se obtuvo un desgaste promedio de 110,733  $\mu\text{m}$  a una velocidad de corte de 195 m/min y un desgaste promedio de 183,03  $\mu\text{m}$  a una velocidad de corte de 235 m/min.

- El desgaste promedio evaluado de la herramienta de corte de metal duro en la zona intermedia del flanco, en el torneado con sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(PF6) de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140, después de 50 minutos de mecanizado fue de 95,163  $\mu\text{m}$  a 195 m/min y 91,880  $\mu\text{m}$  a 235 m/min para el acero AISI 304. En el acero AISI/SAE 4140 se obtuvo valores de desgaste promedio de 77,087  $\mu\text{m}$  a 195 m/min y 76,990  $\mu\text{m}$  a 235 m/min.
- En el caso de mecanizado con sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(BF4) de los aceros AISI 304 y AISI/SAE 4140, después de 50 minutos de mecanizado se obtuvo valores de desgaste promedio de 68,063  $\mu\text{m}$  a 195 m/min y 76,997  $\mu\text{m}$  a 235 m/min para el acero AISI 304. En el acero AISI/SAE 4140 se obtuvo valores de desgaste promedio de 88,947  $\mu\text{m}$  a 195 m/min y 73,220  $\mu\text{m}$  a 235 m/min.
- El desgaste de la herramienta de corte, en el caso del acero AISI 304, en relación con el mecanizado en seco, el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(PF6) cuenta con un 64,1% de mejora, mientras que la lubricación MQL+1%(BMIM)(BF4) tiene un 49,8% de mejora, en consecuencia, bajo los parámetros de corte establecidos la mejor opción es la utilización del líquido iónico (BMIM)(PF6) como aditivo de lubricación.
- En el acero AISI/SAE 4140 el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(PF6) en comparación con el mecanizado en seco tiene un 53,84% de mejora, mientras que en la lubricación con MQL+1%(BMIM)(BF4) se tiene un 54,72% de mejora, teniendo como resultado que la opción más viable es la utilización del líquido iónico (BMIM)(BF4) como aditivo de lubricación.
- En el acero AISI 304 en base a la ecuación de Taylor y los valores de desgaste obtenidos, se determinó valores de vida útil de la herramienta de corte, en mecanizado en seco de 129 minutos a 195 m/min, de 72 minutos a 235 m/min, en el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(PF6) valores de 334 minutos a 195 m/min, de 218 minutos a 235 m/min, en el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(BF4) valores de 225 minutos a 195 m/min y de 168 minutos a 235 m/min.

- En el acero AISI/SAE 4140 se determinó valores de vida útil en mecanizado en seco de 115 min. a 195 m/min, de 71 min. a 235 m/min, en el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(PF6) valores de 242 min. a 195 m/min y de 158 min a 235 m/min, en el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(BF4) valores de 224 min. a 195 m/min y de 181 min. a 235 m/min.
- En el torneado del acero AISI 304, el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(PF6) aumenta 2,5 veces el tiempo de vida útil de la herramienta de corte, el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(BF4) aumenta 1,7 veces el tiempo de vida útil a una velocidad de corte de 195 m/min. Para la velocidad de corte de 235 m/min el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(PF6) aumenta 3 veces el tiempo de vida útil, en el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(BF4) aumenta 2,3 veces el tiempo de vida útil de la herramienta, todas estas comparaciones en relación con el mecanizado en seco.
- En el acero AISI/SAE 4140 en comparación con el mecanizado en seco, existe un aumento de 2,1 veces el tiempo de vida útil, con el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(PF6) un aumento de 1,9 veces el tiempo de vida útil con el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(BF4) con una velocidad de corte de 195 m/min. Con una velocidad de corte de 235 m/min se tiene un aumento de 2,2 veces la vida útil con el sistema MQL+1%(BMIM)(PF6) y un aumento 2,5 veces la vida útil con el sistema de lubricación MQL+1%(BMIM)(BF4).

#### **4.2. Recomendaciones**

- Realizar el corte de los ejes de acero AISI 304 y AISI SAE 4140 con sierra eléctrica para evitar desequilibrios, desbalances en las probetas y posibles vibraciones en el proceso de mecanizado que alteren el acabado superficial de la misma y, por ende, aumenten su rugosidad.

- Antes de empezar con el proceso de mecanizado preparar cada probeta, reduciendo un tercio de su sección transversal una longitud de 15 a 20 mm para evitar choques del contrapunto con el porta inserto de la herramienta de corte e inadecuadas formaciones de viruta que puedan alterar el acabado superficial de la probeta.
- Previo a cada proceso de mecanizado revisar las sujeciones de las probetas en el mandril del torno y su correcto aseguramiento con el contrapunto, para evitar factores que influyan en el acabado superficial de la probeta como vibraciones y que influyan en la vida útil de la herramienta de corte como el golpeteo por desbalances.
- En el sistema de lubricación por cantidades mínimas (MQL) previo a su utilización verificar que se encuentre vaciado completamente de aceites residuales de trabajos previos, que se encuentre sin obstrucciones el filtro y que el sistema se encuentre completamente presurizado para su correcto funcionamiento con un flujo constante.
- En el desgaste de flanco de la herramienta de corte antes de comenzar con las mediciones en el microscopio electrónico de barrido identificar y señalar la cara y filo del inserto a medirse para tener un correcto seguimiento a los datos obtenidos en relación con el tiempo en cada uno de los experimentos realizados.
- Realizar la experimentación bajo una planificación en la que se realicen el mismo número de ensayos por día con las mismas condiciones de lubricación y parámetros de mecanizado, para obtener resultados más precisos.
- Desarrollar un estudio complementario en donde se tome en cuenta como variable independiente la temperatura en el proceso de torneado y la influencia de los ángulos de incidencia de la salida del lubricante con el sistema MQL.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. Del Sol, A. J. Gámez, A. Rivero, and P. Iglesias, “Tribological performance of ionic liquids as additives of water-based cutting fluids,” *Wear*, vol. 426–427, pp. 845–852, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.01.109>.
- [2] S. Santhosh Kumar and S. Ramesh Kumar, “Ionic liquids as environmental friendly cutting fluids - a review,” *Mater. Today Proc.*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.564>.
- [3] A. Pandey, R. Kumar, A. Kumar Sahoo, A. Panda, and R. Kumar Nayak, “A Brief Review on Ionic Fluids and its Application in Machining,” *Mater. Today Proc.*, vol. 18, pp. 4441–4448, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.413>.
- [4] B. Davis, J. K. Schueller, and Y. Huang, “Study of ionic liquid as effective additive for minimum quantity lubrication during titanium machining,” *Manuf. Lett.*, vol. 5, pp. 1–6, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2015.04.001>.
- [5] 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, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.317>.
- [6] G. S. Goindi, S. N. Chavan, D. Mandal, P. Sarkar, and A. D. Jayal, “Investigation of Ionic Liquids as Novel Metalworking Fluids during Minimum Quantity Lubrication Machining of a Plain Carbon Steel,” *Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 341–345, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.09.002>.
- [7] G. S. Goindi, A. D. Jayal, and P. Sarkar, “Application of ionic liquids in interrupted minimum quantity lubrication machining of plain medium carbon steel: Effects of ionic liquid properties and cutting conditions,” *J. Manuf. Process.*, vol. 32, pp. 357–371, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.03.007>.

