

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**MAESTRÍA EN MECÁNICA**

**(COHORTE 2017)**

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y EL DESGASTE DE  
HERRAMIENTAS DE CARBURO EN EL PROCESO DE TORNEADO PARA  
UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO AA 7075-T6 (PRODAX)”**

---

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención

Diseño

**Autor:** Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena.

**Director:** Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg

**Ambato - Ecuador**

**2020**

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y  
Mecánica**

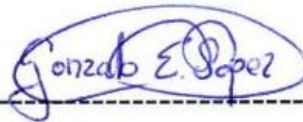
El tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por: Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg., Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y EL DESGASTE DE HERRAMIENTAS DE CARBURO EN EL PROCESO DE TORNEADO PARA UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO AA 7075-T6 (PRODAX)”, elaborado y presentado por el señor: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena, para optar por el Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



-----  
Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.  
Presidente del Tribunal



-----  
Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.  
Miembro del Tribunal



-----  
Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg.  
Miembro del Tribunal

## **AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y EL DESGASTE DE HERRAMIENTAS DE CARBURO EN EL PROCESO DE TORNEADO PARA UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO AA 7075-T6 (PRODAX)”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Leonidas Esteban Ramírez Gangotena, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg., Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena

C.C. 1717176356

**AUTOR**

Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg

C.C. 1803828266

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



---

Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena.  
C.C. 1717176356

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a Dios, y a toda mi familia.*

*A Dios, que me ha guiado en este arduo camino ayudándome a seguir adelante.*

*A los amores de mi vida a mi esposa Carina y a mi preciosa hija Amelia Rafaela; ya que sin su apoyo y sacrificio este logro no hubiese sido posible.*

*A mis padres Leonidas y Clara, ya que siempre han estado ahí donde los he necesitado, así como a mis hermanos Andrés y Pablo que me han inculcado en superarme, sin dejar de indicar también a mis sobrinos y cuñadas.*

*A toda la familia de mi esposa por su gran apoyo con el cuidado de mi hija, así como también por toda la confianza que han depositado en mi persona.*

***“PER ASPERA AD ASTRA”***

*Esteban Ramírez G.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A la que llego a ser mi nueva casa de estudio la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, con toda su planta docente y administrativa que ha hecho posible el desarrollo de éste programa de maestría.*

*A la Universidad Politécnica Salesiana, por brindarme las facilidades para continuar con mis estudios superiores.*

*A mi tutor el Ingeniero Oscar Analuiza por su acertada guía en el desarrollo de éste trabajo.*

*A mi grupo de compañeros de la maestría, ya que en ésta experiencia se ha logrado afianzar un verdadero nexo de amistad.*

*A mis compañeros de trabajo que me han apoyado de una u otra manera en la ejecución de éste programa de maestría.*

## ÍNDICE DE GENERAL DE CONTENIDOS

### PÁGINAS PRELIMINARES

TEMA .....	I
PÀGINA DE APROBACIÓN .....	II
AUTORIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVII
EXECUTIVE ABSTRACT .....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	XIX

### CAPÍTULO 1..... 1

1.1 Tema .....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico.....	2
1.2.3 Prognosis .....	3
1.2.4 Formulación del problema.....	4
1.2.5 Preguntas directrices.....	4
1.2.6 Delimitación del problema .....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos .....	6
1.4.1 General .....	6
1.4.2 Específicos.....	6

### CAPÍTULO 2..... 7

2.1 Antecedentes investigativos .....	7
2.2 Fundamentación teórica .....	10

2.2.1	Procesos de maquinados.....	10
2.2.2	Mecánica del corte.....	10
2.2.3	Tipos de virutas producidos en el maquinado.....	14
2.2.4	Fuerzas y potencia de corte producidos en el maquinado.....	18
2.2.5	Temperaturas de corte.....	21
2.2.6	Desgaste y vida útil de la herramienta de corte.....	22
2.2.8	Rugosidad superficial.....	25
2.2.9	Maquinabilidad.....	26
2.3	Fundamentación filosófica.....	27
2.4	Fundamentación legal.....	27
2.5	Categorías fundamentales.....	28
2.6	Hipótesis.....	29
2.7	Señalamiento de variables.....	29
2.7.1	Variable independiente.....	29
2.7.2	Variable dependiente.....	29
2.7.3	Término de relación.....	29
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>30</b>
3.1	Enfoque.....	30
3.2	Modalidad básica de la investigación.....	30
3.2.1	Investigación documental.....	30
3.2.2	Investigación de campo.....	31
3.3	Nivel o tipo de investigación.....	31
3.3.1	Investigación experimental.....	31
3.3.2	Investigación prospectiva.....	31
3.3.3	Investigación longitudinal.....	31
3.3.4	Investigación analítica.....	32
3.4	Población y muestra.....	32
3.4.1	Población.....	32
3.4.2	Muestra.....	32
3.5	Operacionalización de variables.....	34
3.5.1	Variable independiente.....	34
3.5.2	Variable dependiente.....	35



3.6	Procesamiento y análisis .....	35
3.7	Recolección de la información .....	36
<b>CAPITULO 4.....</b>		<b>38</b>
4.1	Procesamiento de análisis de resultados.....	38
4.2	Desarrollo experimental .....	40
4.3	Material de experimentación.....	42
4.4	Especímenes de experimentación.....	42
4.4.1	Herramientas de carburo en el proceso de torneado .....	43
4.5	Cálculo de parámetros experimentales.....	46
4.6	Experimentación.....	48
4.6.1	Programación mando EMCO EASY CYCLE.....	65
4.6.2	Ejecución del experimento .....	67
4.7	Resultados experimentales .....	68
4.7.1	Resultados de ensayos de rugosidad superficial.....	68
4.7.2	Pruebas de normalidad de datos de rugosidad .....	71
4.7.3	Resultados de ensayo de microscopía electrónica de barrido (SEM).....	74
4.7.4	Pruebas de normalidad de datos de desgaste de la herramienta de corte .....	77
4.8	Análisis de resultados.....	80
4.8.1	Análisis de resultados de rugosidad superficial.....	82
4.8.2	Análisis de resultados de desgaste de la herramienta de corte .....	87
4.9	Verificación de hipótesis .....	93
4.9.1	Verificación de la hipótesis de rugosidad superficial .....	95
4.9.2	Verificación de la hipótesis de desgaste de la herramienta de corte .....	96
<b>CAPITULO 5.....</b>		<b>102</b>
5.1	Conclusiones .....	102
5.2	Recomendaciones.....	104
<b>CAPÍTULO 6.....</b>		<b>105</b>
6.1	Tema de propuesta .....	105
6.2	Datos informativos .....	105
6.3	Antecedentes para la propuesta .....	105

6.4	Justificación .....	106
6.4.1	Inteligencia artificial.....	106
6.4.2	Redes neuronales artificiales .....	107
6.5	Objetivos .....	108
6.5.1	Objetivo General .....	108
6.5.2	Objetivos Específicos .....	108
6.6	Análisis de factibilidad.....	108
6.6.1	Análisis tecnológico .....	109
6.6.2	Fundamentación .....	109
6.7	Metodología .....	109
6.7.1	Función <i>nntool</i> para los datos de rugosidad .....	110
6.7.2	Función <i>nnstart</i> para los datos de desgaste .....	113
6.8	Validación de datos de predicción .....	116
6.8.1	Validación por medio de redes neuronales artificiales.....	117
6.8.2	Validación experimental.....	118
6.8.3	Errores de validación de respuestas .....	120
6.9	Conclusiones .....	121
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>122</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>127</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bosquejo de un proceso de corte bidimensional (corte ortogonal).....	12
Figura 2. Mecanismo básico de la formación de las virutas .....	12
Figura 3. Virutas continuas .....	15
Figura 4. Virutas de borde acumulado o recrecido BUE .....	16
Figura 5. Virutas aserradas o segmentadas .....	17
Figura 6. Virutas discontinuas.....	18
Figura 7. Fuerzas que actúan en el corte .....	19
Figura 8. Desgaste en las herramientas de corte .....	22
Figura 9. Coordenadas para la medición de rugosidad superficial .....	25
Figura 10. Marcas de avance en el cilindrado.....	26
Figura 11. Categorías fundamentales.....	28
Figura 12. Recolección de la información. ....	37
Figura 13. Procesamiento de análisis de resultados. ....	40
Figura 14. Probeta AA 7075-T6.....	43
Figura 15. Dimensiones de la probeta AA 7075-T6. ....	43
Figura 16. Porta herramienta SDJCR 2020 K1 .....	44
Figura 17. Herramienta de corte DCGX 11T304-AL H10 .....	45
Figura 18. Equivalencias de herramientas ZCC-CT .....	46
Figura 19. Parámetros de herramientas ZCC-CT.....	46
Figura 20. Compensación cero máquina – cero pieza.....	65
Figura 21. Ingreso de parámetros de la herramienta. ....	65
Figura 22. Selección del tipo de ciclo. ....	66
Figura 23. Ingreso de coordenadas de longitud .....	66
Figura 24. Ingreso de parámetros de corte .....	67
Figura 25. Mecanizado eje de aleación de aluminio AA 7075-T6 .....	67
Figura 26. Ensayo de rugosidad superficial en eje de AA 7075-T6 .....	69
Figura 27. Series de tiempo de rugosidad superficial .....	69
Figura 28. Perfil de rugosidad superficial ensayo de menor valor de rugosidad .....	70
Figura 29. Perfil de rugosidad superficial ensayo de mayor valor de rugosidad .....	71
Figura 30. Prueba de normalidad de datos de rugosidad superficial.....	72
Figura 31. Datos de rugosidad superficial (avance 0.1 [mm/rev]).....	73
Figura 32. Datos de rugosidad superficial (avance 0.3 [mm/rev]).....	73

Figura 33. Microscopio electrónico de barrido (SEM) TESCAN 01.....	74
Figura 34. Tipo de desgaste de la herramienta de corte (1.89, 489, 396, 310 x) .....	75
Figura 35. Desgaste de la herramienta de corte – filo de aportación .....	75
Figura 36. Mínimo desgaste de la Herramienta de corte para el ensayo 13.....	76
Figura 37. Series de tiempo de desgaste de la herramienta de corte.....	77
Figura 38. Máximo desgaste de la herramienta de corte para el ensayo 13.....	77
Figura 39. Datos de desgaste de la herramienta de corte .....	78
Figura 40. Datos de desgaste de herramienta de corte (avance 0.1 [mm/rev]) .....	79
Figura 41. Datos de desgaste de herramienta de corte (avance 0.3 [mm/rev]) .....	79
Figura 42. Efectos principales para rugosidad superficial .....	86
Figura 43. Interacción de rugosidad superficial.....	87
Figura 44. Efectos principales para desgaste de la herramienta de corte.....	92
Figura 45. Interacción para desgaste de la herramienta de corte .....	93
Figura 46. Distribución de probabilidad de Fisher para $VF$ (0.05: 1;11).....	94
Figura 47. Pareto de efectos estandarizados para rugosidad superficial.....	95
Figura 48. Pareto de efectos estandarizados para desgaste herramienta de corte .....	96
Figura 49. Optimización de los parámetros de corte para rugosidad superficial.....	98
Figura 50. Parámetros de optimización para minimizar la rugosidad superficial.....	98
Figura 51. Optimización de parámetros de corte para el desgaste de herramienta....	98
Figura 52. Parámetros de optimización para minimizar desgaste de herramienta.....	99
Figura 53. Optimización parámetros de corte, rugosidad superficial - desgaste .....	100
Figura 54. Parámetros óptimos para minimizar rugosidad superficial y desgaste... 100	
Figura 55. Ventana de inicio de la función <i>nntool</i> . .....	110
Figura 56. Datos de entrada Matlab, columna y fila, para usar en red neuronal.....	111
Figura 57. Vista de red neuronal entrenada, entradas, capas ocultas y salidas .....	111
Figura 58. Proceso de entrenamiento de red neuronal para obtener rugosidad .....	111
Figura 59. Simulación de aprendizaje de neurona .....	112
Figura 60. Experimento 1 - neurona aprendió en la iteración 1000.....	113
Figura 61. Inicio de elaboración de redes neuronales con Matlab <i>nstart</i> .....	113
Figura 62. Parámetros de entrada y el target en la orientación adecuada .....	114
Figura 63. Arquitectura de red neuronal artificial y entradas correspondientes .....	114
Figura 64. Entrenamiento de la red neuronal .....	115
Figura 65. Entrenamiento y aprendizaje de la neurona en 5 iteraciones.....	115

Figura 66. Proceso final de valores del output y error que se ha generado.....	115
Figura 67. Error que existe en el experimento 5. ....	116
Figura 68. Obtención de la rugosidad superficial con RNA .....	117
Figura 69. Obtención del desgaste de la herramienta de corte con RNA .....	118

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores que influyen en las operaciones de maquinado .....	11
Tabla 2. Intervalos de requerimientos de energía en operaciones de corte.....	21
Tabla 3. Intervalos de valores de $n$ , para diversos materiales .....	23
Tabla 4. Profundidades de corte permisibles, para diversas operaciones .....	24
Tabla 5. Factores y niveles experimentales.....	32
Tabla 6. Factores e interrelaciones .....	33
Tabla 7. Operacionalización de variables independientes .....	34
Tabla 8. Operacionalización de variables dependientes .....	35
Tabla 9. Datos técnicos ECOMAT E-200 .....	41
Tabla 10. Datos técnicos rugosímetro Mitutoyo SJ 210 .....	41
Tabla 11. Datos técnicos microscopio TESCAN- VEGA 3 .....	42
Tabla 12. Características mecánicas del material AA 7075-T6.....	42
Tabla 13. Características técnicas porta herramienta SDJCR 2020 K1 .....	44
Tabla 14. Características de herramienta de corte DCGX 11T304-AL H10 .....	45
Tabla 15. Cálculo de parámetros experimentales. ....	48
Tabla 16. Ficha técnica del experimento 1.....	49
Tabla 17. Ficha técnica del experimento 2.....	50
Tabla 18. Ficha técnica del experimento 3.....	51
Tabla 19. Ficha técnica del experimento 4.....	52
Tabla 20. Ficha técnica del experimento 5.....	53
Tabla 21. Ficha técnica del experimento 6.....	54
Tabla 22. Ficha técnica del experimento 7.....	55
Tabla 23. Ficha técnica del experimento 8.....	56
Tabla 24. Ficha técnica del experimento 9.....	57
Tabla 25. Ficha técnica del experimento 10.....	58
Tabla 26. Ficha técnica del experimento 11.....	59
Tabla 27. Ficha técnica del experimento 12.....	60
Tabla 28. Ficha técnica del experimento 13.....	61
Tabla 29. Ficha técnica del experimento 14.....	62
Tabla 30. Ficha técnica del experimento 15.....	63
Tabla 31. Ficha técnica del experimento 16.....	64
Tabla 32. Valores obtenidos de rugosidad superficial .....	68

Tabla 33. Valores obtenidos para ensayo de menor valor de rugosidad superficial ..	70
Tabla 34. Valores obtenidos para ensayo de mayor valor de rugosidad superficial ..	71
Tabla 35. Valores obtenidos de desgaste de la herramienta de corte.....	76
Tabla 36. Variables y valores experimentales obtenidos .....	80
Tabla 37. Terminología ANOVA .....	81
Tabla 38. Resumen análisis ANOVA $R_a$ .....	86
Tabla 39. Resumen análisis ANOVA $V_b$ .....	91
Tabla 40. Distribución de Fisher para un 95 % de confianza .....	94
Tabla 41. Parámetros de entrada de predicción .....	116
Tabla 42. Resultados de validación mediante RNA.....	118
Tabla 43. Ficha técnica validación de resultados.....	119
Tabla 44. Resultados experimentales de validación .....	120
Tabla 45. Errores de validación de respuestas .....	120

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones técnicas del torno EMCO MAT280.....	127
Anexo 2. Norma ISO 3285:1993 .....	129
Anexo 3. Ficha técnica de la aleación de aluminio AA 7075-T6 .....	130
Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial .....	131
Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte.....	147
Anexo 6. Valores de rugosidad obtenida en 16 experimentos redes neuronales .....	164
Anexo 7. Valores de errores de rugosidad entre valores de output y target.....	165
Anexo 8. Entrenamiento de la neurona para la rugosidad superficial.....	166
Anexo 9. Desgaste en 16 experimentos por redes neuronales .....	169
Anexo 10. Errores de desgaste obteniendo mejor resultado que función <i>nntoo</i> .....	170
Anexo 11. Errores del desgaste .....	171
Anexo 12. Entrenamiento de la neurona para el desgaste.....	173
Anexo 13. Informe técnico validación de rugosidad superficial.....	175
Anexo 14. Informe técnico validación de desgaste de herramienta.....	176



## RESUMEN EJECUTIVO

La aleación de aluminio AA 7075-T6 presenta ventajas debido a las propiedades mecánicas que posee, su buena maquinabilidad y costo comprensible en comparación con otros materiales. Entonces, tiene una gran amplitud en sus aplicaciones industriales, especialmente en la industria automotriz, en la aviación, en la marina, en la inyección, entre otros. El propósito de esta investigación es estudiar la incidencia de los parámetros de corte en la rugosidad superficial y en el desgaste de herramienta, para el proceso de cilindrado CNC de una aleación de aluminio AA 7075-T6.

Se ha usado una metodología experimental y los factores que han sido considerados fueron la velocidad de corte ( $V_c$ ), avance ( $f$ ), profundidad de corte ( $A_p$ ) y se experimentó con dos niveles para cada uno de estos factores. El mecanizado fue realizado en un torno CNC marca EMCO modelo EMCOMAT E-200 ejecutando 16 ensayos de acuerdo al arreglo, según el diseño experimental correspondiente a un factorial completo. Así se estableció los factores que influyen en el acabado superficial y en el desgaste de la herramienta de corte.

Mediante un análisis de varianza ANOVA, se determinó que, para la rugosidad superficial, el avance influye en un 95.91 %, la velocidad de corte un 0.00803 %, la profundidad de corte 0.1813 % y el tipo de herramienta de corte un 1.22 %. Mientras que, para el desgaste de la herramienta de corte, el avance influye en un 0.94 %, la velocidad de corte 1.84 %, la profundidad de corte 3.954 % y el tipo de herramienta de corte el 82.136 %.

En función del análisis de resultados obtenido, se determinó los parámetros de corte óptimos, estableciendo una velocidad de corte de 400 [m/min], avance de 0.1 [mm/rev], profundidad de corte de 1.5 [mm] y tipo de herramienta de corte con recubrimiento por deposición química de vapor (CVD, por sus siglas en inglés). Bajo estos parámetros, la rugosidad superficial ( $R_a$ ) fue de 0.7098 [ $\mu\text{m}$ ] y el desgaste en la herramienta de corte ( $V_b$ ) fue de 0.9233 [ $\mu\text{m}$ ].

**Descriptor:** Parámetros de corte, torno CNC, desgaste de la herramienta de corte, rugosidad, AA 7075-T6.

## EXECUTIVE SUMMARY

The aluminum alloy AA 7075-T6 has advantages due to its mechanical properties, its good machinability and its understandable cost compared against other materials. Therefore, it has a great field in its industrial applications, especially in the automotive industry, aviation, marine, injection, among others. The aim of this investigation is to study the impact of the cutting parameters in the surface roughness and the tool wear, for the CNC turning machining of an aluminum alloy AA 7075-T6.

An experimental methodology has been used and the considered factors were the cutting speed ( $V_c$ ), feed rate ( $f$ ), cutting depth ( $A_p$ ) and the experimental essays were done with two levels for each factor. The turning machining was carried out in a CNC turning machine, EMCO brand model EMCOMAT E-200 by doing 16 essays according to the arrangement, by the corresponding experimental design of a complete factorial. Thus, it was established the factors that influence in the surface finish and the cutting tool wear.

By using an ANOVA analysis of variance, it was determined that, for a surface roughness, the feed rate influences in 95.91 %, the cutting speed 0.00803 %, the cutting depth 0.1813 % and the type of cutting tool 1.22 %. Meanwhile, for the cutting tool wear, the feed rate influences in 0.94 %, the cutting speed 1.84 %, the cutting depth 3.954 % and the type of cutting tool 82.136 %.

In function of the analysis of the obtained results, it was determined the optimum cutting parameters, establishing a cutting speed of 400 [m/min], feed rate of 0.1 [mm/rev], cutting depth of 1.5 [mm] and chemical vapor deposition covering (CVD) as type of cutting tool. Under these parameters, the surface roughness ( $R_a$ ) was 0.7098 [ $\mu\text{m}$ ] and the cutting tool wear was 0.9233 [ $\mu\text{m}$ ].

**Keywords:** Cutting parameters, CNC turning machine, cutting tool wear, roughness, AA 7075-T6.

## INTRODUCCIÓN

El torneado es un proceso primario en la industria manufacturera, aunque se ha visto involucrado con información limitada y conservadora de los parámetros de corte por parte de los fabricantes de herramientas. Además, no hace referencia a la rugosidad superficial que se puede llegar a obtener bajo diferentes factores y niveles. Esto ha implicado el uso inapropiado de parámetros de corte y por la falta de información se acude al uso de datos que se han obtenido por la experiencia, siendo en la mayoría de casos parámetros no óptimos de trabajo. Por estas razones, es importante efectuar un estudio en el que se indique parámetros de corte óptimos, que permitan alcanzar una mejor rugosidad superficial y un mínimo desgaste de la herramienta. De esta manera, se podría alcanzar operaciones con alto rendimiento, minimizando costos.

Internacionalmente, el desarrollo integral de las máquinas-herramientas, herramientas de corte y estrategias de mecanizado, ha posibilitado el uso de parámetros de corte que permiten optimizar la rugosidad superficial y el desgaste de herramientas. Hoy en día existen diversas empresas alrededor del mundo, en las cuales se hacen grandes inversiones por cambiar a tecnologías de fabricación más avanzadas, como por ejemplo la del mecanizado de alta velocidad [1]. Sin embargo, no hay datos publicados que indiquen las ventajas específicas que se tienen con dichas tecnologías [2].

Existen diversas investigaciones a nivel mundial que permiten conseguir elevadas tasas de arranque de material, en el menor tiempo posible y, al mismo tiempo, obtener una rugosidad superficial coherente a las especificaciones del diseño. Estos estudios se han efectuado por investigadores como Schulz y Spur [3] que permiten establecer estrategias y condiciones de corte óptimas para el beneficio de la industria manufacturera. Así también, estudios hacen referencia a nuevos parámetros de mecanizado, en los cuales se tiene un mayor desgaste de la herramienta en comparación al mecanizado tradicional, recomendando el uso de materiales de corte más avanzados [4].

A nivel mundial, se utilizan parámetros de corte que son recomendados por fabricantes, pero estos se tornan muy conservadores para mantener la integridad de las herramientas. A nivel nacional y local, se usan parámetros recomendados, aunque no correspondan al material y la metodología es utilizar parámetros de mecanizado que

se han ido desarrollando con la experiencia. No son parámetros adecuados para las operaciones realizadas, dando como resultado piezas con una baja rugosidad superficial y herramientas con un desgaste acelerado. Por lo cual es necesario conocer parámetros de corte óptimos.

A nivel local, el grupo de investigación de la Universidad Politécnica Salesiana realiza una serie de estudios sobre el mecanizado de la aleación de aluminio AA 7075-T6, con la finalidad de caracterizar el mecanizado del material, tomando relevancia el estudio del presente proyecto al formar parte de los mismos. Al establecer parámetros de corte adecuados en el proceso de torneado para una aleación de aluminio AA 7075-T6, se logró obtener una adecuada rugosidad superficial y un mínimo desgaste de la herramienta de corte, comparada con las obtenidas en procesos de maquinado sin el previo análisis.

El Capítulo I es el diseño de la investigación y, a la vez, el mismo contiene el tema, el planteamiento del problema, la contextualización, el análisis crítico, la prognosis, la formulación del problema, las preguntas directrices, la delimitación del problema, la justificación y los objetivos.

El Capítulo II estudia el marco referencial, en el que se presenta los antecedentes investigativos, la fundamentación teórica, la fundamentación filosófica, fundamentación legal, las categorías fundamentales, el planteamiento de la hipótesis, el señalamiento de las variables y sus términos de relación.

El Capítulo III abarca la modalidad de la investigación, donde se expone temas de estudio, como el enfoque, la modalidad básica de la investigación, los niveles o tipo de investigación, la población y la muestra, la operacionalización de variables, la recolección de la información y el proceso y análisis de los datos.

El Capítulo IV se enfoca en la experimentación, mostrando la selección de materiales y herramientas a utilizar, datos experimentales alcanzados, tabulación de datos, análisis estadístico de los datos, optimización de los parámetros de corte.

El Capítulo V se titula conclusiones, donde se expone todas las conclusiones a las que se ha llegado en el presente trabajo de investigación después de analizar los resultados obtenidos.

En Capítulo VI es la propuesta, la cual hace uso de redes neuronales artificiales para poder predecir la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte, en base a los datos experimentales obtenidos en el Capítulo IV.

El alcance que se tiene en este proyecto viene dado por el estudio de los parámetros de corte que intervienen en el proceso de torneado de una aleación de aluminio AA 7075-T6. Específicamente, se ha estudiado la velocidad de corte, el avance y la profundidad de corte con dos niveles de estudio para cada uno de ellos. Con estos parámetros se ha ejecutado la experimentación y se encuentra parámetros de corte óptimos que tengan influencia para obtener la mejor rugosidad superficial y el menor desgaste de la herramienta de corte.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 Tema

ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL Y EL DESGASTE DE HERRAMIENTAS DE CARBURO EN EL PROCESO DE TORNEADO PARA UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO AA 7075-T6 (PRODAX).

## 1.2 Planteamiento del problema

### 1.2.1 Contextualización

Hoy en día cuando la tecnología de fabricación cambia rápidamente, y existe la solicitud de fabricación de piezas con una mayor demanda de calidad, es de gran interés conocer parámetros óptimos de mecanizado, ya que permitirán incrementar la eficiencia del proceso, reduciendo los costos de fabricación que son perseguidos por todas las industrias.

Por las nuevas tendencias de fabricación se hace necesario el uso de nuevos materiales que presenten mejores características para determinadas aplicaciones, por lo tanto, las aleaciones de aluminio tienen una gran aplicación en nuestra industria, tomando en cuenta que el aluminio puro no es tan usado en la industria, más bien son usadas aleaciones con otros materiales como el zinc, silicio, y otros minerales, ya que con los mismos se mejora las características del material base generando grandes aplicaciones en diversos requerimientos.

La aleación de aluminio AA 7075-T6, es un material que tiene excelentes características, por ejemplo, entre sus propiedades mecánicas tiene una buena resistencia a la fatiga, sin dejar de ser un material muy ligero, además tiene maquinabilidad muy aceptable en comparación con otros materiales, por tanto, se está ampliando su uso en la industria con aplicaciones en las que sea necesario tener sus características técnicas en función a otras aleaciones que son mucho más costosas.

A pesar de las buenas características que presenta la aleación de aluminio AA 7075-T6, no existe suficiente información técnica en la que se indiquen parámetros de corte exactos en el mecanizado CNC de dicho material, especialmente en el proceso de torneado con su operación de cilindrado, ya que actualmente la tecnología CNC (control numérico computarizado) permite que las máquinas herramientas opten por operaciones sumamente más complejas que las ejecutadas con máquinas convencionales, produciéndose mecanizados que tengan mejores especificaciones técnicas y a la vez se disminuye los tiempos de producción y por tanto sus costos.

Al conocer parámetros de corte específicos para el mecanizado de ésta aleación, se logrará obtener una mejor rugosidad superficial, así como un menor desgaste de la herramienta de corte, con lo que se logra aumentar la vida útil de la herramienta. Se debe considerar que en el mecanizado se ven involucradas distintas variables, entre dependientes e independientes, designadas como dependientes a las variables sobre las cuales el operario no tiene control, como puede ser las fuerzas de corte, la rugosidad superficial, el desgaste de la herramienta y otros; y las independientes que vienen a ser las variables en las cuales el operario tendrá un control directo con lo que puede manejar o configurar el proceso, entre las principales variables independientes podemos citar a los parámetros de corte en el mecanizado, las características del material, herramientas de corte, entre otras.

La tendencia actual de diferentes estudios es la de minimizar el desgaste de la herramienta de corte, pero a la vez se tiene como objetivo mantener o mejorar la rugosidad superficial de la pieza mecanizada, por lo cual éstos parámetros se han vuelto uno de los paradigmas del mecanizado, por lo cual se ejecutará varios ensayos en los cuales se tiene diferentes niveles de las variables independientes, para nuestro caso serán los parámetros de corte, y mediante un análisis estadístico se logrará determinar los parámetros de corte que generen la mejor rugosidad superficial con el menor desgaste de la herramienta de corte.

### **1.2.2 Análisis crítico**

A nivel nacional no se hace ningún tipo de intervención por conocer parámetros de corte adecuados para el mecanizado de elementos mecánicos, en vista del uso de nuevas tecnologías de mecanizado es importante conocer parámetros de corte óptimos que proporcionen información necesaria para obtener una rugosidad superficial adecuada, así como un mínimo desgaste de la herramienta de corte.

El torneado siendo un proceso primario en nuestra industria manufacturera, se ha visto involucrado con información limitada y conservadora de los parámetros de corte por parte de los fabricantes de herramientas, además no hace referencia a la rugosidad superficial que se puede llegar a obtener; lo que ha implicado el uso inapropiado de parámetros de corte, también por la falta de información se acude al uso de datos que se han obtenido por la experiencia, siendo en la mayoría de casos parámetros no óptimos de trabajo.

A nivel de educación superior se han comenzado a ejecutar estudios en los cuales se tiene como base el material motivo de estudio, sin embargo, es importante complementar dichos estudios con uno que indique parámetros de corte óptimos en el proceso de torneado CNC, que permitan alcanzar una excelente rugosidad superficial y un mínimo desgaste de la herramienta; siendo viable con los equipos y herramientas tecnológicas que se tiene.

### **1.2.3 Prognosis**

Por la problemática existente en el mecanizado de la aleación de aluminio AA 7075-T6, es de suma importancia el estudio de los parámetros de corte para obtener piezas mecanizadas con una buena rugosidad superficial y un mínimo desgaste de la herramienta de corte, sin embargo, si no se realiza éstos análisis la industria seguirá utilizando parámetros de corte inadecuados obtenidos generalmente por la experiencia, tomando en cuenta que se corre el riesgo de que se obtengan piezas mecanizadas no acordes a las especificaciones necesarias.

Al no conocer parámetros de corte adecuados para el cilindrado de la aleación de aluminio AA 7075-T6, se tendrá un proceso que incurra en un desgaste excesivo de la herramienta de corte, generando cambios de herramientas con mayor frecuencia que incurran en un mayor tiempo de proceso de la pieza mecanizada, e inevitablemente en un aumento en los costos de producción de las piezas mecanizadas.

El actual panorama industrial que se tiene en el país, se centra en la fabricación de piezas mecanizadas con una gran calidad en los productos obtenibles, sin embargo, si no se realiza un proceso adecuado será muy difícil obtenerlo, por tanto, para alcanzar niveles de mejora deseados se debe evolucionar con el uso adecuado de parámetros de corte en el mecanizado.



#### **1.2.4 Formulación del problema**

¿Cómo abordar la problemática de la manufactura de la aleación de aluminio AA 7075-T6 (Prodax), para obtener productos mecanizados con buena rugosidad superficial y un desgaste mínimo de la herramienta?

#### **1.2.5 Preguntas directrices**

¿Cuáles son los parámetros de corte en el proceso de torneado de una aleación de aluminio AA 7075-T6 que inciden en la rugosidad superficial y en el desgaste de la herramienta?

¿Cómo evaluar de una manera factible la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta en un mecanizado?

¿Cómo se obtiene los parámetros que permiten optimizar el desgaste de herramientas y la rugosidad superficial en el proceso de torneado en una aleación de aluminio AA 7075-T6 (Prodax)?

#### **1.2.6 Delimitación del problema**

##### **1.2.6.1 Delimitación de contenidos**

Este estudio se centra en el análisis de los parámetros de corte en el proceso de torneado de la aleación de aluminio AA 7075 T6 que inciden en la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta, con fundamentos en el campo de la Maestría en Mecánica con mención en Diseño en el área de Materiales con los módulos de Materiales para Ingeniería, Diseño de Experimentos, Diseño mecánico de equipos.

##### **1.2.6.2 Delimitación espacial**

Los ensayos a realizarse en esta investigación fueron realizados en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS). Para la experimentación, se utilizaron los laboratorios de CNC, Metrología y Metalografía. Adicionalmente, también se requirió del uso del microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) de la Universidad Técnica de Ambato (UTA).

##### **1.2.6.3 Delimitación temporal**

El presente estudio se desarrollará en los meses comprendidos entre Julio del 2018 a noviembre del 2019.

### **1.3 Justificación**

En vista que la aleación de aluminio AA 7075-T6 (Prodax), tiene características especiales como una alta resistencia, un bajo peso, una alta conductividad térmica, una buena resistencia a la corrosión, y además permite ser tratado superficialmente; se lo utiliza continuamente en aplicaciones para el transporte, aviación, náutica, automovilismo, en la industria del modelismo, prototipaje y fabricación de moldes; ya que está siendo utilizado en la industria local, se torna un material adecuado para efectuar estudios complementarios no existentes, además se podrá generalizar los resultados obtenidos para diferentes niveles de experimentación, conociéndose en gran medida como se comportan los diferentes parámetros de corte en función de la rugosidad y del desgaste de la herramienta de corte.

Al establecer parámetros de corte adecuados en el proceso de torneado para una aleación de aluminio AA 7075-T6, se obtendrá una adecuada rugosidad superficial y un mínimo desgaste de la herramienta de corte, por lo cual se podrá hacer uso de dichos parámetros para solucionar problemas que se han venido teniendo en el mecanizado de éste tipo de aleaciones de aluminios utilizados en la industria. Con parámetros de corte óptimos se podrán beneficiar todos los centros de mecanizado que trabajen con este material, ya que se consigue tener un alto valor de metal removido con buena rugosidad superficial y un aumento en la vida útil de las herramientas de corte. Hoy en día cuando la tecnología de fabricación cambia rápidamente, y existe la solicitud de fabricación de piezas con una mayor demanda de calidad, es de gran interés conocer parámetros óptimos de mecanizado, ya que nos permitirán incrementar la eficiencia del proceso, reduciendo los costos de fabricación que son perseguidos por todas las industrias.

La presente investigación tiene una metodología exploratoria y aplicada, con un nivel experimental, se distingue de otras investigaciones ya que se ejecuta el estudio de la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta con el uso de diferentes parámetros de corte, además se hace uso de técnicas e instrumentos para ejecutar el análisis de la rugosidad superficial y del desgaste de la herramienta de corte, por lo cual en los últimos años se ha encontrado incrementado el número de investigaciones relacionados con la evaluación de la vida de la herramienta de corte y la rugosidad superficial, pero no se ha encontrado precedentes de estudios similares, para la operación y material objeto de estudio, por tal motivo se encuentra viable el caso de investigación propuesto.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

Estudiar la rugosidad superficial y el desgaste de herramientas de carburo en el proceso de torneado para una aleación de aluminio AA 7075-T6 (Prodax).

### **1.4.2 Específicos**

- Realizar una investigación exhaustiva del estado del arte sobre el proceso de torneado.
- Determinar los parámetros de corte en función de obtener la mejor rugosidad superficial y el menor desgaste de la herramienta de corte.
- Desarrollar el diseño experimental, mediante la combinación de los parámetros de corte influyentes en la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta.
- Analizar los resultados de rugosidad superficial y desgaste de la herramienta para efectuar la optimización de los parámetros de corte.

## CAPÍTULO 2

### 2.1 Antecedentes investigativos

Vargas et al. [5] desarrollaron un modelo predictivo para la calidad superficial en un proceso de torneado sobre aceros de alta resistencia. Se estudió cómo influyen los parámetros de corte con respecto a la calidad superficial de un proceso de cilindrado, estableciendo valores fijos para el avance, la velocidad de corte y la profundidad de corte, y establecer el control del proceso de mecanizado. Los autores utilizaron el análisis de varianza (ANOVA), con la técnica de optimización de superficie de respuesta, obteniendo el grado de dependencia del acabado superficial respecto a los parámetros de corte, con lo que se obtiene un modelo en el cual es posible predecir el acabado superficial mediante la combinación de los parámetros de corte.

La contribución al desarrollo del proceso de selección de centros de mecanizado de alta velocidad, basados en parámetros tecnológicos y de productividad fue presentada por Albertí [6]. Propone un tipo de metodología que interviene las variables tecnológicas como la parte económica, determinando las variables con mayor influencia en el proceso de mecanizado, tomando en cuenta la calidad de las piezas mecanizadas y la economía en efectuarlas, el trabajo experimental es realizado sobre piezas de aluminio, el modelo es implementado con el análisis de redes neuronales basado en el resultado experimental obtenido.

Rubio [7] trabajó en la optimización de parámetros de corte y detección de desgaste en herramienta de corte para un proceso de mecanizado a alta velocidad utilizando redes neuronales y algoritmos genéticos. Modeló un proceso de fresado mecanizado a alta velocidad (HSM, por sus siglas en inglés) con el uso de redes neuronales, y a la vez optimiza parámetros de corte mejorando la calidad en la pieza manufacturada, utilizando cinco parámetros de corte como entrada y la rugosidad como salida, en la optimización, se encuentran valores óptimos para Ra (0.20-0.25) con la condición de herramienta semi-desgastada o desgastada.

La influencia de los sistemas de lubricación en el acabado superficial en la punta del eje superior del Nissan Patrol en el proceso de torneado fue estudiada por Vaca y Villacrés [8]. Analizaron el mecanizado (torneado) de un eje de acero AISI 1045, con diferentes parámetros de corte, a la probeta se le hicieron pruebas de dureza, espectrometría, micrografía, tomas de medidas de rugosidad y temperatura, y se efectúa un análisis por elementos finitos, con el fin de encontrar el tipo de ángulo del inserto, el tipo de lubricación para la obtención de un mejor acabado superficial. Con éste estudio se concluye que es superior el efecto del acabado superficial con el uso de sistemas de lubricación de mínima cantidad de lubricante (MQL), específicamente aceite vegetal en comparación al mecanizado en seco.

Khan et al. [9] investigaron acerca de la preparación de los bordes en insertos, la dureza de la pieza de trabajo y los parámetros de operación en torneado del acero AISI D2 endurecido. Evaluaron el efecto que se tuvo en los insertos para una determinada geometría en un régimen de dureza crítica del material. Se utilizó dos geometrías con chaflán ( $0,15 \text{ mm} \times 25^\circ$ ) y chaflán más afilado ( $0,15 \text{ mm} \times 25^\circ - 25$ ) [ $\mu\text{m}$ ], realizando un diseño factorial con 18 probetas, 2 niveles de dureza del material, 3 tipos de insertos, 3 velocidades de corte y 3 profundidades, respectivamente. Se aplicó el análisis de varianza ANOVA efectuado en el software Minitab, con lo que se encuentra que la dureza de la pieza de trabajo determina el desgaste de la herramienta. El tipo de inserto utilizado representa el acabado superficial de la pieza mecanizada.

En la investigación efectuada por Correa et al. [10], se analizó los factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado. Mediante un estudio general de los parámetros que afectan el acabado superficial, se presentó una idea de un modelo de predicción del acabado superficial. Los parámetros de estudio fueron la velocidad de avance, la profundidad de corte, la velocidad de giro y para efectuar el estudio se usaron acelerómetros, dinamómetros. Como técnicas, se utilizó la regresión lineal y redes neuronales artificiales.

La influencia de los parámetros de corte y geometría de la herramienta en la rugosidad superficial obtenida en operaciones de torneado del bronce SAE 40 fue estudiada por Pereira y Ruiz [11]. Mediante gráficas, se presentó el comportamiento de la rugosidad en función de las variables de estudio (avance, profundidad, velocidad de corte, geometría

de la herramienta de corte). Además se realizó el mecanizado en seco (sin uso de lubricantes de corte), se ejecutó un análisis de varianza ANOVA Multifactorial. El análisis indica que con un 72.83 %, el avance contribuye para el incremento de la rugosidad superficial. En cambio, con un 0.31 %, lo hace la velocidad por lo que se puede indicar que esta influye de una manera muy poco significativa. Con el 12.56 %. influye en el cambio del radio de la punta de la herramienta, por lo cual se debe ejecutar la operación con un avance muy pequeño, y un radio de punta muy grande, independientemente de la profundidad y de la velocidad de corte.

El efecto de la temperatura en la microestructura y propiedades mecánicas de la AA 7075-T6 en el mecanizado fue analizado por Fergani et al. [12]. Se observó cómo influye la temperatura en el tamaño y la dureza del grano subsuperficial utilizando tres profundidades de corte, con un inserto de 0.013 mm de radio y 8 ° de ángulo de corte. Los parámetros de corte fueron seleccionados en base a estudios de estrategias de corte previamente realizadas. Se utilizó la ecuación de Hall-Petch como medio de predicción de la dureza.

Xie et al. [13] seleccionaron los parámetros de corte óptimos para la optimización en el ahorro de energía y una alta calidad superficial. En el estudio se consideró efectos del desgaste de la herramienta y una serie de combinaciones de parámetros de corte (velocidad de giro del husillo, velocidad de avance y profundidad de corte), con una tasa fija de eliminación de material. El modelo de optimización fue realizado en base al método NSGA-III, con lo cual se determinó las mejoras en el proceso de corte, así como pronósticos de los mismos.

La influencia de los parámetros de mecanizado en la rugosidad superficial de una aleación de titanio en el torneado, así como su optimización, fue estudiada por Venkata y Shamuka [14]. La metodología de diseño de Taguchi fue utilizada, con lo cual se obtiene que las herramientas no revestidas con trabajo a bajas velocidades de corte fueron los parámetros de corte óptimos. Con altas velocidades de corte y herramientas recubiertas, se efectuó un análisis de varianza ANOVA, en el que se encuentra que la velocidad de alimentación incide para minimizar la rugosidad superficial ya sea para herramientas con o sin recubrimiento.

## **2.2 Fundamentación teórica**

### **2.2.1 Procesos de maquinados**

El maquinado es un término general que describe un grupo de procesos cuyo propósito es la remoción de material y la modificación de las superficies de una pieza de trabajo, después de haber sido producida por diversos métodos. Por ende, el maquinado comprende operaciones secundarias y de acabado [15].

Consiste en distintos tipos de procesos de remoción de material entre los cuales se tiene:

- Procesos avanzados de Maquinado, que pueden utilizar métodos químicos, eléctricos, térmicos, entre otros.
- Corte, con el uso de herramientas de corte que pueden ser de un solo filo o de varios fillos con geometrías claramente definidas.
- Procesos abrasivos, que puede ser el rectificado.

Las máquinas en las cuales se pueden realizar procesos de maquinados se llaman máquinas – herramientas, éstas son de gran importancia ya que depende de las mismas para obtener la precisión dimensional y el acabado superficial, en general para ver la calidad de la pieza manufacturada.

Para obtener un maquinado eficiente, se debe tratar a las operaciones a realizarse en forma de un sistema (pieza de trabajo, máquina herramienta, herramienta de corte y personal de producción) con un adecuado conocimiento de las interacciones entre ellas.

### **2.2.2 Mecánica del corte**

Conocidos los parámetros de corte que influyen en el maquinado, es importante conocer las variables independientes y dependientes del proceso, en las cuales se tiene variables independientes:

- Material y recubrimiento de la herramienta de corte.
- Geometría de la herramienta de corte (forma, filo, acabado superficial).
- Parámetros de corte (velocidad, profundidad y avance de corte).
- Fluidos de corte.
- Material a ser maquinado.
- Modo de sujeción de la pieza de trabajo.
- Particularidades de la máquina herramientas.

Así como variables dependientes

- Tipo de viruta originada en el proceso.
- Incremento en la temperatura entre la herramienta de corte, la viruta producida y el material a ser maquinado.
- Energía y fuerza entregada en el corte.
- Acabado superficial de la pieza mecanizada.
- Desgaste (o falla) de la herramienta de corte.

Para conocer la mecánica del corte en la tabla 1 se muestran los factores que están inmersos en el proceso.

Tabla 1. Factores que influyen en las operaciones de maquinado [15].

<b>Parámetro</b>	<b>Influencia y Relación</b>
Velocidad de corte, profundidad de corte, avance, fluidos de corte	Fuerzas, potencia, elevación de temperatura, vida útil de la herramienta, tipo de viruta, acabado e integridad superficial.
Ángulos de la herramienta	Influencia en la dirección de flujo de la viruta; resistencia al desgaste y astillado de la herramienta.
Viruta continua	Buen acabado superficial; fuerzas estables de corte; indeseable, en particular en la maquinaria automatizada.
Viruta de borde acumulado o recrecido Viruta discontinua	Acabado e integridad superficial deficientes; si es delgada y estable, el borde acumulado puede proteger las superficies de la herramienta.
Elevación de la temperatura	Influye en la vida útil de la herramienta, en particular en la craterización y en la precisión dimensional de la pieza de trabajo; puede provocar daño térmico a la superficie de la pieza de trabajo
Desgaste de la herramienta	Influye en el acabado e integridad superficial, la precisión dimensional, la elevación de la temperatura, las fuerzas y la potencia.
Maquinabilidad	Relacionada con la vida útil de la herramienta, el acabado superficial, las fuerzas y la potencia y el tipo de viruta.

Conocidos todos los parámetros y las variables que intervienen en la mecánica del corte, es importante analizar la formación de la viruta, para lo cual se debe conocer el modelo M. E. Merchant, o modelo de corte ortogonal como se presenta en la figura 1. Un corte ortogonal posee un plano de cizallamiento correctamente definido, en la cual se puede



observar las variables independientes, geometría de la herramienta, velocidad de corte  $V$ , profundidad de corte [16]. La herramienta posee un ángulo de ataque  $\alpha$  que puede ser positivo o negativo, además tiene un ángulo de alivio o de holgura.

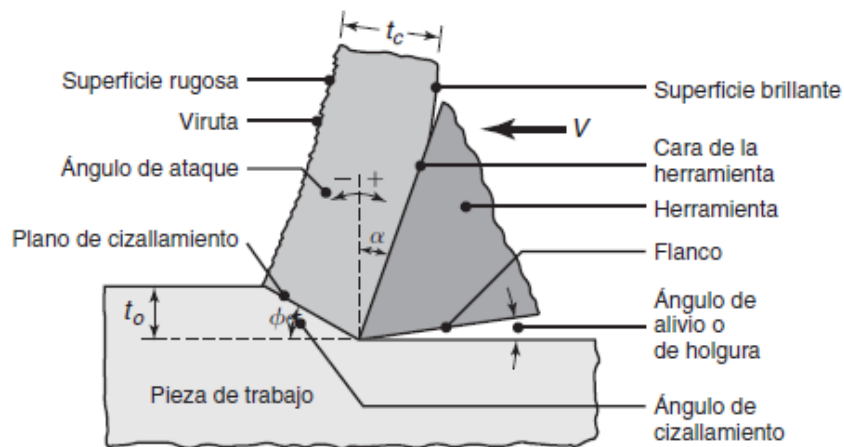


Figura 1. Bosquejo de un proceso de corte bidimensional (corte ortogonal) [15].

Se ha demostrado que el corte se da por cizalladura como se puede observar en la figura 2. Ésta ocurre cuando se da a lo largo de un plano bien definido que es llamado plano de cizallamiento o cortante, en la parte inferior de éste plano se encuentra la pieza de trabajo la cual se encuentra sin ningún tipo de deformación, por la parte superior de la pieza se encuentra la viruta formada sobre la cara de ataque que posee la herramienta.

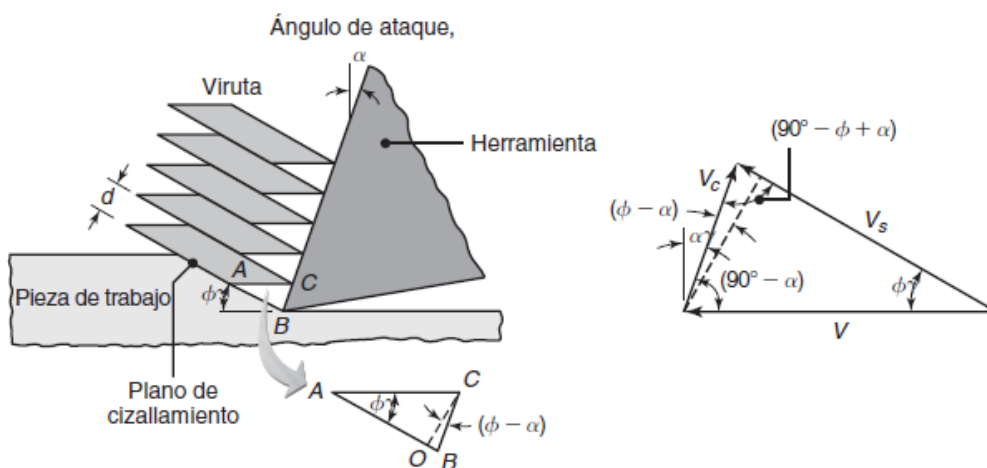


Figura 2. Mecanismo básico de la formación de las virutas [15].