- [8] L. Zhao *et al.*, “Synthesis, characterization and tribological evaluation of novel 1,4-diazabicyclo[2.2.2]octane based dicationic ionic liquids as efficient antiwear lubricant additives,” *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 62, no. 2, pp. 252–262, 2019, doi: 10.1007/s11431-018-9384-2.
- [9] G. Huang, Q. Yu, Z. Ma, M. Cai, F. Zhou, and W. Liu, “Oil-soluble ionic liquids as antiwear and extreme pressure additives in poly- $\alpha$ -olefin for steel/steel contacts,” *Friction*, vol. 7, no. 1, pp. 18–31, 2019, doi: 10.1007/s40544-017-0180-8.
- [10] H. Guo and P. Iglesias, “Tribological behavior of ammonium-based protic ionic liquid as lubricant additive,” *Friction*, vol. 9, no. 1, pp. 169–178, 2021, doi: 10.1007/s40544-020-0378-z.
- [11] G. Amor Alcón, “Evolución, Análisis y Estudio Comparativo de las Máquinas Herramienta (Torno y Fresadora) a lo largo de la Historia,” Tesis para la obtención del título en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, Esc. de Ingenierías Industriales., Univ. de Valladolid., España, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/31259>.
- [12] J. Garavito, “Torno: Protocolo Curso de Procesos de Manufactura,” p. 29, Fac. de Ing. Industrial., Esc. Colombiana de Ing., 2007. [En línea]. Disponible en: [https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3474\\_torno.pdf](https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3474_torno.pdf).
- [13] J. C. Villáces 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,” Trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Fac. de Ing. Civil y Mec., Univ. Téc. de Ambato, Ecuador, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24155>.
- [14] J. Fenoll, J. C. Borja, y J. S. de Herrera, *Mecanizado básico*, Macmillan Iberia, S.A., 2009, Cap. 12, secc. 2, pp. 157-163. [En línea]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utasp/detail.action?docID=3195688>.

- [15] L. M. 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,” Trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico., Fac. de Ing. Civil y Mec., Univ. Téc. de Ambato, Ecuador, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23309>.
- [16] P. F. Lopez Borrero, “Porta insertos para mecanizado,” 2016, [En línea]. Disponible en: <https://es.calameo.com/books/00469374983dfc3eea198>. [Último acceso: 15 de Noviembre del 2020]
- [17] L. A. Soriano Gonzalez y F. D. R. Medina Aguirre, “Metodología de ensayos para determinar la vida de una herramienta de corte bajo criterio de desgaste por medio de la ecuación de Taylor en un proceso de mecanizado para el acero AISI 01 en un torno CNC,” Tesis de grado, Fac. de Ing. en Mec. y Ciencias de la Producción., Esc. Superior Politécnica del Litoral., Guayaquil, Ecuador, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31197..>
- [18] C. R. Morales Portero, “Efecto del nanolubricante (aceite lubricante+tio<sub>2</sub>) en el acabado superficial del torneado del acero inoxidable AISI 304.” Trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico., Fac. de Ing. Civil y Mec., Univ. Téc. de Ambato, Ecuador, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26999>.
- [19] M. Correa, M. D. J. Ramírez, J. R. Alique, and C. a Rodríguez, “Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado: Técnicas de análisis y modelos,” *XXV Jornadas Automática Ind. CEA-IFAC*, pp. 75–82, 2004.
- [20] R. Leach, The measurement of surface texture using stylus instruments. National Physical Laboratory., Teddington, Middlesex, United Kingdom., 2001. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/263237968>.

- [21] D. M. Carranza Calero y L. A. Mayorga Ases, “Evaluación del desgaste de las herramientas de corte y acabado superficial en el torneado del acero inoxidable AISI 304 mediante lubricación híbrida CO<sub>2</sub> + NANO TiO<sub>2</sub>,” Trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico., Fac. de Ing. Civil y Mec., Univ. Téc. de Amabato, Ecuador, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/31235>.
- [22] S. Millán Gómez, *Fabricación por arranque de viruta*. 1a ed., Madrid: Paraninfo, S.A. , 2012.
- [23] F. J. Trujillo Vilches, “Análisis paramétrico del mecanizado en seco de la aleación UNS A97075,” Tesis doctoral., Departamento de Ing. Civil, de materiales y fabricación., Univ. de Málaga., España, 2013, [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10630/6022>.
- [24] M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna*, 3a. ed., Madrid: McGraw-Hill, 2007, Cap. 23, secc. 2, pp. 567-570. [En línea]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utasp/detail.action?docID=4585363>.
- [25] J. P. Davim, *Green Manufacturing Processes and Systems*, Berlín Heidelberg: Springer, 2013, doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33792-5>.
- [26] M. McCann, *Metalurgia y metalistería*. Madrid: Subdirección General de Publicaciones. 2012. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, Cap. 82 [En línea]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/161971>.
- [27] I. Escalona, *Máquinas: herramientas por arranque de viruta*, Ciudad de México: El Cid Editor apuntes, 2009, p. 14. [En línea]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utasp/detail.action?docID=3181578>.
- [28] F. Tornero Martínez, *Mecanizado por control numérico*, Barcelona: Cano Pina, S.L. Ediciones Ceysa, 2012, Cap. 2, secc. 3, pp. 119-120. [En línea]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utasp/detail.action?docID=3226658>.