### 2.2.2.1 Relación de corte

Conocida la profundidad de corte ( $t_o$ ),  $\alpha$  y  $\phi$  es posible calcular el espesor de la viruta que se tendrá ( $t_c$ ), existe una relación entre  $t_o$  y  $t_c$  conocida como relación de corte o relación espesor viruta ( $r$ ), determinándose una relación entre ángulos que nos dan las siguientes expresiones:

$$\tan \phi = \frac{r \cdot \cos \alpha}{1 - r \cdot \sin \alpha} \quad Ec. 1$$

$$r = \frac{t_o}{t_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad Ec. 2$$

El valor de  $r$  siempre será menor a la unidad ya que el espesor de la viruta es más grande que la profundidad de corte, existe el recíproco de  $r$  que es llamado relación de compresión de la viruta (la medida de que tan gruesa es la viruta respecto a la profundidad de corte que se esté usando en el maquinado), ésta relación será mayor a la unidad. La profundidad de corte también es llamada espesor sin deformación de la viruta.

La relación de corte tiene gran importancia y utilidad ya que permite valorar las condiciones de corte, en vista que el espesor sin deformación de la viruta ( $t_o$ ) viene dado por parámetros de la máquina conocidos. La relación  $r$  es fácilmente calculable tomando la medida del espesor de la viruta, además si es conocido el ángulo de ataque en relación de la geometría de la herramienta y a la pieza a ser maquinada se podrá calcular el ángulo de cizallamiento. Dado que se refiere a  $t_o$  como la profundidad de corte en un maquinado como el que interesa en la investigación, éste será tomado como el avance.

### 2.2.2.2 Deformación cortante o cizallamiento

Al realizar el análisis matemático de la figura 2, la deformación cortante o de cizallamiento es:

$$Y = \cot \phi + \tan(\phi - \alpha) \quad Ec. 3$$

En donde se puede deducir que con ángulos pequeños de cizallamiento o también al tener ángulos de ataque bajos o negativos se tendrá deformaciones cortantes grandes. La importancia del ángulo de cizallamiento viene dada ya que en las operaciones de corte interviene en los requerimientos de potencia y fuerza, así como del espesor de la viruta y la temperatura en el mecanizado, se han obtenido expresiones como las siguientes:

$$\phi = 45^\circ + \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2} \quad Ec. 4$$

Donde  $\beta$  corresponde al ángulo de fricción que tiene relación con el coeficiente de fricción  $u$  que se da entre la herramienta y la viruta,  $u$  viene expresado como  $u = \tan \beta$ , también se ha obtenido la expresión:

$$\phi = 45^\circ + \alpha - \beta \quad Ec. 5$$

De las ecuaciones anteriores se puede considerar que al decrecer el ángulo de ataque o al incrementar la fricción entre la herramienta y la viruta, el ángulo de cizallamiento se reducirá; por tanto, la viruta saldrá con más grosor, una viruta con más grosor supone un incremento en la disipación de energía, en vista que la deformación cortante será mayor, y ya que el trabajo realizado conlleva calor, existe un aumento en la temperatura durante el maquinado.

### 2.2.2.3 Velocidad en la zona de corte

Como se indicó anteriormente el espesor de la viruta es más grande que la profundidad de corte, por lo cual la velocidad de corte ( $V$ ) será mayor que la velocidad de la viruta ( $V_c$ ), de donde se tiene que:

$$V_c = \frac{V \cdot \text{sen } \phi}{\cos (\phi - \alpha)} \quad \text{Ec. 6}$$

Al construir el diagrama de velocidades de la figura 2, se llega a obtener la siguiente expresión:

$$r = \frac{t_o}{t_c} = \frac{V_c}{V} \quad \text{Ec. 7}$$

### 2.2.3 Tipos de virutas producidos en el maquinado

Las virutas producto del maquinado poseen dos superficies, la que se encuentra en contacto directo con la cara de ataque de la herramienta (brillante y pulida) que es provocada por el rozamiento según se va desplazando la viruta hacia arriba de la cara de la herramienta; y la superficie que tiene su origen en la pieza de trabajo (rugosa y mellada) que es provocada por el mecanismo de cizallamiento, la misma que se encuentra expuesta al ambiente y no ha entrado en contacto con ningún cuerpo [17]. Existen cuatro tipos de virutas formados en el corte de materiales. Las virutas continuas, de borde acumulado, aserradas y discontinuas. Cada una de estas virutas se describen a continuación, así como esquemáticamente.

#### 2.2.3.1 Virutas continuas

Formadas de materiales que son dúctiles, maquinados con uso de altas velocidades de corte, o con grandes ángulos de ataque como se puede observar figura 3.

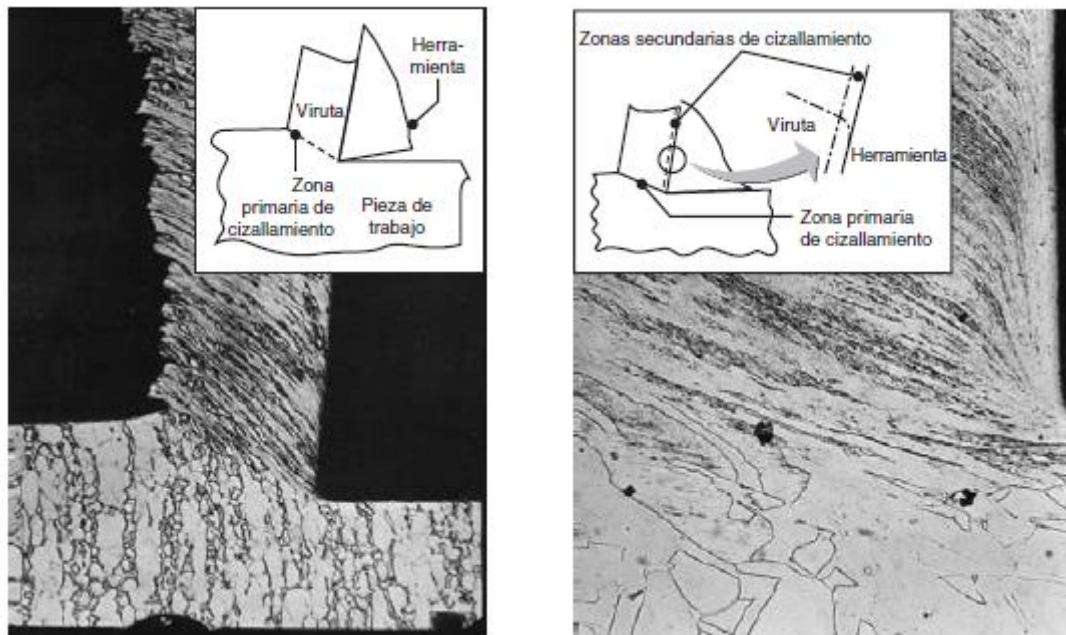


Figura 3. Virutas continuas [18].

La deformación que se da en el material ocurre en la extensión de una pequeña zona de cizallamiento, también se pueden dar cuando la deformación se encuentra en la parte inferior de la superficie maquinada, situación que generalmente se da en materiales blandos con el uso de bajas velocidades de corte y ángulos de ataque, generando un bajo acabado superficial e incitando a esfuerzos residuales sobre la superficie. Las virutas continuas son deseadas en los procesos de maquinados porque generan un buen acabado superficial, pero a la vez también traen dificultades ya que por la geometría de la viruta tienden a interrumpir el normal desarrollo del proceso, por tanto se deben hacer para limpiar la virutas, en vista que éstas pueden atorarse en los mecanismos de la máquina herramienta [19]. Por lo cual, se ha introducido el uso de herramientas que posean rompevirutas o a su vez se pueden cambiar los parámetros de corte para no llegar a tener estos inconvenientes.

### 2.2.3.2 Virutas de borde acumulado o recreado

Las virutas de borde acumulado (BUE, por sus siglas en inglés) son virutas que residen en capas de material de la pieza maquinada, que se van acumulando gradualmente en la punta de la herramienta de corte como se puede observar en la figura 4, al incrementarse el BUE se llega a un punto de inestabilidad para su posterior ruptura. Una cantidad del BUE se va quitando con la cara de la herramienta de la viruta, pero el material restante se queda en la superficie de la pieza maquinada, este ciclo se repite de manera constante lo

que conlleva a tener un cambio de la geometría del filo de la herramienta de corte desafilándola.

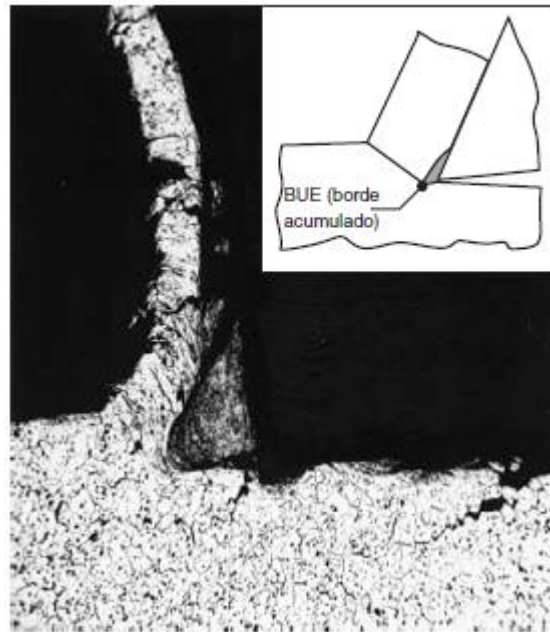


Figura 4. Virutas de borde acumulado o recreado BUE [18].

Este factor es de gran importancia ya que afecta de manera contraproducente al acabado superficial de la pieza maquinada, no obstante, un BUE que sea delgado y estable es considerado deseable ya que ayuda a reducir el desgaste de la herramienta de corte ya que se protege la cara de ataque.

La formación del BUE se puede reducir de las siguientes maneras:

- Incremento de las velocidades de corte.
- Reducción de la profundidad de corte.
- Aumento del ángulo de ataque.
- Uso de herramientas correctamente afiladas.
- Uso de fluidos de corte adecuados.
- Uso de herramientas de corte adecuadas.

### 2.2.3.3 Virutas aserradas o segmentadas

También llamadas no homogéneas, son virutas semicontinuas, que poseen zonas grandes de baja deformación cortante y pequeñas zonas con una alta deformación cortante, como se puede observar en la figura 5. Estas virutas se encuentran en metales que tienen una baja conductividad térmica, y resistencia que van disminuyendo de forma abrupta con la

temperatura (muy notable en el titanio), a estas virutas se la ve con una apariencia aserrada.

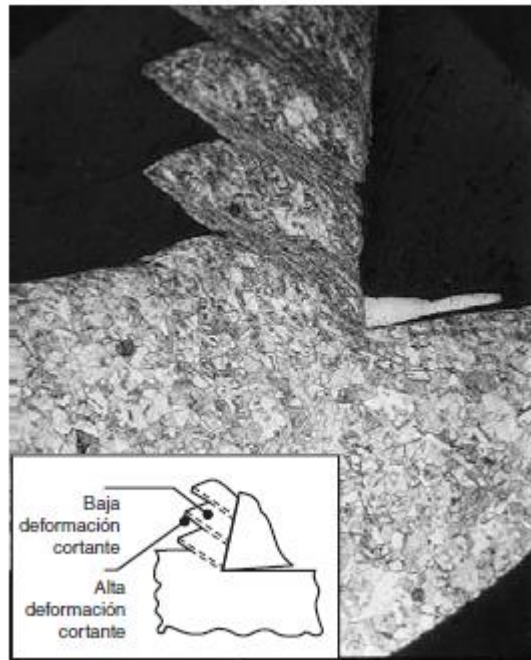


Figura 5. Virutas aserradas o segmentadas [18].

#### 2.2.3.4 Virutas discontinuas

Estas virutas se dan en segmentos que tienen la capacidad de estar firmemente sujetos uno a otro, o la vez pueden estar muy sueltos, como se puede observar en la figura 6, este tipo de virutas se pueden formar por las siguientes condiciones:

- Piezas a ser maquinadas muy frágiles.
- Materiales a ser maquinados con introducción de impurezas o inclusiones.
- Velocidades de corte que sean muy altas o bajas.
- Altas profundidades de corte.
- Pequeños ángulos de ataque.
- Inexistencia de un fluido de corte adecuado.
- Portaherramientas con poca rigidez (permitiendo vibraciones).

Estas virutas hacen que las fuerzas vayan variando de una manera continua durante el maquinado, por lo tanto, se pueden generar vibraciones y traqueteos que afectarán el acabado superficial y las dimensiones de la pieza maquinada, además en cuestión de la herramienta de corte se pueden causar un desgaste temprano o daño en la misma.

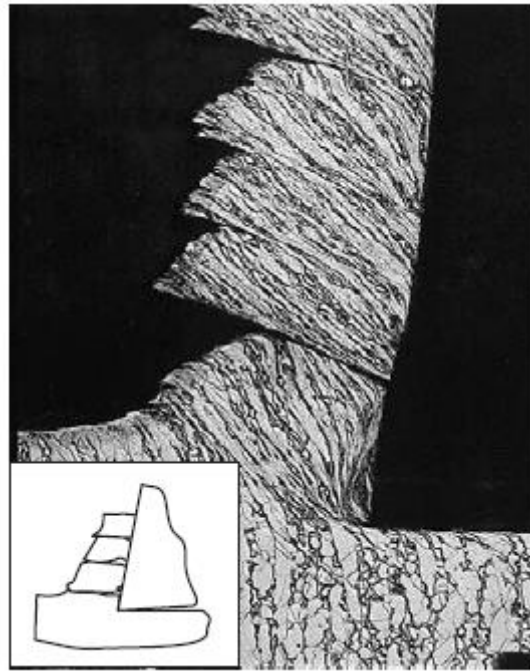


Figura 6. Virutas discontinuas [18].

#### 2.2.4 Fuerzas y potencia de corte producidos en el maquinado

Las fuerzas de corte son de gran importancia ya que permiten realizar el diseño de la máquina herramienta, éste diseño debe ser efectuado para minimizar las distorsiones y conservar la precisión dimensional, además se usa para poder seleccionar los portaherramientas y los dispositivos de sujeción. La potencia ayuda a la selección de la máquina herramienta con la potencia eléctrica adecuada.

Se observa que la fuerza de empuje ( $F_t$ ), opera en dirección normal a la velocidad de corte, produciéndose una fuerza resultante ( $R$ ), ésta fuerza resultante posee dos componentes sobre la cara de la herramienta, una fuerza normal ( $N$ ) perpendicular a la cara de la herramienta, y una fuerza de fricción ( $F$ ) a lo largo de la cara de la herramienta, también se puede obtener las siguientes expresiones:

$$F = R \cdot \text{sen } \beta \quad \text{Ec. 8}$$

$$N = R \cdot \text{cos } \beta \quad \text{Ec. 9}$$

En la figura 7, se muestra un corte ortogonal en el que se especifican las fuerzas de corte ( $F_c$ ), ésta actúa en dirección de la velocidad de corte ( $V$ ), aportando energía para el corte realizado, la relación existente entre la profundidad y el ancho del corte es conocido como fuerza específica de corte [20].

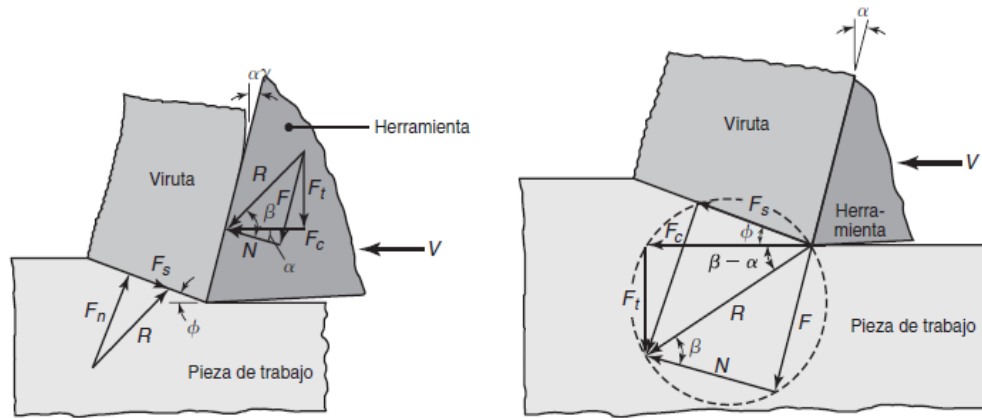


Figura 7. Fuerzas que actúan en el corte [20].

Dado que la fuerza resultante obtenida está equilibrada por una fuerza equivalente y contraria a lo largo del plano de cizallamiento ( $F_s$ ) y una fuerza normal ( $F_n$ ), se llega a obtener las siguientes expresiones:

$$F_s = F_c \cdot \cos \phi - F_t \cdot \sin \phi \quad \text{Ec. 10}$$

$$F_n = F_c \cdot \sin \phi - F_t \cdot \cos \phi \quad \text{Ec. 11}$$

La relación existente  $F/N$ , viene a ser el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) existente en el interfaz viruta – herramienta, por otro lado,  $\beta$  será el ángulo de fricción existente, con las ecuaciones que se han obtenido se llega a determinar:

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{F_t + F_c \cdot \tan \alpha}{F_c - F_t \cdot \tan \alpha} \quad \text{Ec. 12}$$

#### 2.2.4.1 Fuerza de empuje

Dado que la máquina herramienta debe soportar las deflexiones, es importante conocer la fuerza de empuje, ya que hace referencia a que tan rígidos deben ser los portaherramientas o dispositivos de sujeción, a continuación, se muestra el efecto que tiene los ángulos de ataque y fricción en relación a la dirección de la fuerza de empuje [20].

$$F_t = R \cdot \sin (\beta - \alpha) \quad \text{Ec. 13}$$

$$F_t = F_c \cdot \tan (\beta - \alpha) \quad \text{Ec. 14}$$

Es posible tener una fuerza de empuje dirigida hacia arriba, cuando se tiene ángulos de ataque grandes, una fricción baja entre la herramienta y la viruta o en las dos situaciones planteadas. Una fuerza de empuje negativa puede generar problemas con el diseño de la máquina herramienta, también con la estabilidad que se da en el proceso de corte.



### 2.2.4.2 Potencia

La potencia viene definida como el producto entre la fuerza y la velocidad, entonces se tiene que [20]:

$$\text{Potencia} = F_c \cdot V \quad \text{Ec. 15}$$

Por la energía que se necesita para cizallar el material la potencia se disipa en ésta zona y en la cara de ataque por la fricción existente con la viruta. Según Cheng [20], la potencia disipada en el plano de cizallamiento viene dada por:

$$\text{Potencia de cizallamiento} = F_s \cdot V_s \quad \text{Ec. 16}$$

El ancho del corte es definido como ( $w$ ) para poder determinar la energía específica de cizallamiento ( $U_s$ ) como:

$$U_s = \frac{F_s \cdot V_s}{w \cdot t_o \cdot V} \quad \text{Ec. 17}$$

De una manera análoga la energía específica de fricción ( $U_f$ ) es:

$$\text{Potencia de fricción} = F \cdot V_c \quad \text{Ec. 18}$$

$$U_f = \frac{F_s \cdot V_c}{w \cdot t_o \cdot V}$$

$$U_f = \frac{Fr}{w \cdot t_o} \quad \text{Ec. 19}$$

Por lo tanto, la energía total específica ( $U_t$ ) viene dada por:

$$U_t = U_s + U_f \quad \text{Ec. 20}$$

Hay que tomar en cuenta que el filo que tiene la punta de la herramienta, también influye en las fuerzas y potencias de corte, ya que si se trabaja con herramientas desafiladas se tendrá una alta deformación, generando una mayor fricción y consecuentemente el uso de mayores fuerzas de corte y potencias.

Se puede constatar que para la determinación de fuerzas de corte y potencias de corte se ven involucrados muchos factores, por lo cual se basa en datos experimentales que se han obtenido como los que se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2. Intervalos de requerimientos de energía en operaciones de corte [15].

MATERIAL	Energía Específica	
	[W·s/mm <sup>3</sup> ]	[HP·min/plg <sup>3</sup> ]
Aleaciones de aluminio	0.4 – 1	0.15 – 0.4
Hierros fundidos	1.1 – 5.4	0.4 – 2
Aleaciones de cobre	1.4 – 3.2	0.5 – 1.2
Aleaciones de alta temperatura	3.2 – 8	1.2 – 3
Aleaciones de magnesio	0.3 – 0.6	0.1 – 0.2
Aleaciones de níquel	4.8 – 6.7	1.8 – 2.5
Aleaciones refractarias	3 – 9	1.1 – 3.5
Aceros inoxidables	2 – 5	0.8 – 1.9
Aceros	2 – 9	0.7 – 3.4
Aleaciones de titanio	2 – 5	0.7 – 2

### 2.2.5 Temperaturas de corte

En los procesos de maquinado se ve implicado la deformación plástica del material y la energía disipada por el corte, lo que implica generación de calor, aumentando la temperatura en la zona del corte [21], esta temperatura es de gran interés en el maquinado ya que:

- Si existe una temperatura muy elevada se modifican propiedades como dureza, rigidez y resistencia al desgaste de la herramienta, en el caso de las herramientas pueden sufrir alguna deformación, alterando la forma de la misma.
- Por el calor generado se pueden generar cambios dimensionales.
- Se pueden generar cambios en la estructura del material (cambios metalúrgicos).

Las principales zonas en donde existe fuentes de calor son en la zona primaria de cizallamiento, en la interfaz herramienta – viruta, y en la fricción por el rozamiento de la herramienta con la superficie maquinada. Holub et al. [22] efectuaron una relación en la cual se puede calcular la temperatura media del torneado aplicando:

$$T_{media} = r \cdot V^a \cdot f^b \quad Ec. 21$$

Donde tenemos que  $V$  es la velocidad de corte,  $f$  es el avance que tiene la herramienta y los valores  $a$  y  $b$  son factores que se disponen de la siguiente manera.

- Para herramientas de carburo  $a = 0.2$  y  $b = 0.125$
- Para herramientas de alta velocidad  $a = 0.5$  y  $b = 0.375$

### 2.2.6 Desgaste y vida útil de la herramienta de corte

El desgaste en las herramientas de corte es un factor muy importante, sucede porque la herramienta está sometida a elevados esfuerzos que se localizan en la punta, así como la exposición de altas temperaturas en especial en la cara de ataque, el desplazamiento de la viruta en la cara de ataque y el desplazamiento de la herramienta en toda la superficie a ser maquinada, el desgaste de la herramienta afecta la vida útil de la misma, pero también afecta a la calidad superficial y a la precisión dimensional [23]. En la Figura 8 se muestra los tipos de desgaste en las herramientas de corte.