- [29] F. Tornero Martínez, *Preparación y programación de máquinas y sistemas de arranque de viruta (MF0090)*, 1a. ed., Barcelona: Cano Pina, S.L. Ediciones Ceysa, 2017, Cap. 3, secc. 4, pp. 44-46. [En línea]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utasp/detail.action?docID=5307417>.
- [30] 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,” Trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Fac. de Ing. Civil y Mec., Univ. Téc. de Ambato, Ecuador, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23310>.
- [31] M. Jiménez Calzado, “Fabricación sostenible. Lubricación por cantidades mínimas (MQL),” Departamento de Ing. Mec., Esc. Téc. Superior de Ing. ICAI, Univ. Pontificia Comillas de Madrid. 2012. [En línea]. Disponible en: [http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/98474-Fabricacion-sostenible-Lubricacion-por-cantidades-minimas-\(MQL\).html](http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/98474-Fabricacion-sostenible-Lubricacion-por-cantidades-minimas-(MQL).html).
- [32] F. C. Borja, “Líquidos iónicos: métodos de síntesis y aplicaciones,” *Concienc. Tecnológica*, no. 49, pp. 52–56, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94438997007>.
- [33] P. Cabildo Miranda y P. Cornago Ramírez, *Procesos orgánicos de bajo impacto ambiental: química verde*, Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2006, Cap. 8, secc. 1, pp. 198-200. [En línea]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utasp/detail.action?docID=3202913>.
- [34] W. Kunz and H. J. Gores, “Ionic Liquids BT - Encyclopedia of Applied Electrochemistry,” G. Kreysa, K. Ota, and R. F. Savinell, Eds. New York, NY: Springer New York, 2014, pp. 1106–1111.

- [35] S. Carda–Broch, A. Berthod, and D. W. Armstrong, “Solvent properties of the 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate ionic liquid,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 375, no. 2, pp. 191–199, 2003, doi: 10.1007/s00216-002-1684-1.
- [36] G. J. Canale, *Materialoteca: perfil ambiental de materiales*, 1a. ed. Lanús: Diseño editorial 2015, Cap 4, secc 2, pp 58-60. [En línea]. Disponible en: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utasp/detail.action?docID=4536702>.
- [37] Voestalpine, “Böler ANTINIST 304L,” 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.bohlerperu.com/app/uploads/sites/138/2019/09/ANTINIT-304L.pdf>. [Último acceso: 26 de Diciembre del 2020].
- [38] F. M. Jácome Mancheno, “Análisis de la microestructura del acero V320 sometido a tracción y torsión luego de un tratamiento térmico de temple subcero,” Tesis de grado, Fac. de Ing. Mec., Univ. Internacional SEK, Quito, Ecuador, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.24133/infociencia.v10i1.1014>.
- [39] Voestalpine, “VCL Böler 4140,” 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.bohlerperu.com/app/uploads/sites/138/2019/09/VCL.pdf>. [Último acceso: 26 de Diciembre del 2020].
- [40] Sandvik, “Sandvik Coromant,” 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/productdetails.aspx?c=cnmg-432-mf-2025>. [Último acceso: 26 de Diciembre del 2020].
- [41] “Hoja De Datos De Seguridad - Coolube ® 2210EP,” 2016. [En línea]. Disponible en: <http://minimalquantitylubrication.com/product.html?prod=2210ep>. [Último acceso: 28 de Diciembre del 2020].

- [42] W. O. Sanmartín Hurtado y M. J. Benenaula Ramón, “Diseño y construcción de un homogeneizador por inmersión de alto cizallamiento, para la empresa FORMALAB,” Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico., Univ. Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2016, [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12796>.
- [43] P. Surface and R. Tester, “Surftest Sj-210 Series,” vol. 2194, no. 2194, 2016.
- [44] J. M. Calva Cumbicus, “Análisis del tiempo de vida de una herramienta de corte para el maquinado del acero AISI d6, mediante el uso de la ecuación de Taylor y criterios de desgaste,” Trabajo experimental previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico., Fac. de Ing. en Mec. y Ciencias de la Producción., Esc. Superior Politécnica del Litoral., Guayaquil, Ecuador, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31241>.
- [45] C. M. Bencardino, *Estadística básica aplicada* , 5a. ed. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2019, Apendice III, pag. 383.

## ANEXOS

- Características técnicas y principios de funcionamiento del sistema de lubricación por cantidades mínimas MQL



### 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

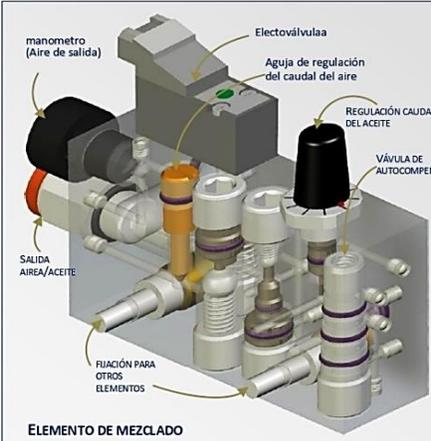
**EFICIENTE Y COMPLETO**  
El sistema modular aire aceite MiQueLo ha sido proyectado para la lubricación mínima de máquina herramienta en general, máquina para el corte y doblado de chapa, puede ser utilizado en todas las instalaciones que necesitan una lubricación calibrada y con control de todas las funciones. Es posible insertar hasta 8 elementos conectados entre si, que en cualquier momento pueden ser excluidos o activados de forma individual a través de una electro válvula integrada.

**FUNCIONAL Y DE FÁCIL USO**  
Tanto el caudal de aire como de aceite pueden ser controlados de forma individual en cada elemento.

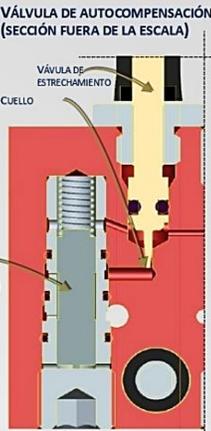
**LIMPIO**  
El sistema esta provisto de un dispositivo que, acabado el ciclo de lubricación, garantiza que no hay goteo del lubricante.



### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



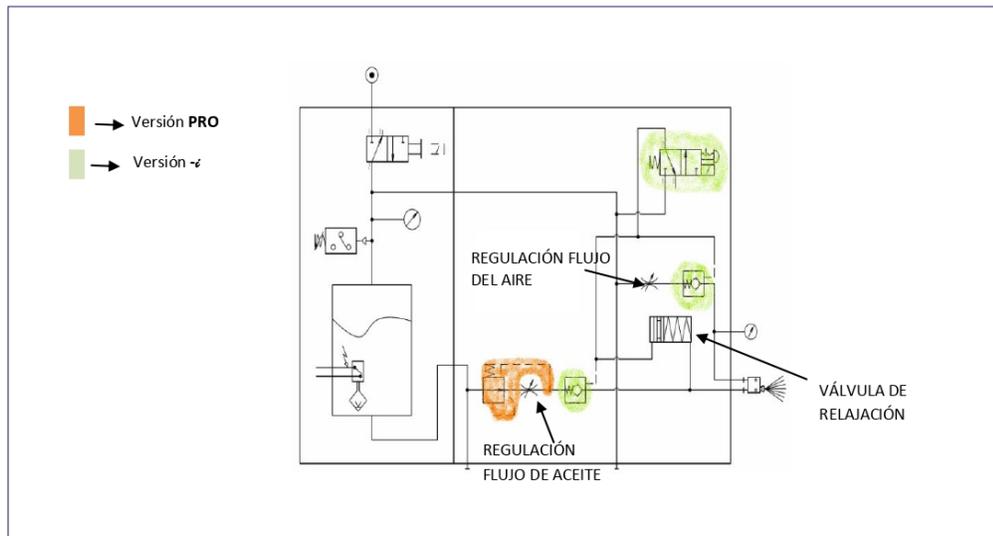
#### VÁLVULA DE AUTOCOMPENSACIÓN (SECCIÓN FUERA DE LA ESCALA)



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  $\Delta p$  entre la presión del aceite en la entrada y la salida.  $\Delta p$  (aceite) = constante (~2 bar)  $\Rightarrow$  Q (aceite) = constante

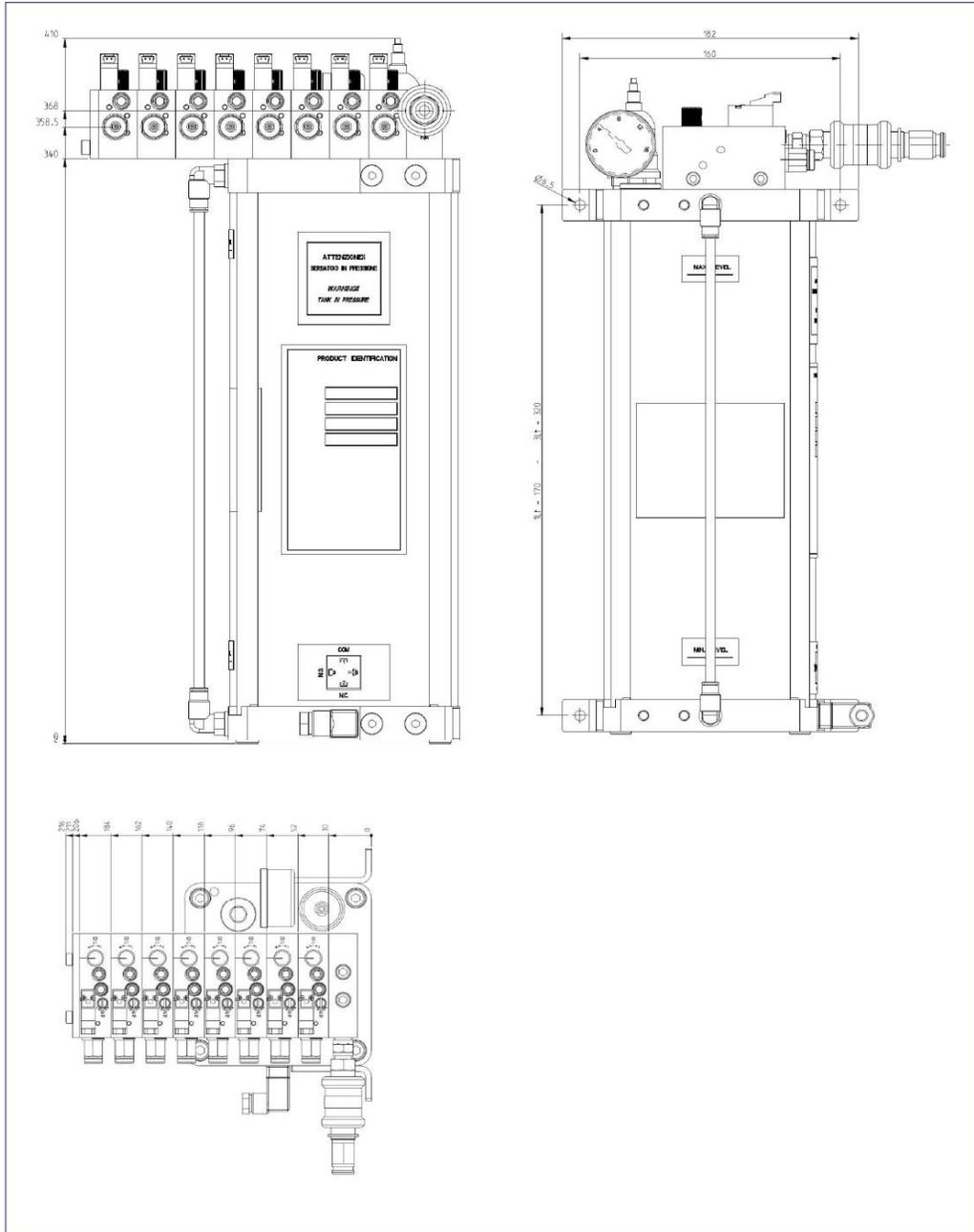
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Capacidad del depósito	1lt – 3lt	
Número máximo de módulos	8	
Presión entrada de aire	4bar ÷ 7bar	
Consumo máximo aire en la salida	~50Nl/min (por módulo)	
Tubo entrada aire	Ø10mm	
Tubo salida aire	Ø6mm	
Tubo salida aceite	Ø2mm	
Caudal de aceite por elemento	PRO	0,1 ÷ 2,7 cc/min (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
	Aceite lubricante	10cSt ÷ 100cSt
grado de protección del módulo “-i”	Standard a pedido (especial)	IP 00 IP 65
grado de protección del depósito		IP 65
Tarado del presostato (optional)		6 bar
Carga máxima presostato (optional)		Contacto máxima tensión 250V Máxima potencia 100W
Carga máxima nivel		0,2A @ 30V
Alimentación electrobomba		24Vdc- 1,3 W - 0,05 A
Temperatura de ejercicio		+5°C ÷ +50°C
Temperatura de almacenamiento		-10°C ÷ +80°C
Humedad relativa máxima sin condensación		90%
Nivel acústico		< 70 db (A)
Peso neto		~5Kg (mod. 1lt) – ~7Kg (mod. 3lt)