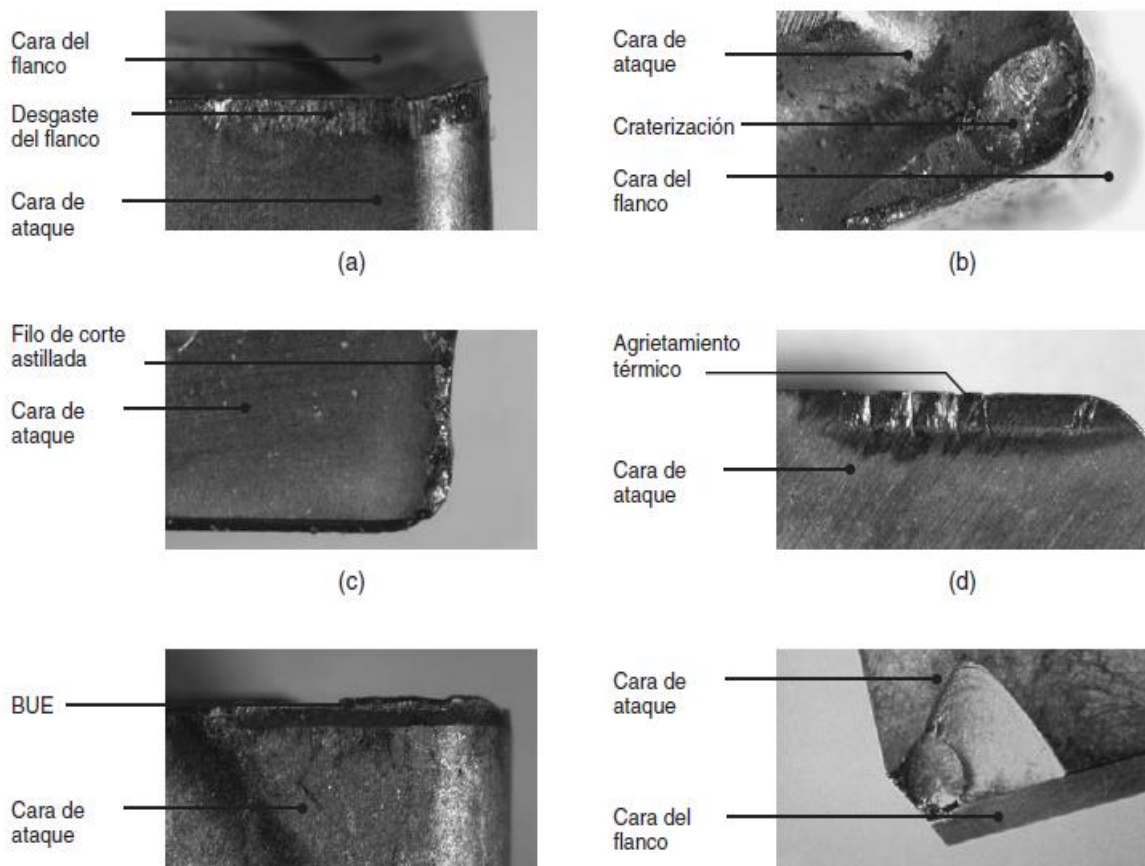


Figura 8. Desgaste en las herramientas de corte por a) desgaste del flanco, b) craterización, c) desgaste de la punta, d) muescado, e) deformación plástica de la punta, f) astillado y fractura gruesa [23].

El desgaste de la herramienta viene a ser un proceso gradual que depende de los materiales que haya sido efectuada, del material a ser maquinado, de la geometría que se tenga de la herramienta, de los parámetros tomados en el proceso, de las características de la máquina y de los fluidos de corte.

### 2.2.6.1 Desgaste del flanco

Éste desgaste ocurre cuando existe un rozamiento considerable de la herramienta de corte en la extensión de la superficie maquinada, también se indica que se da por la generación de altas temperaturas afectando las propiedades del material de la herramienta de corte, como su nombre lo indica se da en la cara de alivio (o flanco) de la herramienta. Estudios realizados por F.W. Taylor [15] establecen una relación para desarrollar una profundidad de desgaste, esta relación se la puede observar en la ecuación 22.

$$V \cdot T^n = C \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

$V$  = Velocidad de corte.

$T$  = Tiempo necesario para tener una profundidad de desgaste del flanco (minutos).

$n$  = Factor que depende del material de la herramienta y piezas de trabajo, así como de las condiciones de corte, se puede observar este factor en la tabla 3.

$C$  = Constante determinadas de manera experimental.

Tabla 3. Intervalos de valores de  $n$ , para diversos materiales [15].

<b>Intervalos de valores de <math>n</math></b>	
Aceros de alta velocidad	0.08 – 0.2
Aleaciones fundidas	0.1 – 0.15
Carburos	0.2 – 0.5
Carburos recubiertos	0.4 – 0.6
Cerámicos	0.5 – 0.7

### 2.2.6.2 Profundidad de desgaste permisible

En vista que existe un deterioro de los filos cortantes de la herramienta, es necesario efectuar un afilado o cambio de la misma, se debe realizar éstas operaciones cuando el acabado superficial de la pieza maquinada es no aceptable, o también cuando se incrementan las fuerzas de corte o la temperatura [24].

En la tabla 4 se indican profundidades de desgaste permisibles para diferentes operaciones, hay que tomar en cuenta que, si se necesitan mejores tolerancias, acabados superficiales se deben tener menores profundidades de desgaste que los permitidos.

Tabla 4. Profundidades de corte permisibles, para diversas operaciones [24].

Operación	Profundidad de desgaste permisible [mm]	
	Herramientas de acero de alta velocidad	Herramientas de carburo
Cilindrado	1.5	0.4
Fresado de careado	1.5	0.4
Fresado frontal	0.3	0.3
Taladrado	0.4	0.4
Rimado o escariado	0.15	0.15

NOTA: La profundidad de desgaste para las herramientas de cerámico es aproximadamente 50 % mayor. El muescado ( $VB_{max}$ ) es unas dos veces  $VB$ .

### 2.2.6.3 Craterización

Éste tipo de desgaste se encuentra en la cara de ataque de la herramienta, cambiando la geometría de contacto entre la interfaz existente herramienta / viruta, los factores que permiten éste tipo de desgaste son la temperatura producida entre la herramienta y la viruta, así como la correspondencia química entre la pieza de trabajo y el material de la herramienta de corte. Este proceso ocurre por un mecanismo de difusión (movimiento de átomos entre la herramienta y la viruta), para la disminución de la difusión y en efecto la craterización, se utilizan herramientas que tengan recubrimientos, siendo los más comunes el carburo de titanio, nitruro de titanio, carbonitruro de titanio y también el óxido de aluminio [25]. La craterización coincide con la máxima temperatura alcanzada entre la herramienta y la viruta, así también con la decoloración que se encuentra por la presencia de altas temperaturas.

## 2.2.7 Otros tipos de desgaste de la herramienta de corte

### 2.2.7.1 Desgaste de la punta

En este desgaste ocurre el redondeo de la punta de la herramienta, se da por efectos mecánicos y térmicos, provocando rozamiento entre las superficies con un aumento de la temperatura y con la posibilidad de generar esfuerzos sobre la superficie maquinada [26].

### 2.2.7.2 Deformación plástica

Ocurre por altos incrementos de la temperatura en la zona de corte que fácilmente pueden llegar a los 1000 °C en mecanizados de aceros [26].

### 2.2.7.3 Muesca o ranura

En ésta región se limita toda la viruta que ya no se encuentra en contacto con la herramienta, también llamada la línea de profundidad de corte, se encuentra en contacto con la superficie maquinada anteriormente, la delgada capa endurecida que se genera en el corte facilita la formación de muescas o ranuras de desgaste [26].

### 2.2.7.4 Astillado

Aparte del desgaste de la herramienta de corte, se puede tener astillamientos, que son pequeñas roturas del filo de la herramienta, generalmente ocurre éste fenómeno en materiales frágiles para herramientas (cerámicos) [26].

## 2.2.8 Rugosidad superficial

Se define a la rugosidad superficial como las desviaciones irregulares en pequeña escala espaciadas estrechamente; se expresa en términos de su peso, anchura y distancia a lo largo de la superficie [15]. Generalmente la rugosidad superficial se describe por dos métodos.

### 2.2.8.1 Valor medio aritmético

Según el esquema de la superficie rugosa que indica la figura 9, viene definida por [27]:

$$R_a = \frac{a + b + c + d + \dots}{n} \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

$a, b, c, d, \dots$  = Valores absolutos.

$n$  = Cantidad de lecturas.



Figura 9. Coordenadas para la medición de rugosidad superficial [27].

### 2.2.8.2 Rugosidad de la raíz media cuadrática

La rugosidad de la raíz media cuadrática viene definida por [28]:

$$R_q = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \dots}{n}} \quad \text{Ec. 24}$$

En la figura 9 se observa la línea de referencia AB, donde se localiza las sumas de las áreas de los cuadrantes superiores, que son iguales a las sumas de las áreas de los cuadrantes inferiores; también se podría definir la altura máxima de rugosidad ( $R_t$ ), definida como la altura que tiene la depresión más profunda hasta donde se tiene la cresta más alta, indica la cantidad de material que se debería retirar para obtener una superficie totalmente lisa.

Específicamente para una operación de cilindrado, la herramienta de corte deja las marcas del avance sobre la superficie que fue maquinada como se muestra en la figura 10.

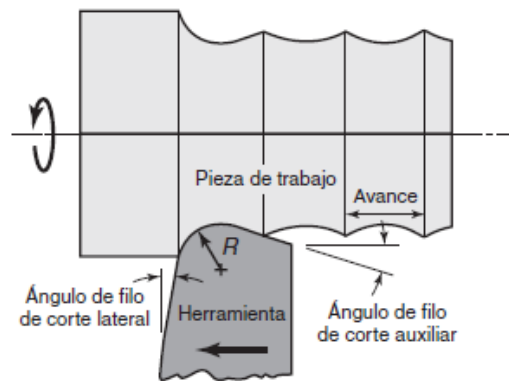


Figura 10. Marcas de avance en el cilindrado [28].

Si el avance ( $f$ ) es mayor y se tiene un menor radio de la punta de la herramienta ( $R$ ), se tendrá marcas más prominentes, para este caso se puede calcular la rugosidad valor medio aritmético ( $R_a$ ) de la siguiente manera [28]:

$$R_a = \frac{f^2}{8 \cdot R} \quad \text{Ec. 25}$$

### 2.2.9 Maquinabilidad

La maquinabilidad se encuentra definida en función de los siguientes factores:

- El acabado e integridad superficial de la parte maquinada.
- Vida útil de la herramienta de corte.
- Fuerza y potencia requeridas para la operación.
- Nivel de dificultad de observación de la viruta.

Por lo tanto, tener una buena maquinabilidad viene dado por un buen acabado superficial, con una larga vida de la herramienta de corte y mínimos requerimientos de fuerzas y potencias de corte, generando virutas que no intervengan con la operación de corte; ya en la práctica se considera la rugosidad superficial y la vida útil de la herramienta de corte los principales factores de la maquinabilidad.

#### **2.2.10 Maquinabilidad del aluminio**

Por las características del aluminio tiene una gran maquinabilidad, pero con aleaciones que sean más suaves se tiende a la formación de bordes acumulados, dando consecuentemente un mal acabado superficial. Es recomendado el uso de parámetros de corte con altas velocidades, también es beneficioso utilizar herramientas con ángulos de ataque grandes con ángulos de alivio. Las aleaciones de aluminio que posean silicio, y el aluminio fundido necesitan el uso de herramientas con materiales más duros por sus características abrasivas [29].

### **2.3 Fundamentación filosófica**

La investigación efectuada acogió el paradigma crítico propositivo, es crítico ya que se examinó los resultados experimentales obtenidos al presente, en comparación con los alcanzados en ésta investigación de problemática que se tiene en la actualidad, y es propositivo en vista que se trata de plantear nuevas alternativas de parámetros de corte que permitan obtener una mejor rugosidad superficial y un menor desgaste de la herramienta de corte, de forma que puedan ser empleados por toda la industria manufacturera que hagan uso de los resultados logrados.

### **2.4 Fundamentación legal**

El reglamento de posgrado de la Universidad Técnica de Ambato, en el Título I muestra el funcionamiento Académico y Administrativo de los Programas de Posgrado que se oferta, en dicho reglamento se norma, regula y además orienta las distintas actividades académicas de los estudios y programas de posgrado. Según la resolución 0109-CU-P-2019 [30], en una parte del artículo 69 resuelve que el trabajo de titulación deberá ser el resultado investigativo, académico o artístico, además en el mismo el estudiante deberá demostrar el manejo de los conocimientos adquiridos durante sus estudios de cuarto nivel en el trayecto de su formación.



Entre los objetivos del reglamento de posgrado se indica el garantizar la alta calidad que extienda a la excelencia académica, así como el fortalecimiento de la investigación, formación académica como profesional, además se menciona el desarrollo de investigaciones relacionadas al desarrollo humano y a un mejor estilo de vida.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos del estudio serán de libre acceso, por lo cual podrán ser utilizados por quien así lo requiera, con especial énfasis en la industria del mecanizado que hace uso de los parámetros de corte de la aleación de aluminio AA 70785-T6, además con el estudio se prevee mejorar la rugosidad superficial por lo que se logrará obtener piezas mecanizadas con mejores características, también se intenta minimizar el desgaste de la herramienta de corte por lo cual se alarga la vida útil de la misma, mejorando el proceso y minimizando costos; por dichas cuestiones es inevitable mencionar el aporte a la industria, observándose que la investigación propuesta está alineada a los objetivos planteados por el reglamento y es pertinente con lo mencionado, por lo cual la misma se sostiene legalmente.

## 2.5 Categorías fundamentales

En la figura 11 se muestra las categorías fundamentales en las cuales se la dividido este trabajo de titulación.

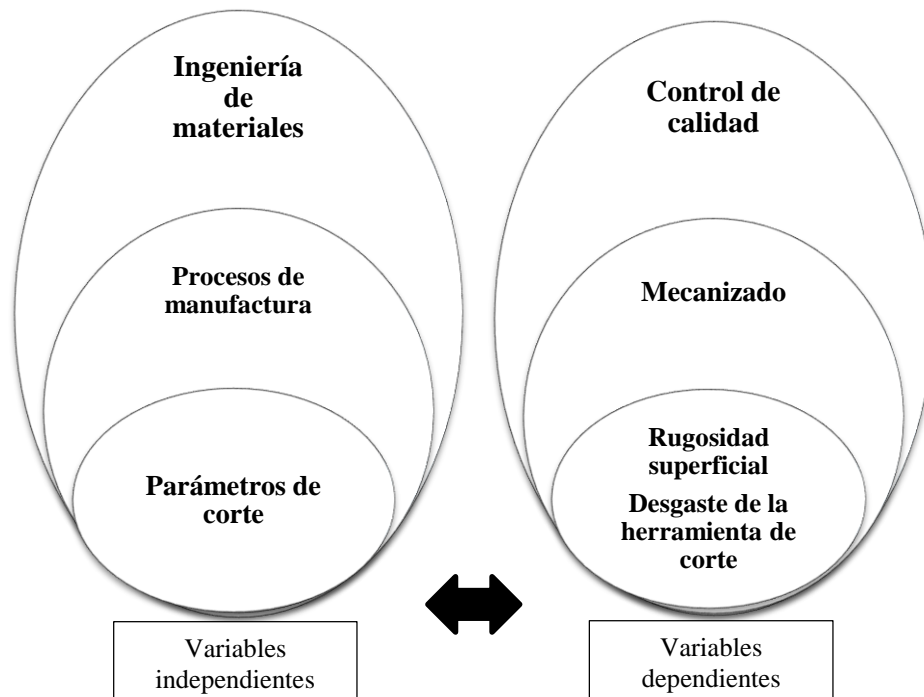


Figura 11. Categorías fundamentales.

Fuente: Autor

## **2.6 Hipótesis**

Al establecer parámetros de corte adecuados en el proceso de torneado para una aleación de aluminio AA 7075-T6, se obtendrá adecuada rugosidad superficial y un mínimo desgaste de la herramienta de carburo.

## **2.7 Señalamiento de variables**

### **2.7.1 Variable independiente**

Parámetros de corte para el proceso de torneado de una aleación de aluminio AA 7075 T6.

### **2.7.2 Variable dependiente**

Rugosidad superficial y desgaste de la herramienta de corte.

### **2.7.3 Término de relación**

Influencia – Incidencia.

## **CAPÍTULO 3**

### **3.1 Enfoque**

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se pretende medir la realidad de la que se está investigando, los métodos cuantitativos están relacionados con el análisis e interpretación de los valores experimentales obtenidos de rugosidad superficial, y de desgaste de la herramienta de corte, que son utilizados para establecer parámetros de corte óptimos.

Se responderá a la hipótesis planteada, en función del uso de técnicas estadísticas con la recolección de datos estandarizados, con lo que se podrá generalizar los parámetros de corte en función a las necesidades.

### **3.2 Modalidad básica de la investigación**

Esta investigación está basada en las siguientes modalidades básicas de la investigación.

#### **3.2.1 Investigación documental**

La investigación hace referencia a fuentes que son de carácter documental, con el uso de diversas bibliografías, desarrollándose la capacidad de efectuar un análisis crítico, para llegar a resolver el problema planteado. Se tiene como propósito la recolección de información, la misma que fue profundizada a cabalidad según las necesidades de la investigación, así también se realizó comparaciones y enfoques que permitan tener un sustento fundamentado sobre la investigación de la incidencia de los parámetros de corte sobre la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte.

Con el propósito de cumplir con este objetivo se hace uso de fuentes bibliográficas como: libros, revistas, normas, manuales, catálogos, y sobre todo artículos científicos indexados en revistas de gran impacto como Elsevier en Science Direct, Springer, Scopus, entre otras. Además, se utiliza bibliotecas virtuales que tienen gran información de relevancia

sobre el tema de estudio; sin dejar de tomar en cuenta que la información obtenida en lo posible es de máximo 5 años de antigüedad.

### **3.2.2 Investigación de campo**

Es la modalidad de investigación más importante en el contexto, ya que se ejecutarán ensayos experimentales necesarios para la obtención de valores de rugosidad superficial y de desgaste de la herramienta de corte, además con su uso se podrá encontrar mediante un análisis estadístico los mejores parámetros de corte y su incidencia en el proceso de torneado de la aleación de aluminio AA 7075 – T6.

Para cumplir con éste objetivo se manipuló las variables independientes, y a la vez se controló las variables contaminantes, cabe resaltar que se ejecutó ensayos pre-experimentales relacionados con el funcionamiento de las máquinas y equipos a ser utilizados, así como cuasi experimentales para conocer cómo influyen las variables en el proceso, y experimentales para ejecutar los ensayos propiamente dichos, con lo cual se tendrá el sustento de la investigación de campo a ser ejecutada.

### **3.3 Nivel o tipo de investigación**

#### **3.3.1 Investigación experimental**

La presente investigación tiene un tipo de investigación experimental, según cual sea la intervención del investigador, ya que se ejecutarán los distintos ensayos experimentales como son la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte.

#### **3.3.2 Investigación prospectiva**

Se tiene un tipo de investigación prospectiva, según la planificación de la toma de datos, ya que se manipulará y ajustará los parámetros que intervienen en el experimento según los propósitos que tiene la investigación.

#### **3.3.3 Investigación longitudinal**

Se tiene un tipo de investigación longitudinal o histórica, según el número de ocasiones en que se mide las variables de estudio, ya que con los datos obtenidos se irán analizando con el tiempo como se van dando las variaciones de la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta con el uso de diferentes parámetros de corte.

### 3.3.4 Investigación analítica

Se tiene un tipo de investigación analítica, según el número de variables de interés, ya que en el caso de estudio se tiene como variables de interés a la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte, con lo cual se plantea y se pone a prueba la hipótesis planteada.

## 3.4 Población y muestra

### 3.4.1 Población

En el estudio se tiene una población que hace referencia a probetas mecanizadas con diferentes parámetros de corte de una aleación de aluminio AA7075-T6, con la finalidad de obtener valores de rugosidad superficial y a la vez analizar el desgaste que se produce en la herramienta de corte.

### 3.4.2 Muestra

#### 3.4.2.1 Selección de factores y niveles

Los factores y niveles se han seleccionado de acuerdo a la influencia de los parámetros de corte sobre la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte, así como con la observación de otras investigaciones experimentales efectuadas [31, 32] sobre el tema de estudio. En la tabla 5, se observa los parámetros y niveles con los cuales se va a ejecutar el experimento.

Tabla 5. Factores y niveles experimentales.

	<b>FACTORES</b>	<b>NIVELES</b>	
A	Velocidad de corte ( $V_c$ ) [m/min]	200	400
B	Avance ( $f$ ) [mm/rev]	0.1	0.3
C	Profundidad de corte ( $A_p$ ) [mm]	1.5	3
D	Tipo de herramienta de corte	CVD	PVD

Fuente: Autor

#### 3.4.2.2 Método de Taguchi

Una vez definidos los factores y niveles con los cuales se realizará el experimento, se especifica el diseño del arreglo ortogonal según sus grados de libertad (DF, por sus siglas en inglés), que facilitará el proceso de experimentación. Este método indica que los grados de libertad del arreglo ortogonal escogido deben ser mayores o iguales que el total

de los grados de libertad del experimento. Por lo expuesto es necesario conocer los grados de libertad del experimento, éstos se los calcula de la manera siguiente [33]:

$$DF = ((n1 - 1) \cdot (nf)) + ((n1 - 1) \cdot (n1 - 1) \cdot ni) \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

n1 = Número de niveles del experimento.

ni = Número de factores del experimento.

nf = Número de interacciones del experimento.

DF = Grados de libertad.

Los valores de n1, ni y nf son 2, 2 y 3, respectivamente. Entonces se tiene que:

$$DF = ((2 - 1) \times (3)) + ((2 - 1) \times (2 - 1) \times 2)$$

$$DF = 6$$

En la tabla 6 se generó el arreglo ortogonal con los factores e interrelaciones para el experimento. Las columnas tienen arreglos son ortogonales y balanceados, es decir, combinaciones que hacen que los factores ocurran el mismo número de veces.

Tabla 6. Factores e interrelaciones.

No. de Ensayo	Velocidad de corte ( $V_c$ ) [m/min]	Avance ( $f$ ) [mm/rev]	Profundidad de corte ( $A_p$ ) [mm]	Tipo de herramienta de corte
1	200	0,1	1,5	CVD
2	200	0,1	1,5	PVD
3	200	0,1	3	CVD
4	200	0,1	3	PVD
5	200	0,3	1,5	CVD
6	200	0,3	1,5	PVD
7	200	0,3	3	CVD
8	200	0,3	3	PVD
9	400	0,1	1,5	CVD
10	400	0,1	1,5	PVD
11	400	0,1	3	CVD
12	400	0,1	3	PVD
13	400	0,3	1,5	CVD
14	400	0,3	1,5	PVD
15	400	0,3	3	CVD
16	400	0,3	3	PVD

Fuente: Autor

Además, se muestra el tipo de recubrimiento utilizado en la herramienta de corte, ya sea por deposición química de vapor (CVD, por sus siglas en inglés) o deposición física de vapor (PVD, por sus siglas en inglés). Considerando 6 grados de libertad del experimento, se puede seleccionar un arreglo ortogonal que tenga 6 o más grados de libertad, por lo tanto, se seleccionará un diseño de 2 niveles, 4 factores L16 (24). Con la ayuda de un software especializado se determinó el diseño experimental, se puede identificar el efecto de cada factor en función de la respuesta, independientemente de los factores restantes. Una vez seleccionado los factores e interrelaciones se observan que el estudio será ejecutado con una muestra de 16 ensayos.

### 3.5 Operacionalización de variables

A continuación, se describen cada una de las operacionalizaciones, tanto para variables dependientes, así como para independientes [34].

#### 3.5.1 Variable independiente

En la tabla 7 se observa la operacionalización de variables independientes.

Tabla 7. Operacionalización de variables independientes.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
En el mecanizado existe siempre un movimiento de rotación, bien de la pieza (en el torneado), o bien de la herramienta de corte (en el fresado o en el taladrado) y un movimiento de avance de la herramienta con respecto a la pieza. La determinación de la relación entre ambas es esencial para lograr un buen rendimiento en el mecanizado y para reducir el desgaste de la herramienta de corte. Los parámetros básicos que se manejan en una operación de mecanizado son la velocidad de corte ( $v$ ), la velocidad de avance ( $f$ ) y la profundidad de corte ( $d$ ).	Parámetros de corte en el proceso de torneado.	- Velocidad de corte [ $v$ ].	[100-500] m/min [7]	-Experimental. -Panel de control.
		- Avance [ $f$ ].	[0.1 – 0.63] mm/rev [7]	-Experimental. -Panel de control.
		- Profundidad de corte [ $d$ ].	[1 – 2.5] mm [7]	-Experimental. -Panel de control.

Fuente: Autor

### 3.5.2 Variable dependiente

La tabla 8 presenta la operacionalización de variables dependientes, definiendo la conceptualización y sus categorías. Además de los indicadores y el índice, así como las técnicas e instrumentos.