### SISTEMA HIDRAULICO





**DIMENSIONES ( DISEÑO A ESCALA )**



- Especificaciones técnicas y funcionamiento del “Rugosímetro SJ-210”

**Mitutoyo**

The SurfTest SJ-210 is a user-friendly surface roughness measurement instrument designed as a handheld tool that can be carried with you and used on-site.



### Easy to use

#### 2.4-inch color graphic LCD with backlight

The color LCD provides excellent readability and an intuitive display that's easy to navigate. The LCD also includes a backlight for improved visibility in dark environments.

#### Simple key layout

The SurfTest SJ-210 can be operated easily using the keys on the front of the unit and under the sliding cover.

### Highly functional

#### Advanced data storage capabilities

Up to 10 measurement conditions and one measured profile can be stored in the internal memory.

#### Optional memory card

An optional memory card can be used as an extended memory to store large quantities of measured profiles and conditions.

#### Password protection

Access to each feature can be password-protected, which prevents unintended operations and allows you to protect your settings.

#### Multilingual support

The display interface supports 16 languages, which can be freely switched.

#### Stylus alarm (patent pending in Japan)

An alarm warns you when the cumulative measurement distance exceeds a preset limit.

### Extensive analysis and display features

#### Complies with many industry standards

The SurfTest SJ-210 complies with the following standards: JIS (JIS-B0601-2001, JIS-B0601-1994, JIS B0601-1982), VDA, ISO-1997, and ANSI.

#### Displays assessed profiles and graphical data

In addition to calculation results, the SurfTest SJ-210 can display sectional calculation results and assessed profiles, load curves, and amplitude distribution curves.



Rz

平均線

Surf

**Color graphic LCD**

Intuitive display that's clear, sharp, and legible.

**Large, 2.4-inch LCD**

The large LCD provides excellent readability.

**Backlight**

The backlight improves visibility in dark environments.

**Operation keys**

- The keys on the front of the unit and under the sliding cover are clearly labeled and easy to use.
- The user-friendly screen layout and arrow keys provide intuitive operability.
- Displayed settings can be changed easily by using the left and right arrow keys.
- Infrequently used keys are hidden under the sliding cover to prevent unintended operations.

**Drive unit**

The drive unit can be separated from the display unit by using a cable, allowing more flexible measurement. The driver can be separated and reattached in one simple step.

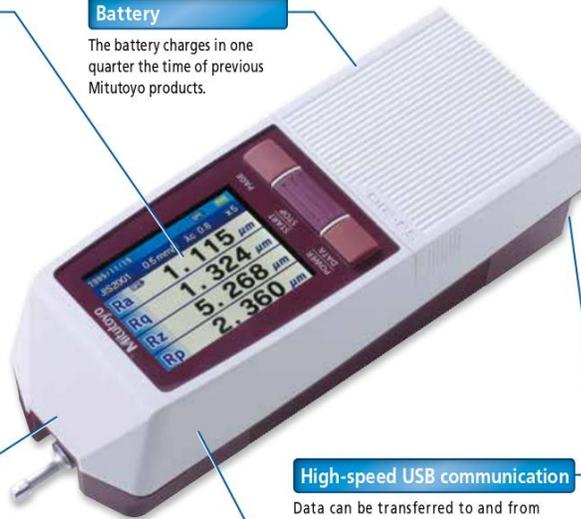


There are many different kinds of drive units and detectors available.



**Battery**

The battery charges in one quarter the time of previous Mitutoyo products.



**High-speed USB communication**

Data can be transferred to and from a computer via the high-speed USB interface.



**Memory card support**

The memory card slot lets you store large amounts of data onto a memory card.



**Applicable standards**

In addition to JIS and ISO, the SurfTest SJ-210 also complies with ANSI and VDA standards.



**Multilingual support**

The display interface supports 16 languages.



test SJ-210

## Specifications

Type of detector	Standard drive unit type		Retractable drive unit type	Transverse tracing drive unit type
Model No.	SJ-210 (0.75mN type)		SJ-210 (4mN type)	SJ-210 (4mN type)
Order No.	178-561-01A		178-561-02A	178-565-02A
Measuring range	X axis	.69" (17.5mm)		.22" (5.6mm)
	Z axis (Detector)	14200 μm (-7900μm~+6300μm) / 360μm (-200μm ~ +160μm)		
Measuring speed	Range / Resolution	14170μm / 8μm (360μm / 0.02μm), 4000μm / 2μm (100μm / 0.006μm), 1000μm / .08μm (25μm / 0.002μm)		
	Measuring force / Stylus tip	Measuring: 0.01, 0.02, 0.03 mN (0.25mm/s, 0.5mm/s, 0.75mm/s) Returning: 1mm/s		
Skid force	0.75mN type: 0.75mN / 2μmR 60°, 4mN type: 4mN / 5μmR 90°			
Applicable standards	Less than 400mN			
Assessed profiles	JIS '82 / JIS '94 / JIS '01 / ISO '97 / ANSI / VDA			
Evaluation parameters	Primary profile / Roughness profile / DF profile / Roughness profile-Motif			
Analysis graphs	Ra, Rc, Ry, Rz, Rq, Rt, Rmax, Rp, Rv, R3z, Rsk, Rku, Rqc, Rsm, Rmax, Rz1max, S, HSC, Rz1S, Rppi, RDa, RAn, Rlr, Rmr, Rmr(c), R δ c, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Vo, Rpm, tp, Htp, R, Rx, AR, Possible Customize			
Filters	Bearing area curve / Amplitude distribution curve			
Cut off length	λc	Gaussian, 2CR75, PC75		
Sampling length	λs	0.003, 0.01, 0.03, 0.1* (0.08, 0.25, 0.8, 2.5mm)		
	Number of Sampling lengths (xn)	100, 300μm (2.5, 8μm) or none		
LCD dimensions	0.003, 0.01, 0.03, 1" (0.08, 0.25, 0.8, 2.5mm)			
Display languages	x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x10, Arbitrary 0.01~.63* (.0001" interval) [0.3-16.0mm: 0.01mm interval]			
Calculation result display	1.45 x 1.93" (36.7x48.9 mm)			
Printing function <sup>1)</sup>	Japanese, English, German, French, Italian, Spanish, Portuguese, Korean, Traditional Chinese, Simplified Chinese, Czech, Polish, Hungarian, Turkish, Swedish, Dutch			
External I/O	Vertical display: 1 parameter / 3 parameter / trace to measurements Horizontal display: 1 parameter / 4 parameter / trace to measurements (Horizontal display is invertable)			
Functions	Measurement conditions / Calculation results / Calculation results for each sampling length / Assessed profile / Bearing area curve / Amplitude distribution curve / Environment setting information			
Power-saving function	USB I/F, Digimatic Output, Printer Output, RS-232C I/F, Foot SW I/F			
Power supply	Desired parameters can be selected for calculation and display			
Size (WxDxH)	Display unit	By max value / 16% / Standard deviation		
	Drive unit	Save the conditions at power OFF		
Mass	Storage	Internal memory: Measurement condition (10sets), Measured profile (Tset) Memory card (Option): 500 measurement conditions, 10000 measured profiles, 500 display images Text file (Measurement conditions / Measured profile / Assessed profile / Bearing area curve / Amplitude distribution curve)		
	Calibration	Saves last inputted nominal value of specimen / Average calibration with multiple measurement (Max.5 times) is available		
Standard accessories	Auto-sleep off function (10-600sec) <sup>3)</sup>			
	Two-way power supply: battery (rechargeable Ni-MH battery) and AC adapter *Charging time: about 4 hours (may vary due to ambient temperature) *Endurance: about 1000 measurements (differs slightly due to use conditions / environment)			
Size (WxDxH)		2.05 x 2.6" x 6.3" (52.1x65.8x160mm)		
Mass		4.5 x .9 x 1.02" (115x23x26mm)		
Mass		About 1.1lbs (500g) (Display unit + Drive unit + Standard detector)		
Standard accessories		<b>12BAA303</b> Connecting cable <sup>4)</sup> <b>178-602</b> Roughness specimen (Ra 3.00μm) <b>12BAK699</b> Carrying case <b>12BAK700</b> Calibration stage <b>12BAK820</b> Protective sheets for display AC Adapter Operation manual Quick reference manual Warranty		
Standard accessories		<b>12BAA303</b> Connecting cable <sup>4)</sup> <b>178-606</b> Roughness specimen (Ra 1.00μm) <b>12AAE643</b> Point-contact adapter <b>12AAE644</b> V-type adapter <b>12BAK699</b> Carrying case <b>12BAK700</b> Calibration stage <b>12BAK820</b> Protective sheets for display AC Adapter, Operation manual Quick reference manual, Warranty		

\*1: Order the SJ-210 printer (No.178-421A, optional accessory) separately.  
See page 10 for details about the SJ-210 printer.

\*2: Standard deviation only can be selected in ANSI. 16% rule cannot be selected in VDA.

\*3: Auto-sleep function is invalid when AC adaptor is used.

\*4: For connecting the calculation display unit and drive unit.