Tabla 8. Operacionalización de variables dependientes.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El avance tecnológico produce un aumento de las exigencias de calidad y precisión en la producción de piezas mecánicas. En la fabricación de piezas, no es posible obtener un acabado superficial perfecto como el diseñado en los planos, debido a los defectos microgeométricos que aparecen en las superficies mecanizadas. En este sentido, el acabado superficial se presenta como un indicador de la calidad y precisión de un proceso de fabricación de piezas mecanizadas. [2]	Rugosidad Superficial	-Rugosidad media ( $R_a$ ) -Profundidad de rugosidad individual ( $Z_i$ ) -Profundidad de rugosidad máxima ( $R_r$ ) -Rugosidad máxima ( $R_{max}$ ) -Profundidad de rugosidad media ( $R_z$ )	[0.8 - 6.8] $\mu\text{m}$ [17]	-Experimental. -Normas ISO 1302 -Rugosímetro - palpador.
El desgaste de la herramienta de corte es inherente al proceso de mecanizado, éste va ocurriendo hasta que alcanza un punto en el cual llega al final del filo, por esta consecuencia se tiene un mecanizado con un mal acabado superficial y con la pérdida de las tolerancias de las piezas a ser mecanizadas, aumentando el costo del proceso. [3]	Desgaste de la herramienta de corte	-Desgaste del flanco de la herramienta de corte ( $VB$ ) -Desgaste en la cara de desprendimiento de la herramienta de corte ( $K$ )	[0.3 - 0.6] mm [14]	-Experimental. -Normas ISO 3685 -Microscopio SEM-lente.

Fuente: Autor

### 3.6 Procesamiento y análisis

El procesamiento y el análisis de los resultados de los ensayos a efectuarse en las probetas mecanizadas de la aleación de aluminio AA 7075-T6, son presentados detalladamente a continuación [35]:

- Estudio de la información más relevante sobre el tema de estudio.
- Estudio e interpretación de normas técnicas de desgaste de la herramienta de corte en el proceso de torneado y de rugosidad superficial (Norma ISO 3685 y Norma ISO 1302 respectivamente).
- Ensayo de espectrofotometría del material de estudio.
- Dimensionamiento de las probetas a ser utilizadas.



- Selección del portaherramientas para la ejecución del experimento.
- Selección de las herramientas de corte.
- Cálculos de parámetros experimentales.
- Programación mando EMCO EASY CYCLE para el ciclo de experimentación.
- Ejecución del experimento acorde a las especificaciones planteadas.
- Ensayos de rugosidad superficial para cada una de las probetas.
- Elaboración del informe técnico de rugosidad superficial.
- Tabulación de datos de rugosidad.
- Ensayos de microscopía electrónica de barrido (SEM) para conocer el tipo y el desgaste de la herramienta de corte.
- Análisis del tipo de desgaste de la herramienta de corte.
- Elaboración del informe técnico del tipo de desgaste existente en la herramienta de corte.
- Análisis y valoración del desgaste de la herramienta de corte.
- Elaboración del informe técnico del desgaste de la herramienta de corte.
- Tabulación de datos de desgaste de la herramienta de corte.
- Análisis de resultados de rugosidad superficial.
- Análisis de resultados de desgaste de la herramienta de corte.
- Interpretación de resultados de rugosidad superficial.
- Interpretación de resultados de desgaste de la herramienta de corte.
- Pruebas de hipótesis.
- Ejecutar la optimización de los parámetros de corte.
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones.

El análisis de los resultados obtenidos de la rugosidad y el desgaste de la herramienta, se ejecutarán por medio de un análisis estadístico inferencial, donde se calculan los parámetros de mecanizado, además se generalizará los parámetros de corte, así como estimaciones y predicciones con un análisis de varianza ejecutado en un software estadístico especializado para la comprobación de las respectivas hipótesis [36].

### **3.7 Recolección de la información**

La información requerida debe ser revisada previamente en función de los parámetros establecidos y el alcance planteado. Esta información debe ser organizada para analizarla por los niveles establecidos. Este análisis permite constatar si la hipótesis puede ser

verificable y los objetivos pueden ser alcanzables, ya que pueden surgir nuevas preguntas en función al nuevo conocimiento adquirido [37]. La recolección de la información se la realiza conforme a la figura 12.

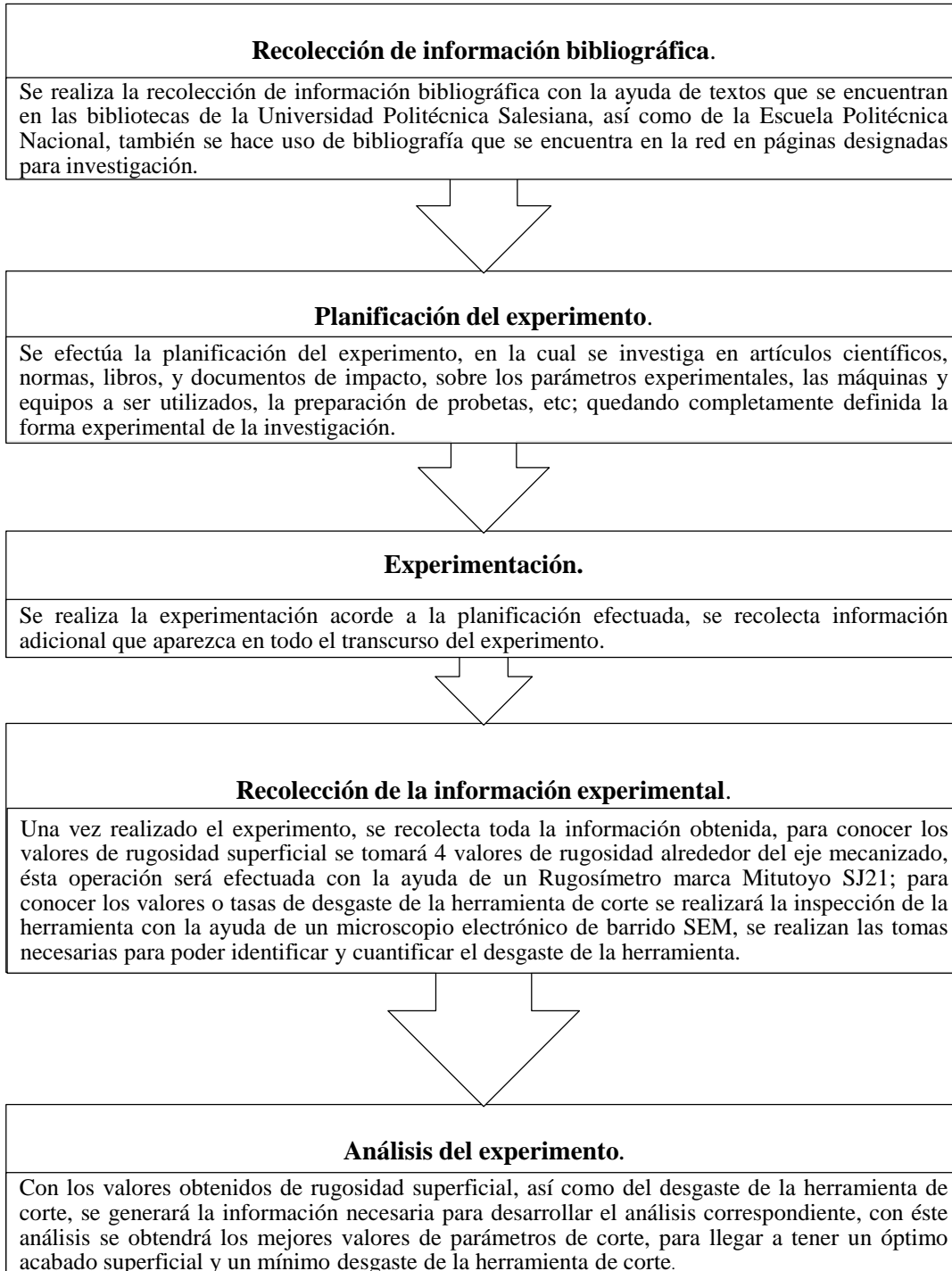


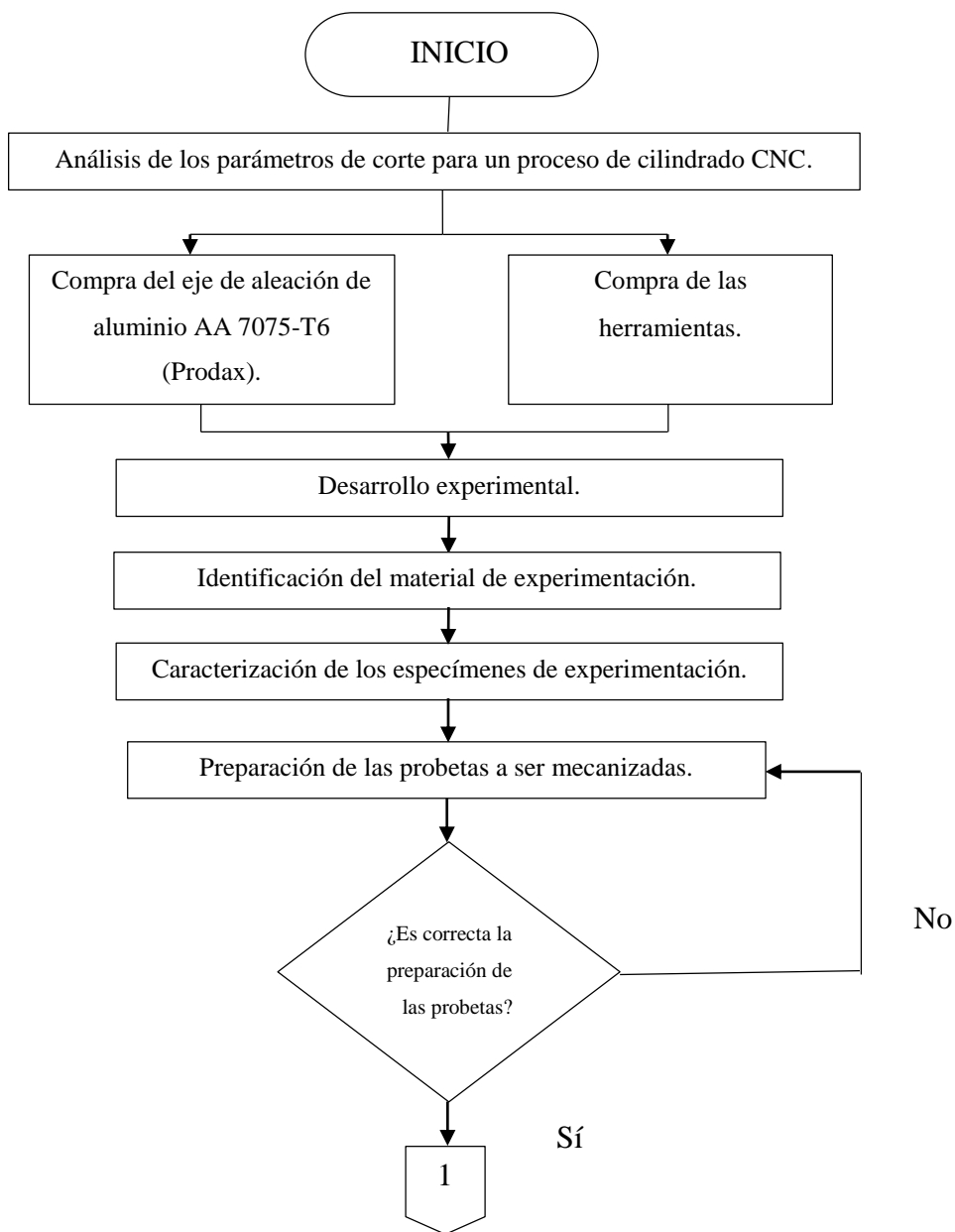
Figura 12. Recolección de la información.

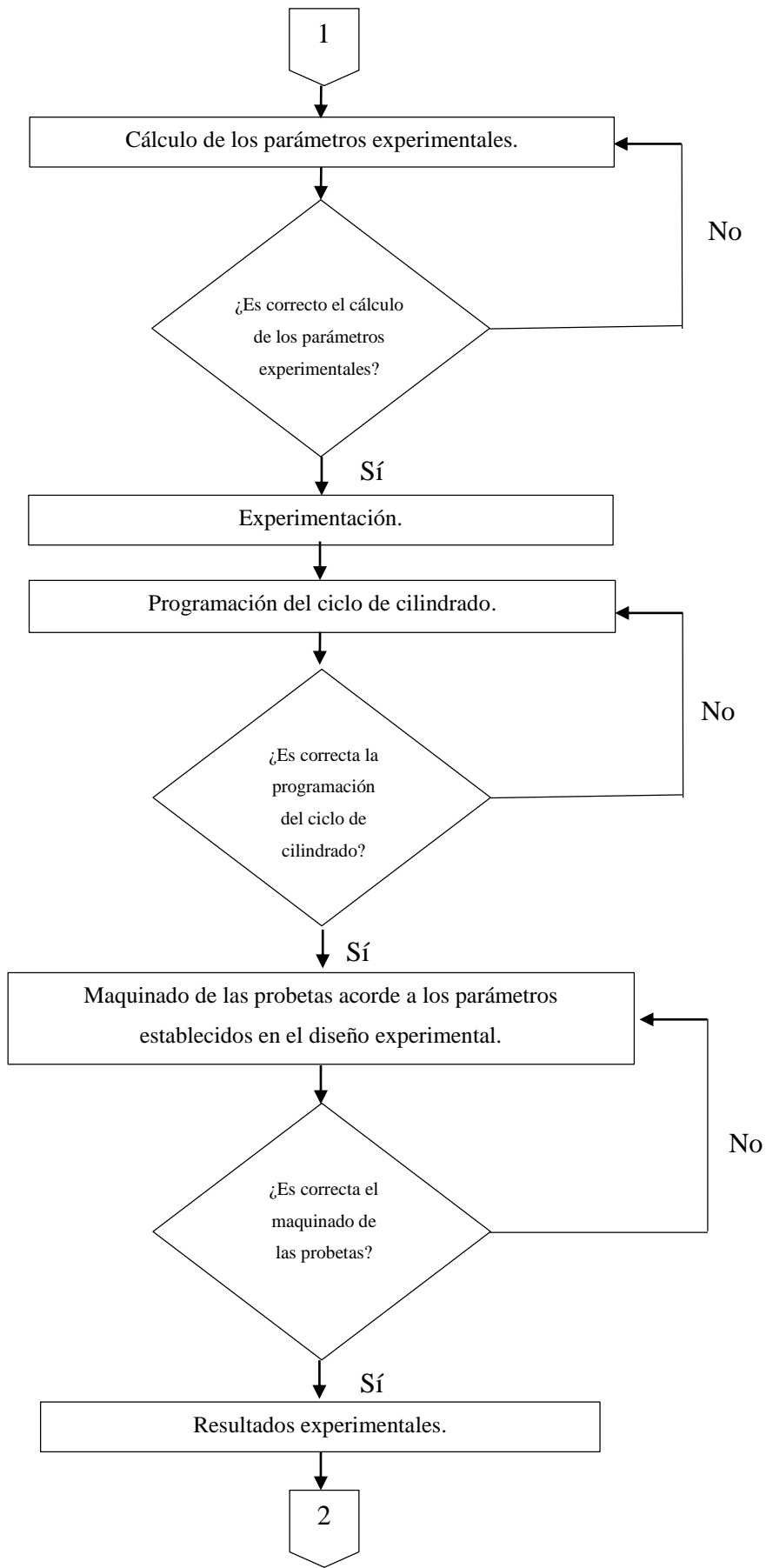
Fuente: Autor

## CAPITULO 4

### 4.1 Procesamiento de análisis de resultados

Para la ejecución del estudio es necesario efectuar actividades que permitan conocer el procesamiento de análisis de los resultados, el mismo que se muestra a continuación en la figura 14; éste diagrama de flujo será de gran ayuda para conocer la incidencia de los parámetros de corte sobre la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte.





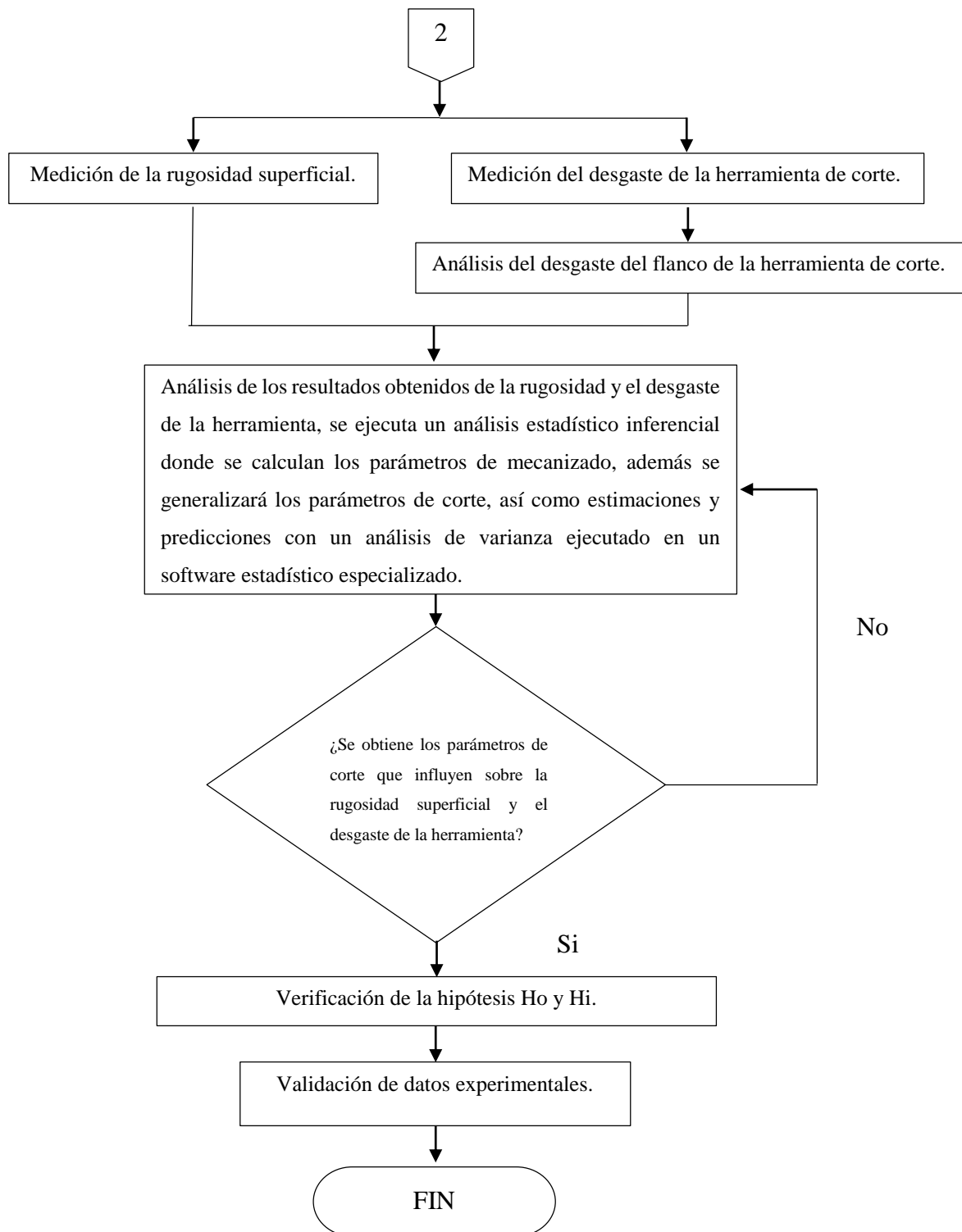


Figura 13. Procesamiento de análisis de resultados.

Fuente: Autor

## 4.2 Desarrollo experimental

El presente estudio de la influencia de los parámetros de corte en la rugosidad superficial y el desgaste de herramientas estará en función de la variación de los diferentes factores (velocidad de corte, avance, profundidad) como se indican en la tabla 5, el desarrollo

experimental se lo ejecuta en un torno marca EMCO ECOMAT E-200, sus principales características se los puede observar en la tabla 9, en el Anexo 1 se presentan sus datos técnicos.

Tabla 9. Datos técnicos ECOMAT E-200 [38].

<b>EMCOMAT E-200</b>	
Distancia entre puntos	1000 [mm]
Altura de puntos	200 [mm]
Diámetro del perímetro sobre el lecho	Ø 400 [mm]
Diámetro del perímetro sobre el carro transversal	Ø 220 [mm]
Recorrido desplazable carro transversal	220 [mm]
Carro transversal - ancho	150 [mm]
Sección transversal herramienta de torno	20x20 [mm]
Revoluciones husillo	50 - 5000 [rpm]
Regulación de la velocidad	Sin fases
CA - Motor trifásico, regulable sin fases potencia en 100 % / 40 % E.D.	7,5/10 [kW]
Torque nominal máx. en el husillo principal	180 [N·m]
Área de avance eje X/ Z-	0-8000 [mm/min]
Fuerza de avance máx. X	4 [kN]
Fuerza de avance máx. Z	4 [kN]

Para realizar las medidas de rugosidad superficial se tiene un rugosímetro marca Mitutoyo modelo SJ 210, sus datos técnicos se los puede observar en la tabla 10.

Tabla 10. Datos técnicos rugosímetro Mitutoyo SJ 210 [39].

<b>Mitutoyo SJ 210</b>	
Pantalla	Digital
Rango – medición Z	360 [µm] (-200 - +160 [µm])
Rango – medición X	17.5 [mm]
Rango de la punta aguja	5 [µm]
Rango mínimo - resolución	25 / 0.002 [µm]
Velocidad de seguimiento en medición	(0.25 – 0.5 – 0.75) [mm/s]

Para realizar las medidas del desgaste de la herramienta de corte se hizo uso de un microscopio electrónico de barrido SEM marca TESCAN modelo VEGA 3, sus datos técnicos se los puede observar en la tabla 11.

Tabla 11. Datos técnicos microscopio TESCAN- VEGA 3 [40].

<b>Microscopio TESCAN – VEGA 3</b>	
Pistola de electrones	Cátodo de tungsteno
Resolución en alto modo de vacío	3 [nm] a 30 [keV]
Resolución en bajo modo de vacío	3.5 [nm] a 30 [keV]
Magnificación continua	3 – 1000000 X
Cámara de vacío	$9 \times 10^{-3}$ [Pa]
Campo de visión	7.7 a 10 [mm]
Energía de haz de electrones	200 eV a 30 [keV]
Corriente de la sonda	1 [pA] a 2 [μA]

#### 4.3 Material de experimentación

El material a ser utilizado es una aleación de aluminio AA 7075-T6, sus características mecánicas se las puede observar en la tabla 12.

Tabla 12. Características mecánicas del material AA 7075-T6 [3].

<b>Aleación de aluminio AA 7075-T6</b>	
Límite de alargamiento	460 [N/mm <sup>2</sup> ]
Resistencia a la T.RM	525 [N/mm <sup>2</sup> ]
Elongación	7 %
Módulo de elasticidad	72000 [MPa]
Dureza	160 Brinell

#### 4.4 Especímenes de experimentación

Los especímenes de experimentación son las probetas con las cuales se va a ejecutar el experimento, su tamaño es de diámetro 60 [mm] por una longitud de 370 [mm] como se observa en la figura 14, cabe mencionar que dichas probetas deben ser preparadas previamente para poder ejecutar el experimento (refrentadas y con agujero de centro de 6.3 [mm] de diámetro con 120 ° acorde a la norma ISO 2540).



Figura 14. Probeta AA 7075-T6.

La longitud libre de mecanizado será de 300 [mm], dejando 70 [mm] para asegurar una buena sujeción de la probeta con las muelas del mandril como se indica en la figura 15, haciéndose también que se cumpla con lo que indica la norma ISO 3685:1993 [41]. La información al respecto se presenta en el Anexo 2, donde se indica que la pieza de trabajo debe tener una longitud y diámetro adecuado para producir la mínima vibración. La información técnica de la aleación de aluminio AA7075 – T6 se presenta en el Anexo 3.