- Protección personal para el uso del aceite “Coolube 2210 EP” y especificaciones técnicas

## Hoja de Datos de Seguridad - Coolube® 2210EP

Versión 1.0 | Fecha: 06/01/15

### 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.

<b>Protección de los Ojos:</b>	Se recomiendan anteojos de seguridad para químicos de ser necesario para evitar el contacto con los ojos.
<b>Ropa de Protección:</b>	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.
<b>Prácticas de Higiene en el Trabajo:</b>	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**

<b>Estado Físico:</b>	Líquido de baja viscosidad
<b>Viscosidad, 104°F (40°C)</b>	Viscoso
<b>Apariencia:</b>	Amarillo
<b>Olor:</b>	Azufre
<b>Valor de pH:</b>	No está determinado /no es aplicable
<b>Punto de Inflamación:</b>	(Copa Abierta): >400°F (COC), >200°C
<b>Vertibilidad:</b>	10.4 to -4°F (-12 to -20°C)
<b>Punto de Ebullición:</b>	>392°F (>200°C)
<b>Autoinflamabilidad:</b>	>752°F (>400°C)
<b>Temperatura de Autoignición:</b>	No está determinada
<b>Intervalo de Exposición:</b>	No es aplicable
<b>Presión de Vapor:</b>	<1 mmHg @ 77°F (25°C)
<b>Densidad de Vapor:</b>	Mayor a 1
<b>Gravedad Específica:</b>	0.93 @ 77°F (25°C)
<b>Punto de Fusión:</b>	No está determinado
<b>Solubilidad en Agua:</b>	Insoluble
<b>También Solvente en:</b>	Soluble en la mayoría de los solventes orgánicos
<b>Velocidad de Evaporación:</b>	Nil (nula)
<b>Porcentaje de volatilidad:</b>	No está determinado
<b>Coefficiente de Partición, N-octanol/Agua:</b>	No está determinado
<b>Propiedades Explosivas:</b>	Ninguna
<b>Límites de Inflamabilidad: LEL:</b>	No está determinado
<b>Límites de Inflamabilidad: UEL:</b>	No está determinado
<b>Inflamabilidad (Sólido/Gas):</b>	No es aplicable
<b>Temperatura de Descomposición:</b>	No está determinado
<b>Propiedades de Oxidación:</b>	Ninguna

**SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

<b>10.1 Reactividad:</b>	No es reactivo. Estable bajo las condiciones de transporte y almacenamiento recomendadas.
<b>10.2 Estabilidad Química:</b>	Estable bajo condiciones normales.
<b>10.3 Posibilidad de Reacciones Peligrosas:</b>	No ocurrirán reacciones peligrosas bajo condiciones normales de transporte y almacenamiento. La reacción con oxidantes fuertes puede generar calor y causar incendios.

**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.

**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.

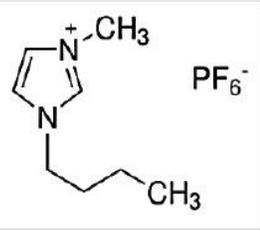
Coolube® 2210EP es un aceite limpio para trabajo con metales, con propiedades superiores de lubricación. El producto está basado en aceites vegetales y ésteres naturales, y debe usarse sin diluir, por ejemplo, en aplicadores de lubricación mínima. Este producto (o componentes, si se trata de una mezcla) 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.

- Especificaciones técnicas del líquido iónico (BMIMPF<sub>6</sub>)

70956 **Sigma-Aldrich**

1-butil-3-metilimidazolio hexafluorofosfato  
 ≥97,0% (HPLC)  
 Sinónimo: BMIMPF<sub>6</sub>

Número de CAS 174501-64-5 | Fórmula empírica (notación Hill) C<sub>8</sub>H<sub>15</sub>F<sub>6</sub>N<sub>2</sub>P | Peso Molecular 284.18 | Número MDL MFCD03093295 |  
 ID de sustancia de PubChem 57652283<sup>®</sup> | NACRES NA.22



◆ SDS Certificado de análisis (COA) productos similares

Tamaño del paquete SKU	Disponibilidad	Tamaño del paquete	Precio (USD / EUR)
70956-5G	✓ Disponible para enviar el 06.05.21 - DESDE	5 g	94,08 ★ ⓘ
70956-50G	✓ Solo quedan 4 en stock (más en camino) - DESDE	50 gramos	297,97 ★ ⓘ
70956-250G	✓ Solo quedan 3 en stock (más en camino) - DESDE	250 g	998,44 ★ ⓘ

Para solicitar productos, comuníquese con su distribuidor local. Haga clic aquí

**Propiedades**

Categorías relacionadas	Síntesis química, los líquidos iónicos de imidazolio, líquidos iónicos, Síntesis especiales
Nivel de calidad	200
ensayo	≥97,0% (HPLC)
índice de refracción	n <sub>D</sub> 20 / D 1,411 (encendido)
densidad	1,38 g / ml a 20 ° C (encendido)
SONRISAS cadena	F [P -] (F) (F) (F) F.CCCCN1 cc [n +] (C) c1
InChI	1S / C8H15N2.F6P / c1-3-4-5-1 0-7-6-9 (2) 8-10; 1-7 (2,3,4,5) 8 / h6-8H, 3-5H2, 1-2H3; / q + 1; - 1
Tecla InChI	IXQYBUDWDLYNMA-UHFFFAOYSA - N

**Descripción**

**Descripción general**  
 El hexafluorofosfato de 1-butil-3-metilimidazolio es un líquido iónico a temperatura ambiente (RTIL) hidrófobo a base de imidazolio. [4][5] Puede prepararse haciendo reaccionar 1-metilimidazol con clorobutano. [6] Los hidrofluorocarbonos (HFC) gaseosos como el fluorometano, el fluoretano y el 1,1,2,2-tetrafluoroetano son solubles en BMIMPF<sub>6</sub>. [7]

**Solicitud**  
 1-Etilyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate is an ionic liquid employed in many environmentally friendly reactions.

It can also be used as a medium for reactions such as:

- Ring-closing metathesis of diene and anyne substrates in the presence of a novel recyclable ruthenium carbene complex. [8]
- Nickel(II)acetylacetonate catalyzed oxidation of aromatic aldehydes to the corresponding acids using dioxygen as the oxidant. [9]
- Lipase-catalyzed enantioselective acylation of allylic alcohols. [10]
- Alkylation of aldehydes using tetraallylstannane to yield homoallylic alcohols. [11]

**Información de seguridad**

Símbolo  GHS07

Palabra clave Advertencia

Declaraciones de peligro H315 - H319

Consejos de prudencia P302 + P352 - P305 + P351 + P338

Equipo de protección personal Gafas con puente, guantes, multiusos cartucho combinación respirador (US), escriba ABEK (EN14387) respirador de filtro

RIDADR NCNH para todos los modos de transporte

WGK Alemania WGK 3

Punto de inflamación (F) No aplica

Punto de inflamación (C) No aplica

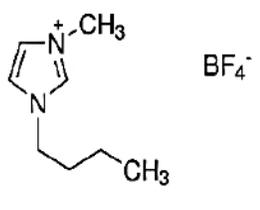
- Especificaciones técnicas del líquido iónico (BMIMBF<sub>4</sub>)

711748 **Sigma Aldrich**

Tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio  
 ≥98%

Sinónimo: BMIMBF<sub>4</sub>

Número de CAS 174501-05-0 | Fórmula empírica (notación Hill) C<sub>8</sub>H<sub>15</sub>BF<sub>4</sub>N<sub>2</sub> | Peso molecular 226.02 | Número MDL MFCD03095449 |  
 ID de sustancia de PubChem 329763065<sup>2</sup> | NACRES NA.22



◆ SDS Certificado de análisis (COA) productos similares

Tamaño del paquete SKU	Disponibilidad	Tamaño del paquete	Precio (USD / EUR)
711748-100G	✓ Disponible para enviar el 06.05.21 - DESDE	100 gramos	204.25 ★ ⓘ
711748-1KG	✓ Solo quedan 3 en stock (más en camino) - DESDE	1 kilogramo	1.130,60 ★ ⓘ

Para solicitar productos, comuníquese con su distribuidor local. haga clic aquí

**Propiedades**

Categorías relacionadas: Síntesis química, los líquidos iónicos de imidazolio, líquidos iónicos, Síntesis especiales

Nivel de calidad: 100

ensayo: ≥98%

impurezas: ≤0,5% de agua

densidad: 1,21 g / ml a 20 ° C (encendido)

SONRISAS cadena: F [B -] (F) F.CCCCn1cc [n +] (C) c1

InChI: 1S / C8H15N2.BF4 / c1-3-4-5-1 0-7-5-9 (Z) 8-10; 2-1 (3,4) 5 / h6-8H, 3-5H2,1-2H3 ; / q + 1; -1

Tecda InChI: L SBXQLQATZTAPE-JHFFFAOYSA -N

**Descripción**

**Descripción general**  
 El tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio un es un líquido iónico hidrófilo a temperatura ambiente (RTL).<sup>[1]</sup>

**Solicitud**  
 El tetrafluoroborato de 1-butil-3-metilimidazolio (BMIM) BF<sub>4</sub> se puede utilizar:

- Como medio de reacción para la preparación de mesocristales NH<sub>4</sub> TiOF<sub>3</sub>, que se convierten en nanoestructuras basadas en TiO<sub>2</sub>.
- Como fluido de trabajo junto con 2,2,2-trifluoroetano<sup>2</sup> en bombas de calor de absorción o enfriadores.<sup>[3]</sup>
- Como electrolito en baterías de iones de litio y condensadores de doble capa.<sup>[3] [4] [5]</sup>

**Información de seguridad**

Símbolo:  GHS06: GHS09

Palabra clave	Peligro
Declaraciones de peligro	H301 - H315 - H319 - H411
Consejos de prudencia	P273 - P301 + P310 + P330 - P302 + P352 - P305 + P351 + P338
Equipo de protección personal	Gafas con puente, escudos faciales, guantes, múltiples cartucho combinación respirador (US), escriba ABEK (EN14387) respirador de filtro
RIDADR	UN2810 - clase 6.1 - PG 3 - EHS - Tóxicos, líquidos, orgánicos, nos, HI: todos
WGK Alemania	WGK 3
Punto de inflamación (F)	550,4 ° F
Punto de inflamación (C)	288 ° C

- Factura de compra de los líquidos iónicos (BMIMPF<sub>6</sub>) y (BMIMBF<sub>4</sub>)



**ELICROM**

R.U.C.: 0992216964001

**FACTURA**

No. 001-001-000096839

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN:

0511202001099221696400120010010000968390009683913

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO:



0511202001099221696400120010010000968390009683913

**ELICROM CIA. LTDA.**

Dir Matriz: Cooperativa de Vivienda Guayaquil Manzana 21 Calle Primera Solar 10

Dir Sucursal: CALLE PRIMERA MZ 21 SOLAR 10

Contribuyente Especial Nro 182  
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

Razón Social / Nombres y Apellidos: Pablo Andres Guaman Penafiel

Identificación: 1804847083

Fecha Emisión: 05/11/2020

Guia Remisión:

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cant	Descripción	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
70956 5G		1.00	1 Butyl 3 methylimidazolium hexafluorophosphate				130.81	0.00	130.81
91508 5G		1.00	1 Butyl 3 methylimidazolium tetrafluoroborate				165.24	0.00	165.24

Información Adicional

Dirección: Alberto Rosero SN y Base norte

Ciudad: AMBATO

Teléfono: 032450223

Vendedor: MARCILLO OSCAR

Pedido: 001-001-000068369

Email: pandres\_1997@hotmail.com;pandres\_1997@hotmail.com

SUBTOTAL 12 %	296.05
SUBTOTAL 0 %	0.00
SUBTOTAL No objeto de IVA	0.00
SUBTOTAL Exento de IVA	0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	296.05
TOTAL Descuento	00.00
ICE	0.00
IVA 12 %	35.53
IRBPNR	0.00
PROPINA	00.00
<b>VALOR TOTAL</b>	<b>331.58</b>

Forma de Pago	Total	Plazo	Tiempo
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	331.58	1	DIAS



Página 1 de 1