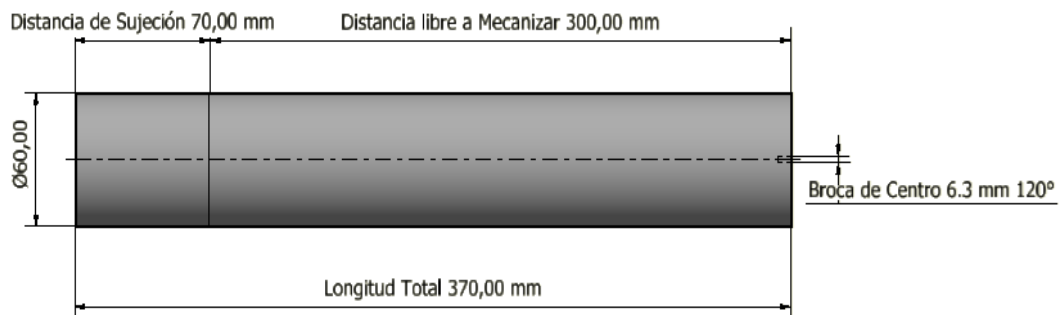


Figura 15. Dimensiones de la probeta AA 7075-T6.

#### 4.4.1 Herramientas de carburo en el proceso de torneado

En función que la norma ISO 3685:1993 indica que la selección de las herramientas de corte puede ser acorde a los intereses propios, tomando en cuenta que las herramientas de corte (insertos) se deben utilizar en las condiciones de entrega del fabricante y además se los debe utilizar solamente por una vez para cada experimento.

Según la norma ISO, se ha seleccionado el porta-herramienta SDJCR 2020 K1, ya que el mismo viene como parte de las herramientas que provee el fabricante torno EMCOMAT E-200 [38]. La herramienta de corte H10 de Sandvik es concurrente con la YD101 de ZCC CT, en la figura 16 se indican los parámetros de la herramienta de marca ZCC CT



correspondientes a la herramienta de corte DCGX 11T304, además se observa la correspondencia con la herramienta de corte YD 101 con su clasificación para mecanizar con condiciones ideales para aluminio y sus aleaciones.

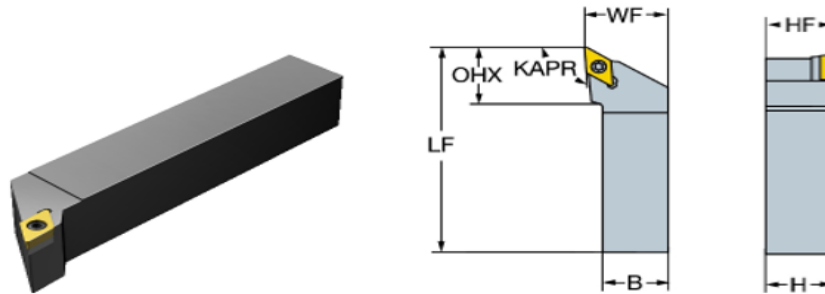


Figura 16. Porta herramienta SDJCR 2020 K1 [22].

En la tabla 13 se observa las principales características que tiene el porta-herramienta SDJCR 2020 K1.

Tabla 13. Características técnicas porta herramienta SDJCR 2020 K1 [22].

<b>Datos del Producto</b>	
Ángulo de filo de la herramienta KAPR	93 °
Ancho del mango B	20 [mm]
Longitud funcional LF	125 [mm]
Altura funcional HF	20 [mm]
Altura del mango H	20 [mm]
Ángulo de inclinación	0°
Material del cuerpo	acero
Ángulo de inclinación de la herramienta	-3 °
Anchura funcional WF	25 [mm]
Voladizo máximo OHX	21.9 [mm]

En las características técnicas porta herramienta SDJCR 2020 K1, se observa las medidas del mismo, por tal motivo se ha buscado una herramienta de corte que cumpla con las especificaciones dimensionales para éste tipo de portaherramientas, además se ha buscado una herramienta de corte que según el estándar ISO cumpla con una clasificación del material N (aluminios – aleaciones de aluminio), asimismo en base a la oferta del mercado Ecuatoriano de venta de éste tipo de insertos y por sus especificaciones técnicas

se ha seleccionado al inserto DCGX 11T304-AL H10 como se observa en la figura 17, se tienen sus características técnicas en la tabla 14.

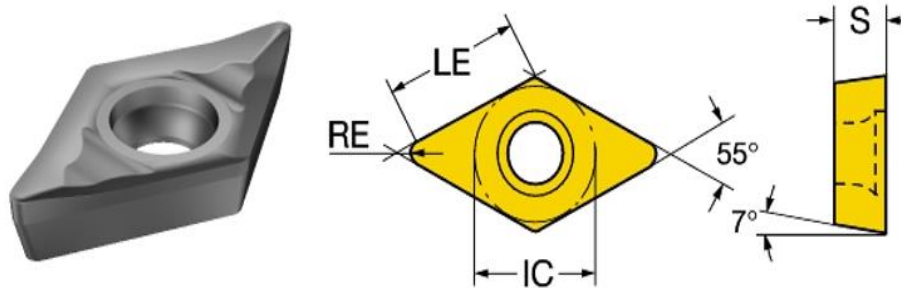


Figura 17. Herramienta de corte DCGX 11T304-AL H10 [22].

Tabla 14. Características de herramienta de corte DCGX 11T304-AL H10 [42].

<b>Datos del Producto</b>	
Clasificación del material	<b>N S</b>
Diámetro del círculo inscrito IC	9.525 [mm]
Longitud efectiva del filo LE	11.228 [mm]
Grosor de la plaquita S	3.969 [mm]
Tamaño y forma de la plaquita	DC11T3
Radio de la punta RE	0.397 [mm]
Ángulo de incidencia principal	7°

Sandvik [43] es una de las empresas en el sector industrial que lidera el área del mecanizado, por lo que sus herramientas son de las más venidas en el mundo, sin embargo, existen otras industrias a nivel mundial que igualmente producen este tipo de herramientas de corte, como Zhuzhou Cemented Carbide Cutting Tools Co. Ltd. [44].

Esta última es el fabricante de herramientas de corte de carburo que tiene la mayor importancia en China, existen equivalencias entre las marcas mencionadas como se puede observar en la figura 18. Además existen investigaciones relacionadas al desgaste en herramientas de corte, como la presentada por Coque [45], donde se analiza este factor en el proceso de fresado plano en un centro de mecanizado analizando las estrategias de mecanizado, reemplazando las herramientas de corte de Sandvik por las herramientas de corte de ZCC CT.

ISO	ZCC-CT	Sandvik	Kennametal	Sumitomo	Mitsubishi	Widia
N Non-ferrous metals	N01	YD101 YD201	H10 H13A	KF1	H1	
	N10	YD101 YD201	H10 H13A	K313 KF1 THM-F	K68 H1	HT10 THM
	N20	YD101 YD201	H10 H13A	K313 KF1 THM-F	K68 H1	

Uncoated carbide  
Conversion table grades – turning

Figura 18. Equivalencias de herramientas ZCC-CT [44].

Como es de conocimiento general, las herramientas de corte chinas tienen una gran importancia en el mercado, por lo cual se ha tomado la decisión de ejecutar el análisis con este tipo de herramientas, sin dejar de tomar en cuenta el sustento presentado de equivalencias como se indica en la figura 19 y estudios previos realizados.

Turning inserts

● Ideal machining conditions  
 ⊗ Normal machining conditions  
 ⊕ Unfavourable machining conditions

DCGX	L	LC	S	d
07 02	7.8	6.35	2.38	2.8
11 T3	11.6	9.525	3.97	4.4

DC** positive insert				HC <sup>1</sup> (CVD)					HC <sup>1</sup> (PVD)		HT	HC <sup>2</sup>	HW																		
				P	M	K	N	S	H																						
ISO	r	a <sub>p</sub>	f																												
LH Aluminium Machining	DCGX070202-LH	0.2	0.3-4.0	0.05-0.15	YB6315	YBC152	YBC252	YBC251	YBC352	YBC351	YBM153	YBM253	YBD052	YBD102	YB7315	YBD152	YBD152C	YBG101	YBG102	YBG105	YB9320	YBG205	YBG202	YNG151	YNT251	YNG151C	YD101	YD201			
	DCGX070204-LH	0.4	0.5-4.0	0.1-0.3																											
	DCGX070208-LH	0.8	0.5-4.0	0.15-0.60																											
	DCGX11T302-LH	0.2	0.3-5.5	0.05-0.15																											
	DCGX11T304-LH	0.4	0.5-5.5	0.1-0.3																											
	DCGX11T308-LH	0.8	0.5-5.5	0.15-0.60																											

● Ex stock ○ On demand

HC<sup>1</sup> Coated carbide  
 HT Uncoated cermet  
 HC<sup>2</sup> Coated cermet  
 HW Uncoated carbide

Figura 19. Parámetros de herramientas ZCC-CT [44].

#### 4.5 Cálculo de parámetros experimentales

Se desarrollan cálculos de valores que son necesarios para ejecutar el mecanizado de los diferentes experimentos, los mismos que serán útiles para realizar la programación del experimento en el torno EMCO ECOMAT E-200 [38]; los valores que son necesarios

para el efecto son las revoluciones por minuto, la velocidad de avance, el tiempo de corte y la longitud para mecanizar de al menos 5 minutos como nos indica norma ISO 3685.

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de los diferentes parámetros de mecanizado para el experimento número 1, considerando una velocidad de corte de 200 [m/min], un avance de 0.1 [mm/rev], una profundidad de corte de 1.5 [mm], y un diámetro de la pieza a mecanizar de 60[mm].

#### 4.5.1 Cálculo de las revoluciones por minuto

$$N = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad Ec.27$$

Al trabajar a una velocidad de corte ( $V_c$ ) de 200 [m/min] en un diámetro ( $D$ ) de 60 mm, se tiene que:

$$N = \frac{200 \cdot 1000}{\pi \cdot 60} \quad Ec.28$$
$$N = 1061.03 \text{ [rev]}$$

#### 4.5.2 Cálculo de la velocidad de avance

$$V_f = f \cdot N \quad Ec.29$$

Además, mecanizando a 1061.03 [rpm] y un avance ( $f$ ) de 0.1 [mm/rev], se tiene que:

$$V_f = 0.1 \cdot 1061.03$$
$$V_f = 106.10 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right]$$

#### 4.5.3 Cálculo de la longitud

$$l = t \cdot V_f \quad Ec.30$$

Al trabajar en un tiempo ( $t$ ) de 5 min a una velocidad de avance ( $V_f$ ) de 106.1 [mm/min], se calculó:

$$l = 5 \cdot 106.10$$
$$l = 530.5 \text{ [mm]}$$

Es importante recalcar que la longitud máxima a mecanizar será de 300 [mm] como se indicó anteriormente, pero como se observa en el cálculo tenemos una longitud mayor,

por lo que será obligatorio realizar el número de pasadas necesario para cubrir la longitud calculada y cumplir con el tiempo de mecanizado de 5 [min].

En la tabla 15 se presenta el resumen de los cálculos efectuados para todos los experimentos que comprenden este estudio.

Tabla 15. Cálculo de parámetros experimentales.

Ensayo	Velocidad de Corte ( $V_c$ ) [m/min]	Avance ( $f$ ) [mm/rev]	Profundidad de corte ( $A_p$ ) [mm]	Tipo de Herramienta de Corte	Revoluciones por minuto ( $N$ ) [rpm]	Velocidad de Avance ( $V_f$ ) [mm/min]	Longitud a mecanizar ( $l$ ) [mm]
1	200	0,1	1,5	CVD	1061,03	106,10	530,52
2	200	0,1	1,5	PVD	1061,03	106,10	530,52
3	200	0,1	3	CVD	1061,03	106,10	530,52
4	200	0,1	3	PVD	1061,03	106,10	530,52
5	200	0,3	1,5	CVD	1061,03	318,31	1591,55
6	200	0,3	1,5	PVD	1061,03	318,31	1591,55
7	200	0,3	3	CVD	1061,03	318,31	1591,55
8	200	0,3	3	PVD	1061,03	318,31	1591,55
9	400	0,1	1,5	CVD	2122,06	212,21	1061,03
10	400	0,1	1,5	PVD	2122,06	212,21	1061,03
11	400	0,1	3	CVD	2122,06	212,21	1061,03
12	400	0,1	3	PVD	2122,06	212,21	1061,03
13	400	0,3	1,5	CVD	2122,06	636,62	3183,09
14	400	0,3	1,5	PVD	2122,06	636,62	3183,09
15	400	0,3	3	CVD	2122,06	636,62	3183,09
16	400	0,3	3	PVD	2122,06	636,62	3183,09




Fuente: Autor

#### 4.6 Experimentación

Las fichas técnicas de cada uno de los experimentos realizados se describen a partir de la tabla 16 a la tabla 31. Se detallan los parámetros de mecanizado empleados, así como una imagen del eje después de finalizar el desbaste.




Los resultados experimentales se obtuvieron luego de un proceso de mecanizado en un torno CNC en los Laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana. Cada uno de los ensayos fue ejecutado en función a los parámetros establecidos previamente en la tabla 15.

Tabla 16. Ficha técnica del experimento 1.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
<b>Datos Informativos</b>					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019		
<b>Parámetros del Experimento</b>					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 1					
					
OBSERVACIONES. N/A					




Fuente: Autor

Tabla 17. Ficha técnica del experimento 2.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
<b>Datos Informativos</b>					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019		
<b>Parámetros del Experimento</b>					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 2					
					
OBSERVACIONES. N/A					

Fuente: Autor

Tabla 18. Ficha técnica del experimento 3.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
<b>Datos Informativos</b>					
<b>Realizado por:</b>		Ing. Esteban Ramírez		<b>Revisado por:</b>	
<b>Lugar de Realización:</b>		Quito, Laboratorio de CNC UPS.		Ing. Oscar Analuiza, Mg.	
		<b>Fecha de ejecución:</b>		15/08/2019	
<b>Parámetros del Experimento</b>					
<b>Material:</b>		AA 7075 – T6		<b>Tipo de Mecanizado:</b>	
<b>Diámetro en bruto:</b>		60 [mm]		Torneado / Cilindrado	
<b>Portaherramientas:</b>		SDJCR 2020 K11		<b>Longitud a mecanizar:</b>	
<b>Recubrimiento de Inserto</b>		CVD		300 [mm]	
<b>Velocidad de Corte:</b>		200 [m/min]		<b>Inserto: Marca-Código</b>	
<b>Profundidad de Corte:</b>		3 [mm]		ZCC CT - YD101	
		<b>Avance:</b>		<b>Tipo de Refrigerante:</b>	
		0.1 [mm/rev]		Aceite soluble / Agua (Taladrina)	
		<b>Tiempo de Mecanizado:</b>		5 [min]	
Experimento 3					
					
OBSERVACIONES. N/A					

Fuente: Autor






Tabla 19. Ficha técnica del experimento 4.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
Datos Informativos					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019		
Parámetros del Experimento					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 4					
					
OBSERVACIONES. N/A					




Fuente: Autor

Tabla 20. Ficha técnica del experimento 5.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
<b>Datos Informativos</b>					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019		
<b>Parámetros del Experimento</b>					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 5					
					
OBSERVACIONES. N/A					


Fuente: Autor

Tabla 21. Ficha técnica del experimento 6.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
<b>Datos Informativos</b>					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019		
<b>Parámetros del Experimento</b>					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 6					
					
OBSERVACIONES. N/A					

Fuente: Autor

Tabla 22. Ficha técnica del experimento 7.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
<b>Datos Informativos</b>					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019		
<b>Parámetros del Experimento</b>					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 7					
					
OBSERVACIONES. N/A					




Fuente: Autor

Tabla 23. Ficha técnica del experimento 8.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>		
<b>Datos Informativos</b>			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019
<b>Parámetros del Experimento</b>			
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
Experimento 8			
			
OBSERVACIONES. N/A			




Fuente: Autor

Tabla 24. Ficha técnica del experimento 9.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
<b>Datos Informativos</b>					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019		
<b>Parámetros del Experimento</b>					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 9					
					
OBSERVACIONES. N/A					




Fuente: Autor

Tabla 25. Ficha técnica del experimento 10.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
Datos Informativos					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019		
Parámetros del Experimento					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 10					
					
OBSERVACIONES. N/A					

Fuente: Autor




Tabla 26. Ficha técnica del experimento 11.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>		
<b>Datos Informativos</b>			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019
<b>Parámetros del Experimento</b>			
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
Experimento 11			
			
OBSERVACIONES. N/A			

Fuente: Autor






Tabla 27. Ficha técnica del experimento 12.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>		
<b>Datos Informativos</b>			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019
<b>Parámetros del Experimento</b>			
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<p>Experimento 12</p> 			
OBSERVACIONES. N/A			




Fuente: Autor

Tabla 28. Ficha técnica del experimento 13.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>		
<b>Datos Informativos</b>				
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.	
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019	
<b>Parámetros del Experimento</b>				
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado	
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]	
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101	
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)	
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]	
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]	
Experimento 13				
				
OBSERVACIONES. N/A				




Fuente: Autor

Tabla 29. Ficha técnica del experimento 14.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
Datos Informativos					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019		
Parámetros del Experimento					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 14					
					
OBSERVACIONES. N/A					




Fuente: Autor

Tabla 30. Ficha técnica del experimento 15.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>		
Datos Informativos				
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.	
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019	
Parámetros del Experimento				
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado	
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]	
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101	
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)	
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]	
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]	
Experimento 15				
				
OBSERVACIONES. N/A				

Fuente: Autor

Tabla 31. Ficha técnica del experimento 16.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>		
<b>Datos Informativos</b>			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	15/08/2019
<b>Parámetros del Experimento</b>			
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
Experimento 16			
			
OBSERVACIONES. N/A			

Fuente: Autor

#### 4.6.1 Programación mando EMCO EASY CYCLE

El mando EMCO EASY CYCLE, es el control del torno EMCO E200 [38], en el cual se puede crear ciclos en CNC, permitiendo definir contornos de piezas lineales y circulares; su programación viene a ser interactiva incluyendo un soporte gráfico, hay la opción de combinar varios de estos ciclos en un solo programa para la creación de ciclos más complejos, otra facilidad que tiene éste mando es la presencia de un simulador gráfico. En vista a las características que presenta el mando EMCO EASY CYCLE, se planteó realizar los ciclos de cilindrado que son necesarios para la experimentación con este mando. A continuación, se presentan las principales características y configuraciones de este mando.

##### 4.6.1.1 Configuración de la máquina

Se ejecuta compensaciones para colocar el punto cero pieza, con lo que se establece el punto de referencia como se indica en la figura 20.

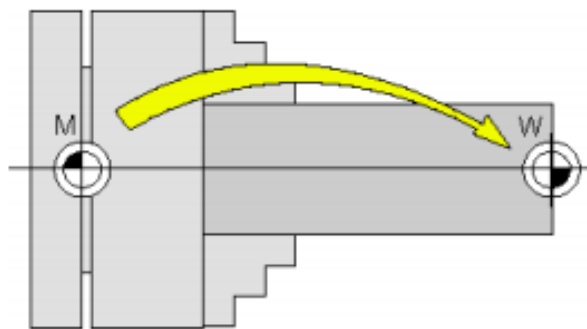


Figura 20. Compensación cero máquina – cero pieza [42].

##### 4.6.1.2 Insertar parámetros de la herramienta de corte

Se coloca los parámetros de la herramienta como se indica en la figura 21.



Figura 21. Ingreso de parámetros de la herramienta.

Fuente: Autor

### 4.6.1.3 Programación del ciclo de cilindrado

Se crea el ciclo de torneado, creando primeramente un programa en el mismo que se dan varias opciones de mecanizado como se indica en la figura 22. Para el caso de estudio presentado en esta investigación, la opción elegida va a ser un proceso de cilindrado.

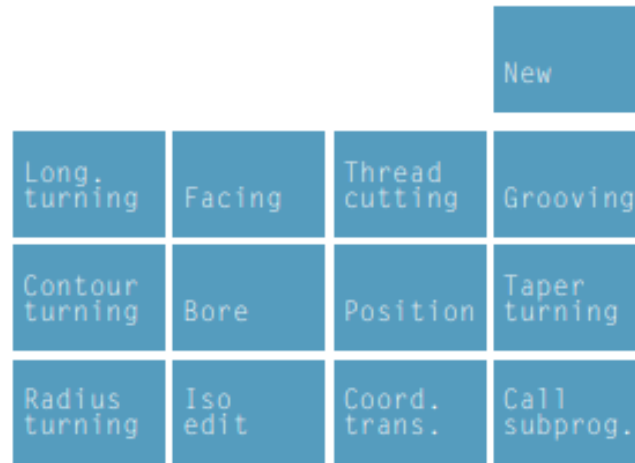


Figura 22. Selección del tipo de ciclo.

Fuente: Autor

Se ingresan los valores correspondientes a coordenadas de longitud y los parámetros de corte de acuerdo al método experimental como se indica en la figura 23 y 24.

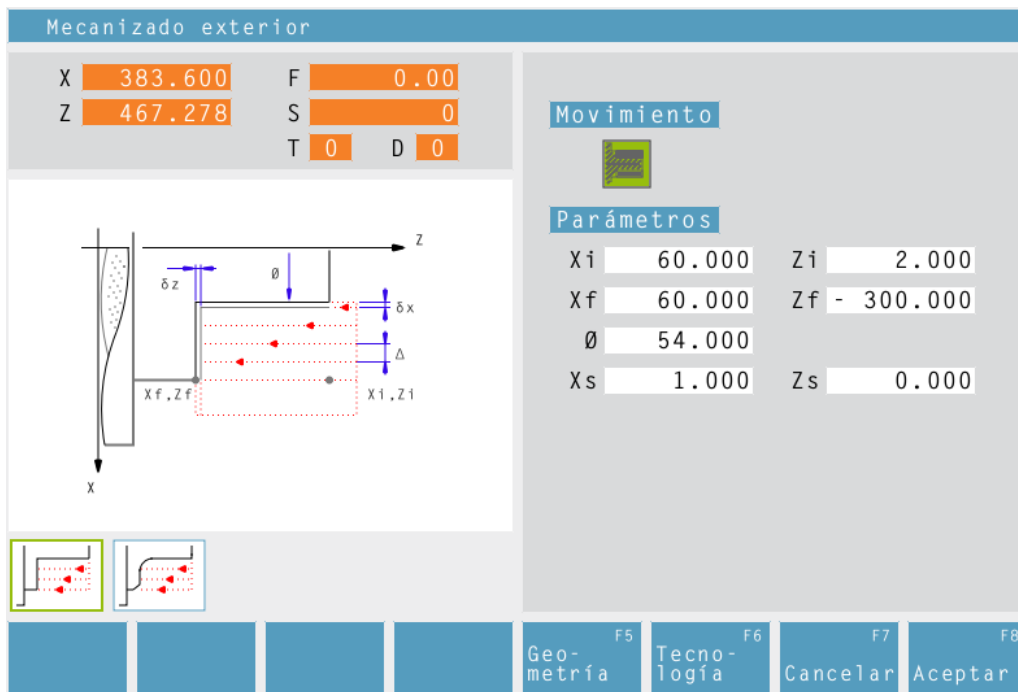


Figura 23. Ingreso de coordenadas de longitud.

Fuente: Autor

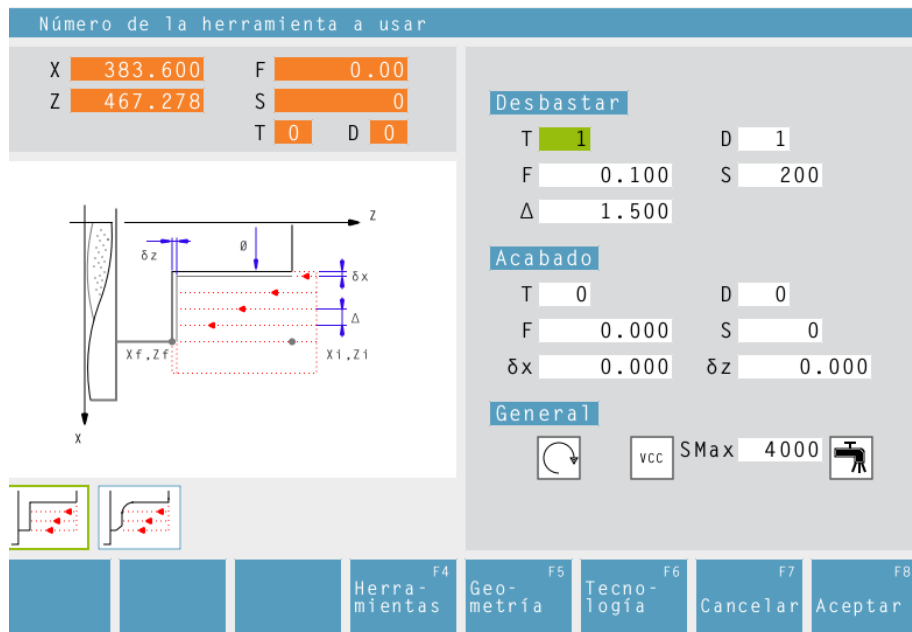


Figura 24. Ingreso de parámetros de corte.

Fuente: Autor

#### 4.6.2 Ejecución del experimento

Una vez ejecutada toda la programación del mando EMCO EASY CYCLE y comprobada con su respectiva simulación se podrá iniciar con el mecanizado de las probetas acorde a los parámetros experimentales indicados en la tabla 32.

Es importante mencionar que para la ejecución del experimento se tendrán controladas todas las variables que están relacionadas con el mecanizado, en la figura 25 se observa el mecanizado de una de las probetas del presente estudio.

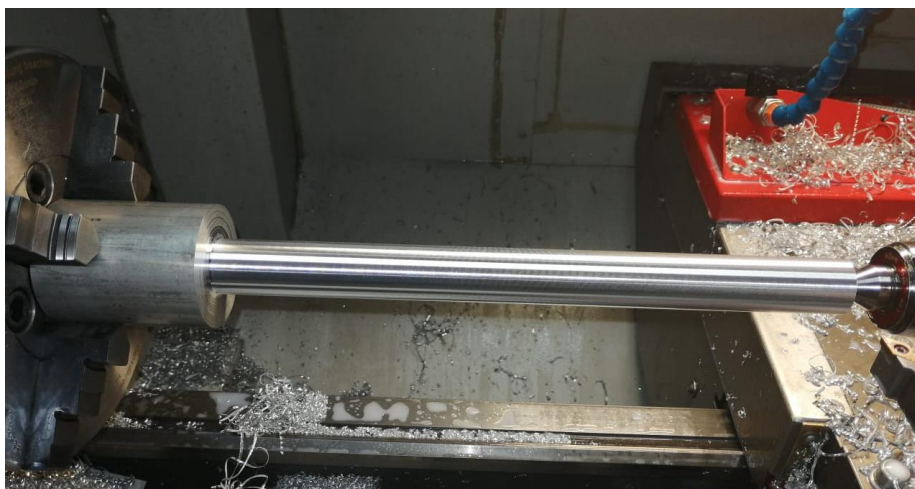


Figura 25. Mecanizado eje de aleación de aluminio AA 7075-T6.

Fuente: Autor



## 4.7 Resultados experimentales

Una vez ejecutados todos los experimentos, se realizan los ensayos de rugosidad superficial de cada una de las probetas, y el ensayo de microscopía electrónica de barrido (SEM) a las herramientas de corte; con el objetivo de conocer el tipo y el valor del desgaste de cada una de las herramientas; ya que éstos son los parámetros de evaluación para realizar el análisis.

### 4.7.1 Resultados de ensayos de rugosidad superficial

La tabla 32 resume las medidas de rugosidad superficial obtenidas para cada experimento. La información técnica completa se presenta en el Anexo 4.

Tabla 32. Valores obtenidos de rugosidad superficial.

Registro de mediciones de rugosidad superficial (Ra) [ $\mu\text{m}$ ]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
1	0,592	0,589	0,595	0,591	0,589	0,579	0,596	0,580	0,566	0,583	<b>0,586</b>
2	0,851	0,852	0,857	0,836	0,826	0,795	0,803	0,815	0,800	0,804	<b>0,824</b>
3	0,788	0,783	0,809	0,812	0,797	0,789	0,782	0,783	0,821	0,817	<b>0,798</b>
4	0,799	0,871	0,803	0,794	0,782	0,794	0,766	0,754	0,771	0,775	<b>0,791</b>
5	11,253	11,239	11,156	11,198	10,636	10,538	11,113	11,090	11,196	10,736	<b>11,016</b>
6	7,989	8,485	8,077	7,970	8,230	8,168	8,201	7,819	7,800	7,827	<b>8,057</b>
7	8,392	8,678	8,453	8,503	8,309	8,809	8,773	9,142	9,120	9,110	<b>8,729</b>
8	7,628	7,732	8,193	8,168	8,026	8,110	7,918	7,917	8,152	8,156	<b>8,000</b>
9	0,777	0,839	0,862	0,750	0,600	0,613	0,613	0,695	0,670	0,679	<b>0,710</b>
10	0,791	0,708	0,657	0,647	0,645	0,646	0,658	0,659	0,612	0,616	<b>0,664</b>
11	0,827	0,807	0,833	0,807	0,786	0,751	0,748	0,742	0,734	0,711	<b>0,775</b>
12	1,790	1,485	0,907	1,318	1,103	0,991	0,810	0,899	0,879	0,872	<b>1,105</b>
13	10,969	11,021	10,937	10,825	10,790	10,848	10,842	10,928	10,041	10,100	<b>10,730</b>
14	8,059	7,994	8,080	7,819	7,763	8,552	7,761	7,725	7,857	7,821	<b>7,943</b>
15	9,290	9,434	9,400	9,408	9,830	9,823	9,375	9,359	9,333	9,419	<b>9,467</b>
16	8,112	8,065	8,067	7,922	7,902	7,938	7,953	8,181	7,961	7,973	<b>8,007</b>

Fuente: Autor

Se ha ejecutado el ensayo de rugosidad superficial como se observa en la figura 26, Los parámetros de medición de la rugosidad superficial con el rugosímetro Mitutoyo SJ 210 [39], están en base a la norma ISO 1997 con  $\lambda_c$  de 0.8  $\mu\text{m}$ ,  $\lambda_s$  de 2.5 mm y 10 mediciones en cada probeta.



Figura 26. Ensayo de rugosidad superficial en eje de AA 7075-T6.

Fuente: Autor

En la figura 27 se muestra la serie de tiempo de Rugosidad Superficial, se observa los diferentes experimentos en función a la rugosidad superficial alcanzada en cada uno de los experimentos, demás se puede observar como existen fuertes variaciones en función de los parámetros experimentas específicos. En vista de éstos resultados se podría determinar en primera instancia que el avance sería el factor predominante que influye en la rugosidad superficial.

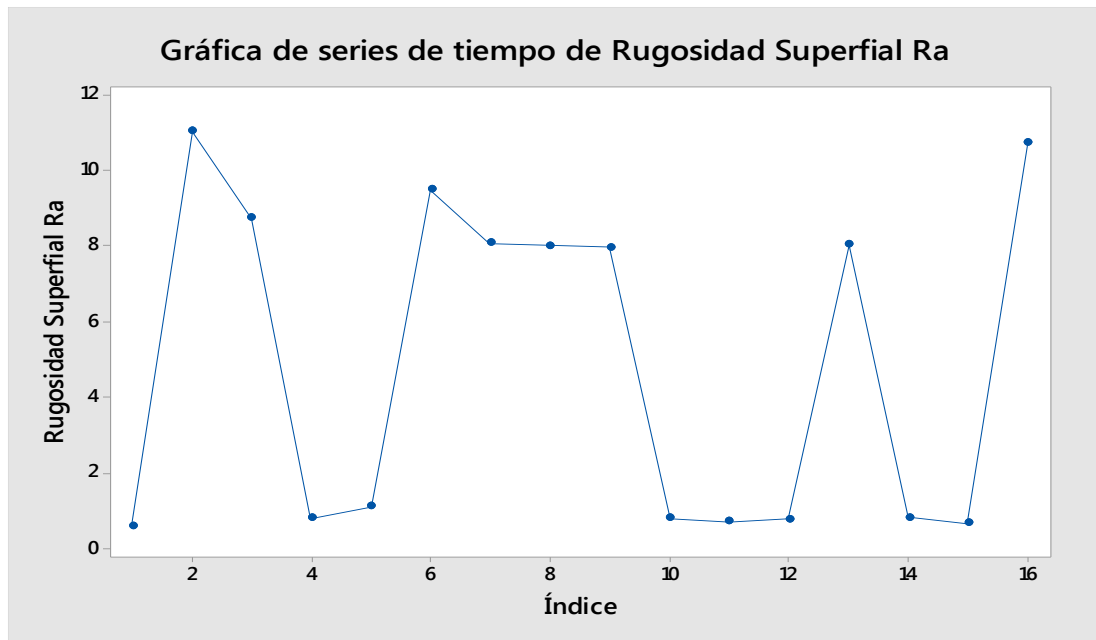


Figura 27. Series de tiempo de rugosidad superficial.

Fuente: Autor

Se obtiene la mínima rugosidad promedio en el experimento número 1 en el cual se tiene una velocidad de corte de 200 [m/min], un avance de 0.1 [mm/rev], y una profundidad de

corte de 1.5 [mm], su perfil de rugosidad menor con los valores obtenidos se los puede observar en la figura 28 y en la tabla 33, respectivamente.

Tabla 33. Valores obtenidos para ensayo de menor valor de rugosidad superficial.

Work Name	Sample	Oprator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurfTest	Comment	Ver2.00
Standard	ISO 1997	N	1
Profile	R	Cut-Off	2.5mm
λs	8μm	Filter	GAUSS
Ra	0.566 μm		
Rq	0.690 μm		
Rz	3.465 μm		

Fuente: Autor

Se obtiene una rugosidad media aritmética ( $R_a$ ) de 0.586 [μm], una rugosidad media cuadrática ( $R_q$ ) de 0.690 [μm], y una profundidad de rugosidad media ( $R_z$ ) de 3.465 [μm].

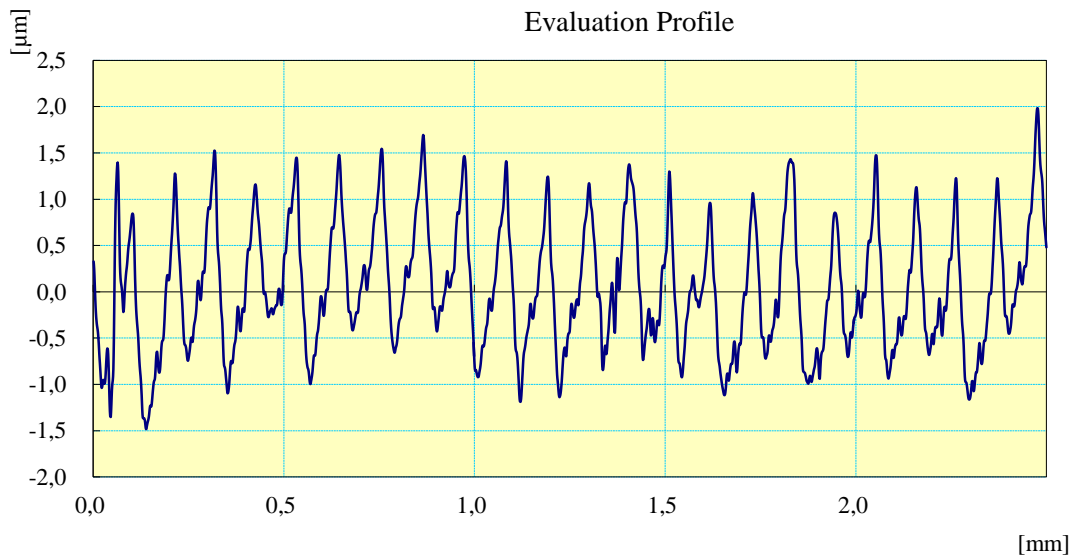


Figura 28. Perfil de rugosidad superficial ensayo de menor valor de rugosidad.

Fuente: Autor

Caso contrario, se tiene la mayor rugosidad promedio en el experimento 5 con una velocidad de corte de 200 [m/min], un avance de 0.3 [mm/rev] y una profundidad de corte de 1.5 [mm]. Su perfil de rugosidad mayor con los valores obtenidos se los puede observar en la figura 29 y en la tabla 34, respectivamente.

Tabla 34. Valores obtenidos para ensayo de mayor valor de rugosidad superficial.

Work Name	Sample	Oprator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurfTest	Comment	Ver2.00
Standard	ISO 1997	N	1
Profile	R	Cut-Off	2.5mm
$\lambda_s$	8 $\mu$ m	Filter	GAUSS
Ra	11.253 $\mu$ m		
Rq	12.775 $\mu$ m		
Rz	43.469 $\mu$ m		

Fuente: Autor

Bajo estas condiciones de mecanizado, al realizar la medición de la rugosidad superficial se obtuvo una rugosidad media aritmética ( $R_a$ ) de 11.253 [ $\mu$ m], una rugosidad media cuadrática ( $R_q$ ) de 12.775 [ $\mu$ m], y una profundidad de rugosidad media ( $R_z$ ) de 43.469 [ $\mu$ m].

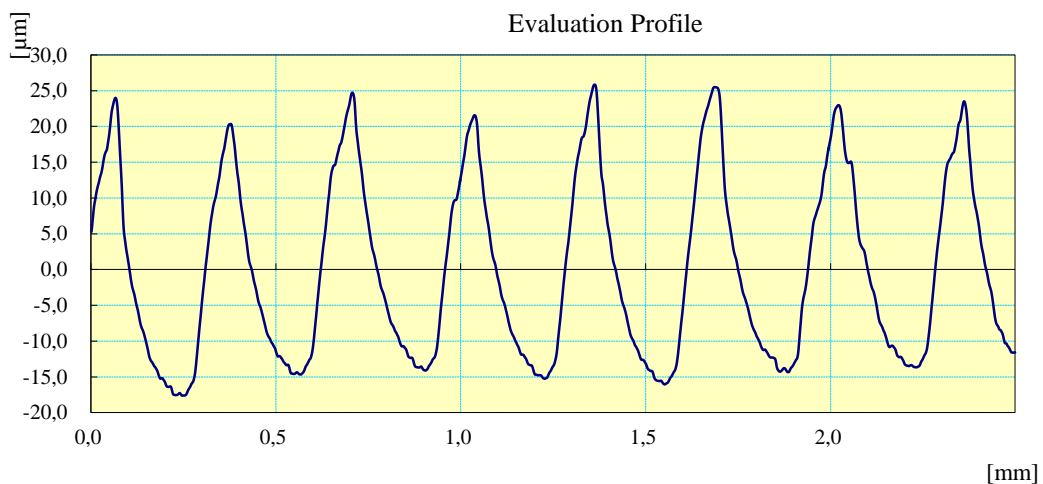


Figura 29. Perfil de rugosidad superficial ensayo de mayor valor de rugosidad.

Fuente: Autor

#### 4.7.2 Pruebas de normalidad de datos de rugosidad

Debido a la existencia de variaciones que se presentan en los datos, se va a ejecutar una prueba de normalidad con la ayuda de un Software especializado como se observa en la figura 30. Esta prueba se ejecutó con un 95 % de confianza, teniendo una media de 4.888 [ $\mu$ m].

El valor de la desviación estándar fue 4.330 [ $\mu\text{m}$ ], un coeficiente de Anderson Darling (AD) de 1.727 y un valor de probabilidad menor a 0.005. Este valor indica que la distribución de los datos presentada no proviene de una distribución normal. Esto es debido a que su valor es menor que el nivel de significancia escogido (0.05), se considera que el estadístico AD, va a ser menor mientras mejor se ajuste la distribución de los datos a una distribución específica.

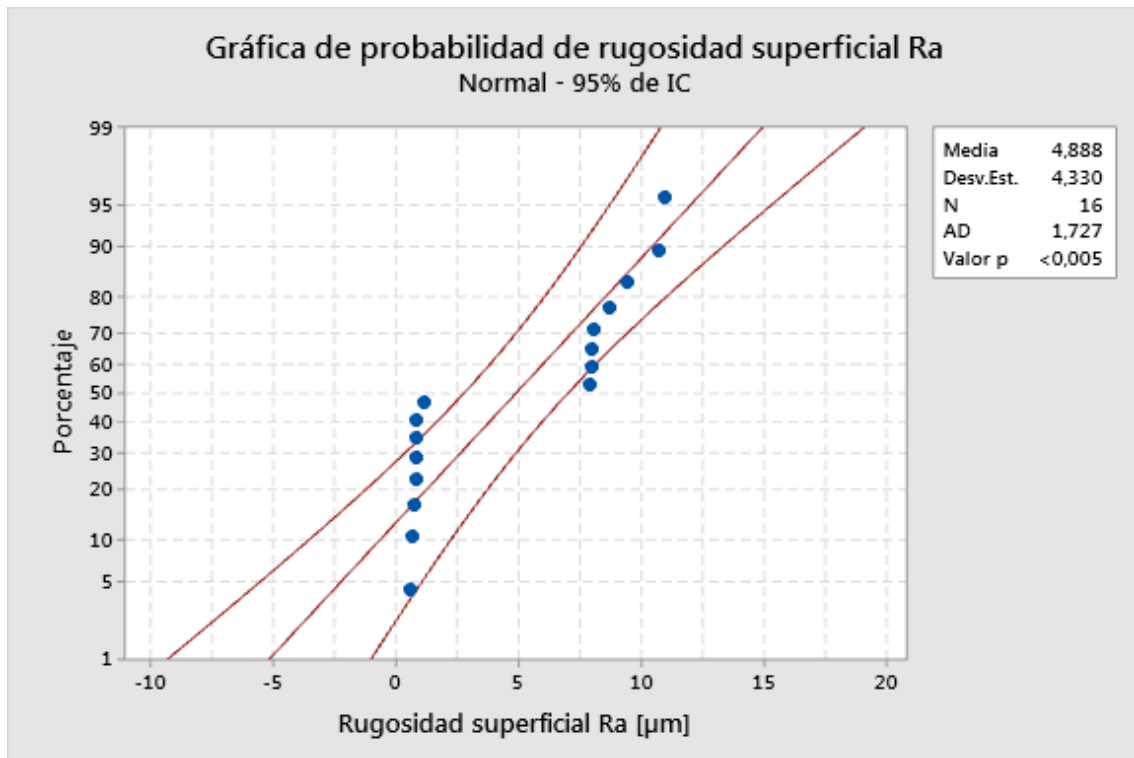


Figura 30. Prueba de normalidad de datos de rugosidad superficial.

Fuente: Autor

En vista que los datos obtenidos no siguen una distribución normal, se analizan a los mismos, en los cuales se observa que tienen tendencias distribuidas en dos grupos, los mismos que están en función al parámetro de avance (avance de 0.1 y de 0.3 [ $\text{mm/rev}$ ]). Por lo cual, se realizan pruebas de normalidad a cada grupo de datos. En la figura 31 se tiene la prueba de normalidad para los datos con un avance de 0.1 [ $\text{mm/rev}$ ].

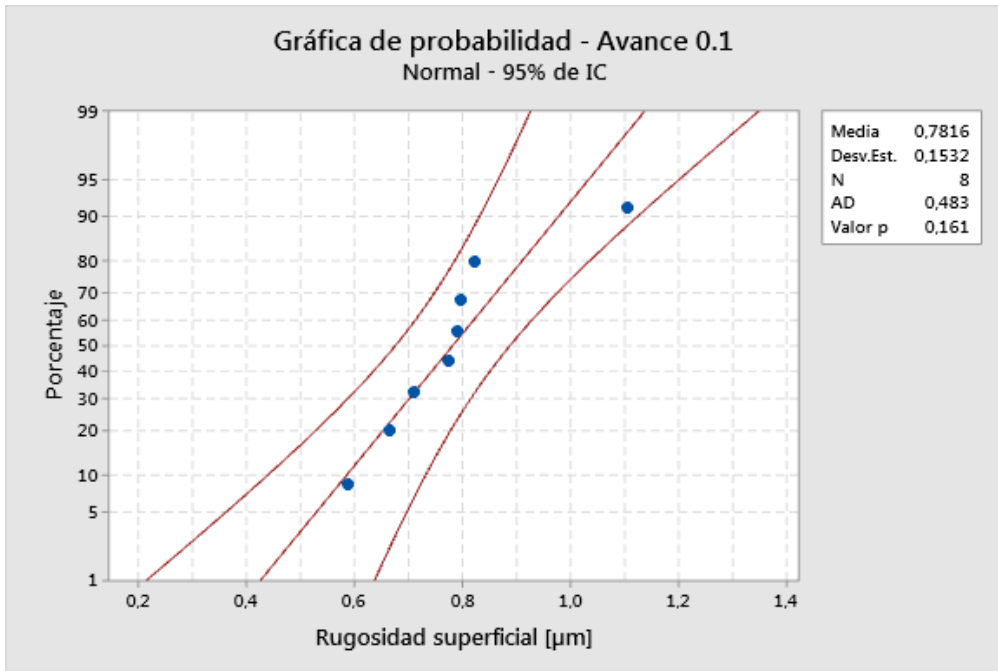


Figura 31. Datos de rugosidad superficial (avance 0.1 [mm/rev]).

Fuente: Autor

La figura 32 muestra la prueba de normalidad para los datos con un avance de 0.3 [mm/rev]. Con los valores obtenidos de las pruebas de normalidad con un 95% de confianza, se tiene un coeficiente de Anderson Darling (AD) de 0.483 y 0.654 y un valor de probabilidad de 0.161 y 0.054 respectivamente para un avance de 0.1 y 0.3 [mm/rev].

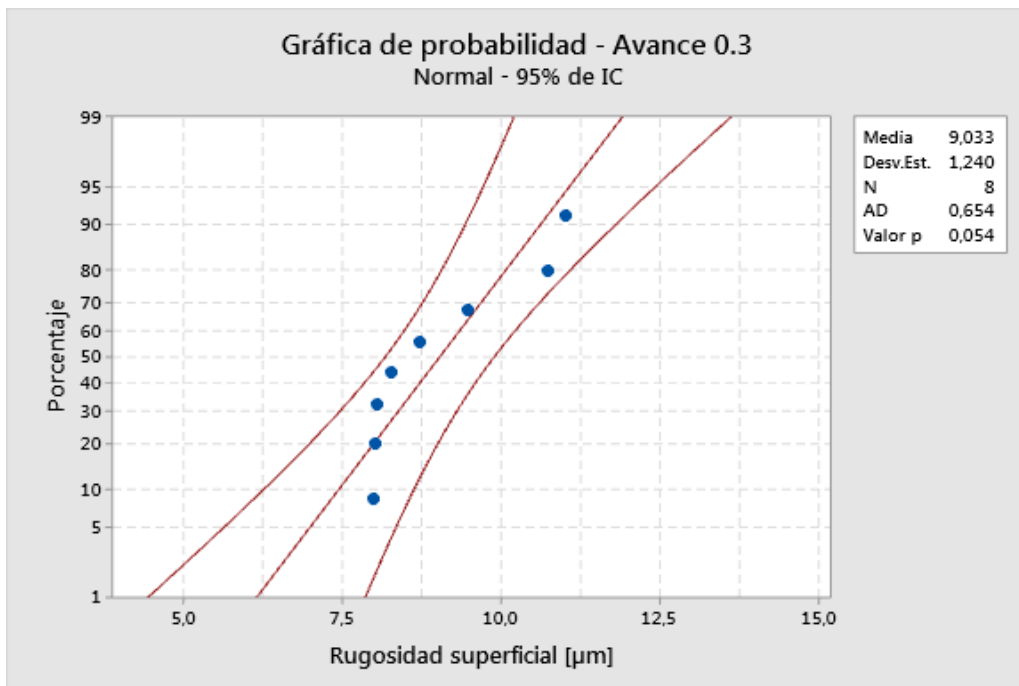


Figura 32. Datos de rugosidad superficial (avance 0.3 [mm/rev]).

Fuente: Autor

Entonces, se demuestra que los valores obtenidos de rugosidad superficial siguen una distribución normal ya que su valor de probabilidad es mayor que el nivel de significancia escogido (0.05), para cada uno de los casos.

#### **4.7.3 Resultados de ensayo de microscopía electrónica de barrido (SEM)**

Se ha ejecutado el ensayo de microscopía electrónica de barrido (SEM) como se observa en la figura 33.



Figura 33. Microscopio electrónico de barrido (SEM) TESCAN 01.

Fuente: Autor

Se determinó el tipo de desgaste de herramienta de corte mostrado en las figuras 34 y 35. Además, se ha evaluado el desgaste de la herramienta como indica la norma ISO 3685, en el cual se tiene el criterio del máximo desgaste del flanco de 0.6 mm ( $VB_B = 0.6$  mm), y el criterio del desgaste promedio del flanco de 0.3 mm ( $VB_B = 0.3$  mm).

En la tabla 35 se muestra el registro de las mediciones realizadas para cada uno de los ensayos. En el Anexo 5 se presentan los informes técnicos respectivos. Se efectuó las medidas en un microscopio electrónico de barrido, modelo TESCAN 01, con filamento de tungsteno, con un cañón de electrones de 30 kV y como consumible nitrógeno.

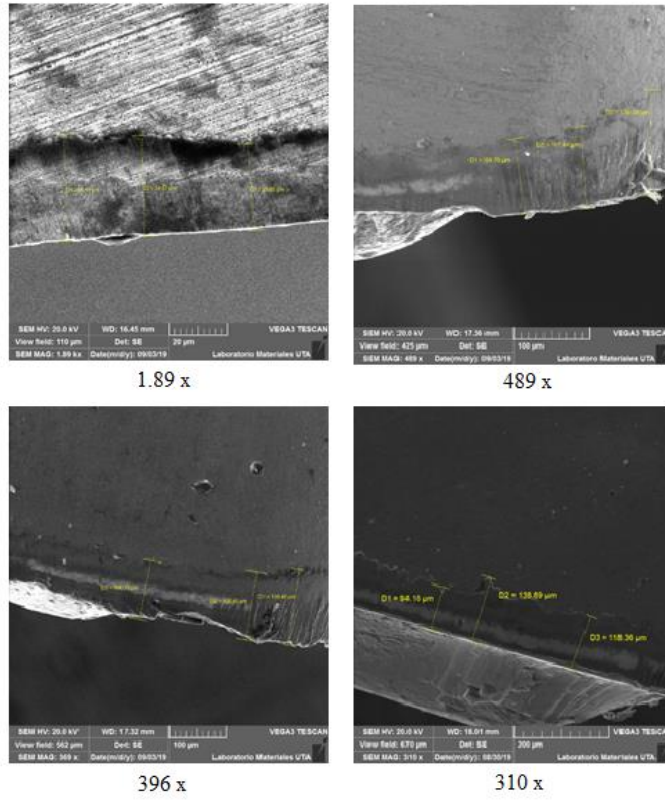


Figura 34. Tipo de desgaste de la herramienta de corte (1.89, 489, 396, 310 x).

Fuente: Autor

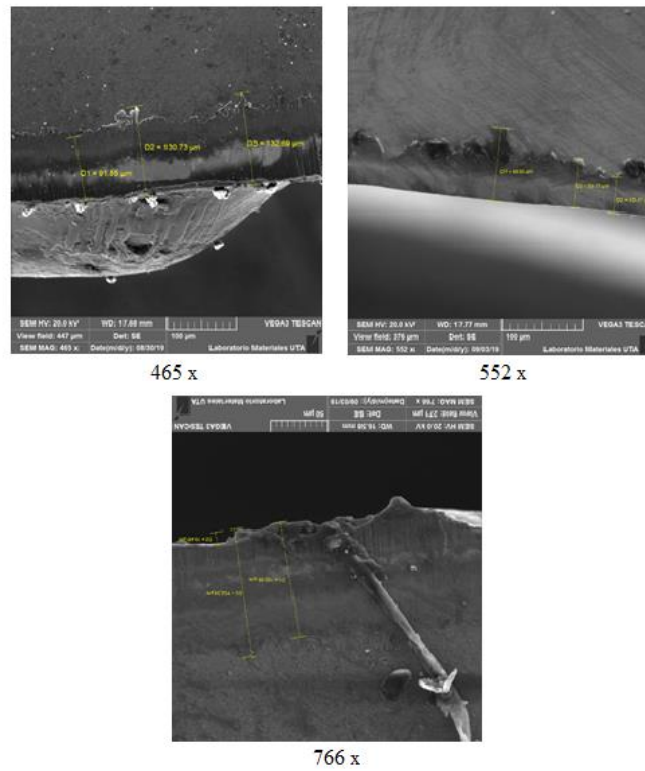


Figura 35. Desgaste de la herramienta de corte – filo de aportación.

Fuente: Autor



Tabla 35. Valores obtenidos de desgaste de la herramienta de corte.

<b>Registro de mediciones de desgaste de la herramienta [<math>\mu\text{m}</math>]</b>					
<b>PROBETA</b>	<b>VM</b>	<b>VB</b>	<b>VS</b>	<b>SUMA</b>	<b>Promedio</b>
<b>Experimento 1</b>	36,51	34,57	29,85	100,93	<b>33,64</b>
<b>Experimento 2</b>	61,14	82,14	70,19	213,47	<b>71,16</b>
<b>Experimento 3</b>	1,02	1,23	1,17	3,42	<b>1,14</b>
<b>Experimento 4</b>	99,70	107,44	139,04	346,18	<b>115,39</b>
<b>Experimento 5</b>	14,20	14,13	10,09	38,42	<b>12,81</b>
<b>Experimento 6</b>	102,06	112,34	10,49	224,89	<b>74,96</b>
<b>Experimento 7</b>	1,10	1,13	1,37	3,60	<b>1,20</b>
<b>Experimento 8</b>	104,76	122,05	136,45	363,26	<b>121,09</b>
<b>Experimento 9</b>	1,33	0,69	0,75	2,77	<b>0,92</b>
<b>Experimento 10</b>	91,85	130,73	132,69	355,27	<b>118,42</b>
<b>Experimento 11</b>	88,96	59,75	43,41	192,12	<b>64,04</b>
<b>Experimento 12</b>	94,16	138,89	116,00	349,05	<b>116,35</b>
<b>Experimento 13</b>	0,64	0,86	1,03	2,53	<b>0,84</b>
<b>Experimento 14</b>	115,83	18,38	148,86	283,07	<b>94,36</b>
<b>Experimento 15</b>	4,50	10,43	45,84	60,77	<b>20,26</b>
<b>Experimento 16</b>	102,57	119,49	140,09	362,15	<b>120,72</b>

Fuente: Autor

Se obtiene el mínimo desgaste de la herramienta de corte en el experimento número 13 en el cual se tiene una velocidad de corte de 400 [m/min], un avance de 0.3 [mm/rev] y una profundidad de corte de 1.5 [mm], con VM de 0.64 [ $\mu\text{m}$ ], VB de 0.86 [ $\mu\text{m}$ ] y VS de 1.03 [ $\mu\text{m}$ ] como se puede observar en la figura 36.

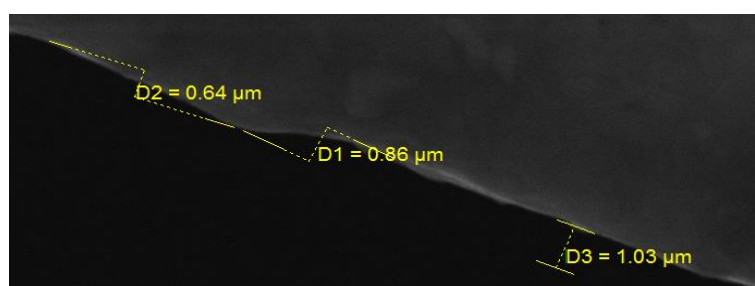


Figura 36. Mínimo desgaste de la Herramienta de corte para el ensayo 13.

Fuente: Autor

En la figura 37 se muestra la serie de tiempo del desgaste de la herramienta de corte, se observa los diferentes experimentos en función al desgaste de la herramienta de corte que se ha obtenido en cada uno de los experimentos. Además, se puede observar como existen fuertes variaciones en función de los parámetros experimentas específicos.

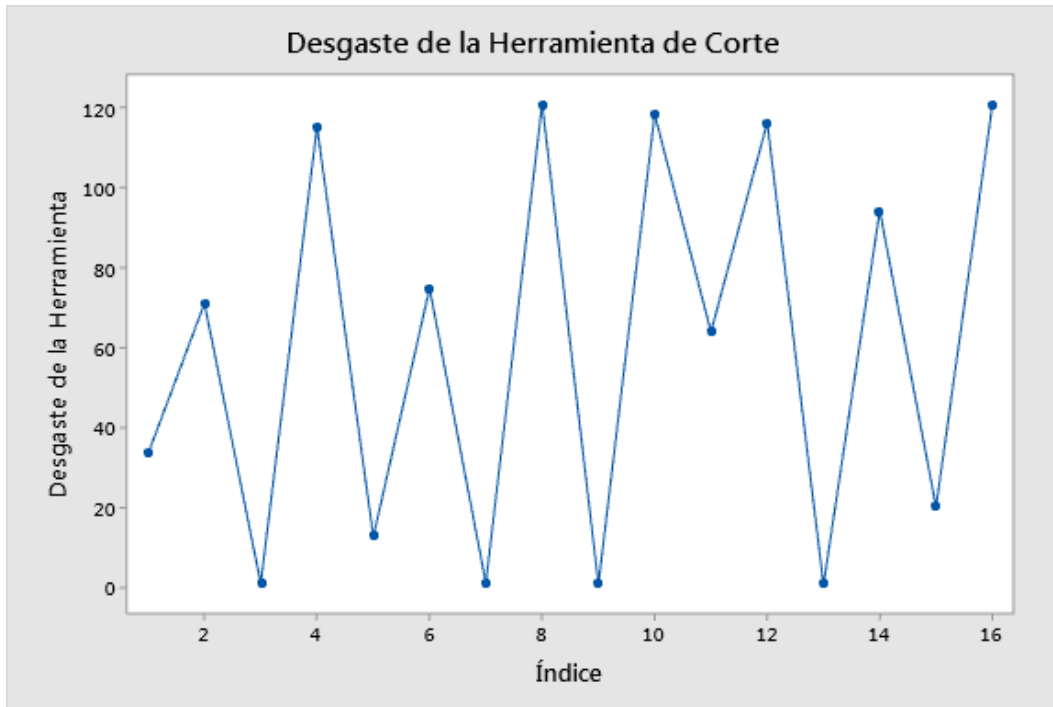


Figura 37. Series de tiempo de desgaste de la herramienta de corte.

Fuente: Autor

Caso contrario se tiene el mayor desgaste de la herramienta de corte en el experimento 8 con una velocidad de corte de 200 [m/min], un avance de 0.3 [mm/rev], y una profundidad de corte de 3 [mm], con VM de 104.76 [μm], VB de 122.05 [μm] y VS de 136.45 [μm] como se puede observar en la figura 38.

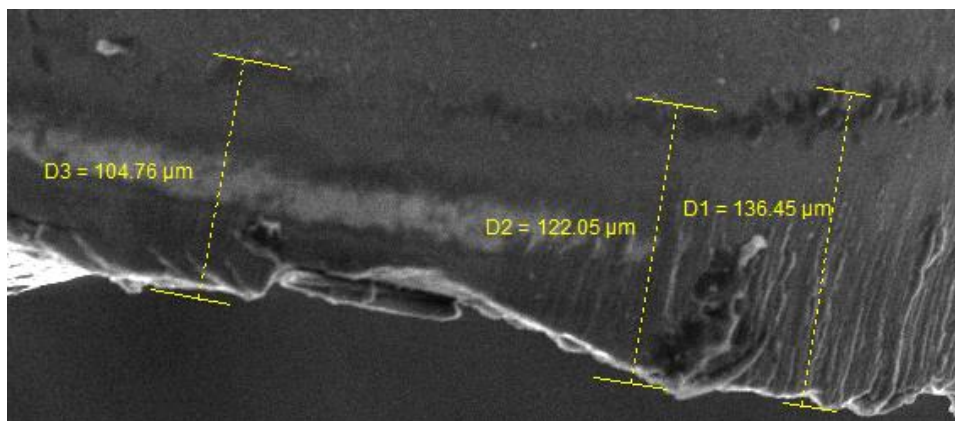


Figura 38. Máximo desgaste de la herramienta de corte para el ensayo 13.

Fuente: Autor

#### 4.7.4 Pruebas de normalidad de datos de desgaste de la herramienta de corte

Con los valores obtenidos de las pruebas de normalidad con un 95% de confianza, se tiene un coeficiente de Anderson Darling (AD) de 0.43 y 0.539 y un valor de probabilidad de

0.227 y 0.114 respectivamente para un avance de 0.1 y 0.3 [mm/rev] respectivamente, por lo que se demuestra que los valores obtenidos de desgaste de la herramienta de corte siguen una distribución normal, ya que el valor de probabilidad es superior que el nivel de significancia escogido (0.05), para cada uno de los casos.

De la misma manera que los datos de rugosidad se tienen grandes variaciones por lo cual se ejecuta la prueba de normalidad con la ayuda de un Software especializado como se observa en la figura 39, la misma que se obtiene con un 95% de confianza, en el cual tenemos una media de 60.46 [μm], con una desviación estándar de 46.69 [μm], un coeficiente de Anderson Darling (AD) de 0.864 y un valor de probabilidad de 0.020, con lo que se concluye que los datos obtenidos no provienen de una distribución normal.

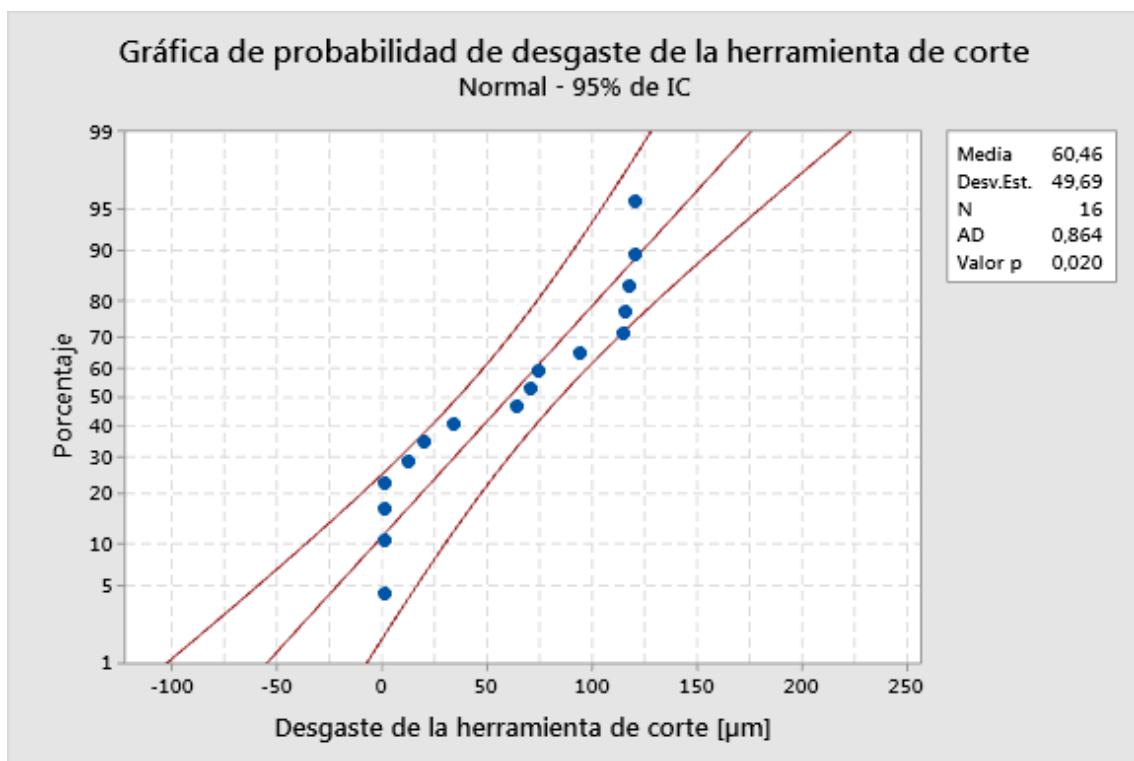


Figura 39. Datos de desgaste de la herramienta de corte.

Fuente: Autor

Ya que los datos obtenidos no provienen de una distribución normal, se realizará nuevamente otra prueba de normalidad acorde al parámetro de avance (avance de 0.1 y de 0.3 [mm/rev]) como se ejecutó anteriormente con los datos de rugosidad. En la figura 40 se tiene la prueba de normalidad para los datos con un avance de 0.1 [mm/rev] y el la figura 41 se tiene la prueba de normalidad para los datos con un avance de 0.3 [mm/rev].

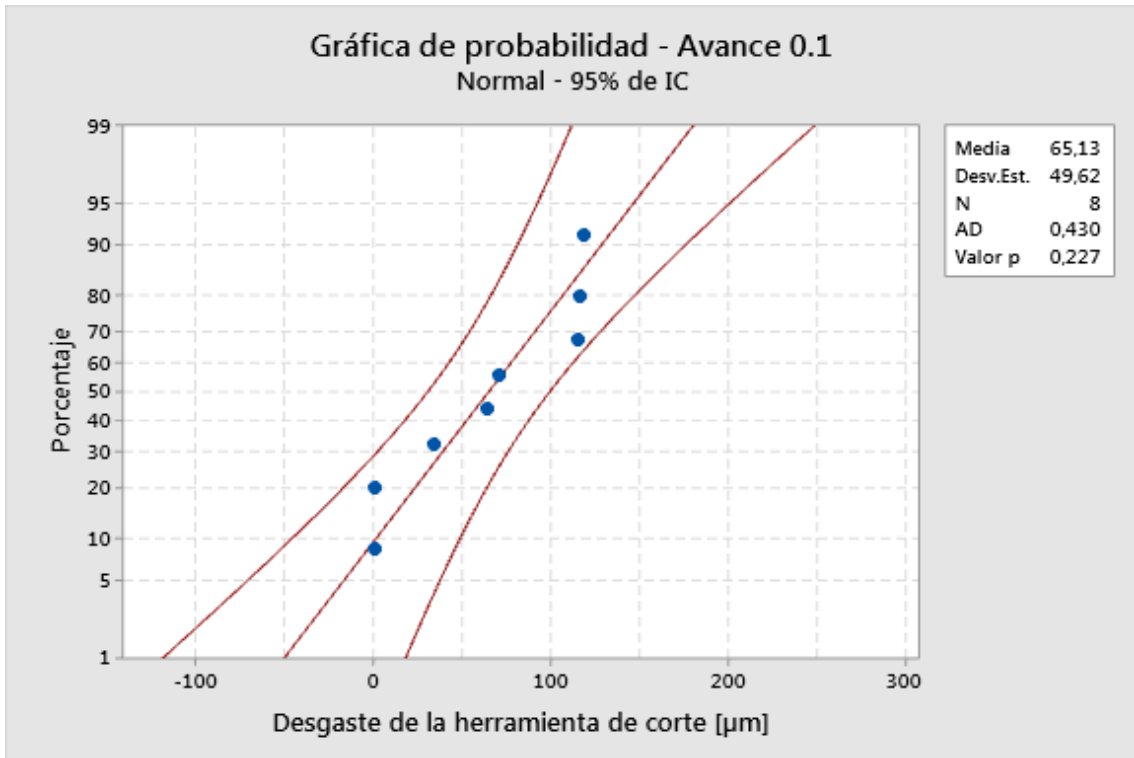


Figura 40. Datos de desgaste de herramienta de corte (avance 0.1 [mm/rev]).

Fuente: Autor

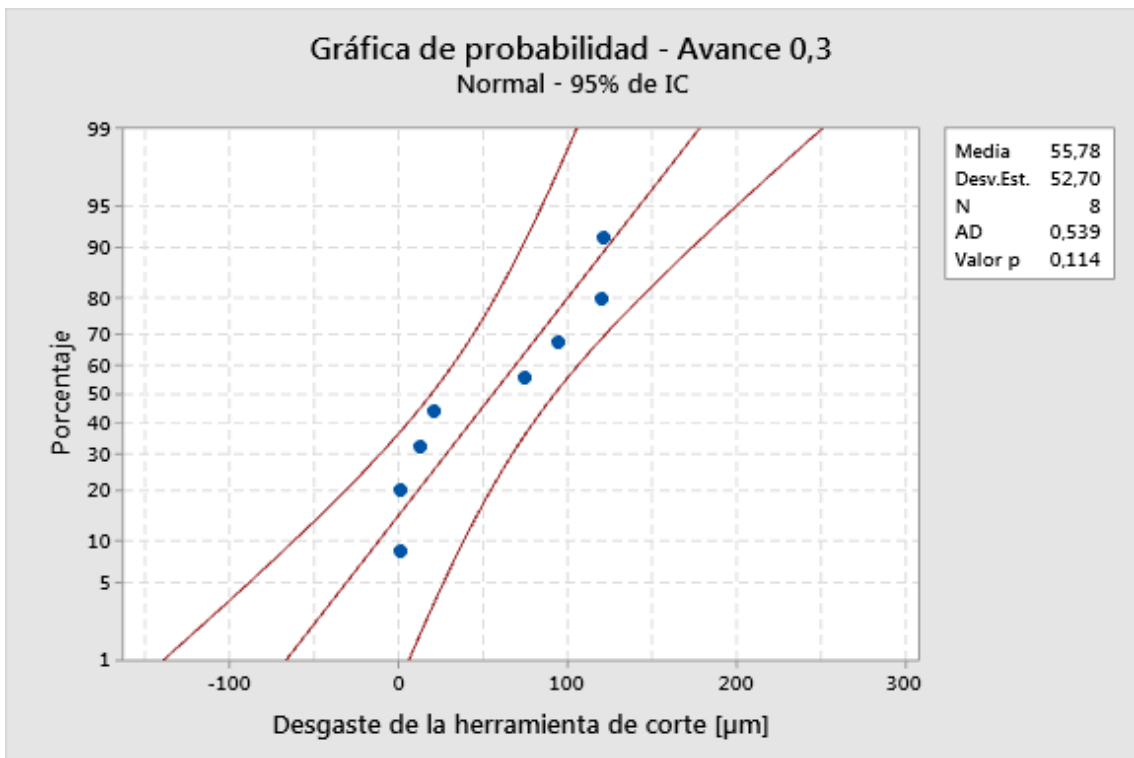


Figura 41. Datos de desgaste de herramienta de corte (avance 0.3 [mm/rev]).

Fuente: Autor

#### 4.8 Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados obtenidos, se ejecutará una técnica estadística de análisis de varianza llamada ANOVA, la misma que analiza la variabilidad de los datos obteniéndose una confianza, la misma que es medida a través de la varianza ( $S$ ). Con el uso de ésta técnica en el estudio, se pretende determinar los parámetros que sean más importantes en función de la rugosidad superficial y del desgaste de la herramienta de corte. Para el desarrollo del ANOVA es útil tener una tabla que inmiscuya las variables experimentales como los resultados que se han obtenido como se indica en la tabla 36.

Tabla 36. Variables y valores experimentales obtenidos.

Ensayo	Velocidad de corte ( $V_c$ ) [m/min]	Avance ( $f$ ) [mm/rev]	Profundidad de corte ( $A_p$ ) [mm]	Tipo de herramienta de corte	Rugosidad superficial ( $R_a$ ) [ $\mu$ m]	Desgaste de la herramienta de corte ( $V_b$ ) [ $\mu$ m]
1	200	0,1	1,5	CVD	<b>0,586</b>	<b>33,64</b>
2	200	0,1	1,5	PVD	<b>0,8239</b>	<b>71,16</b>
3	200	0,1	3	CVD	<b>0,7981</b>	<b>1,14</b>
4	200	0,1	3	PVD	<b>0,7909</b>	<b>115,39</b>
5	200	0,3	1,5	CVD	<b>11,0155</b>	<b>12,81</b>
6	200	0,3	1,5	PVD	<b>8,0566</b>	<b>74,96</b>
7	200	0,3	3	CVD	<b>8,7289</b>	<b>1,20</b>
8	200	0,3	3	PVD	<b>8</b>	<b>121,09</b>
9	400	0,1	1,5	CVD	<b>0,7098</b>	<b>0,92</b>
10	400	0,1	1,5	PVD	<b>0,6639</b>	<b>118,42</b>
11	400	0,1	3	CVD	<b>0,7746</b>	<b>64,04</b>
12	400	0,1	3	PVD	<b>1,1054</b>	<b>116,35</b>
13	400	0,3	1,5	CVD	<b>10,7301</b>	<b>0,84</b>
14	400	0,3	1,5	PVD	<b>7,9431</b>	<b>94,36</b>
15	400	0,3	3	CVD	<b>9,4671</b>	<b>20,26</b>
16	400	0,3	3	PVD	<b>8,0074</b>	<b>120,72</b>

Fuente: Autor

En donde se tiene:

- Grados de libertad.

Es una medida que es tomada de cierta cantidad de información, está determinada de forma exclusiva en función de un conjunto de datos.

Grados de libertad total:

$$DF_{total} = \text{Número de Pruebas} - 1$$

Ec. 31

Para factores se tiene que:

$$DF = \text{Número de niveles} - 1 \quad \text{Ec. 32}$$

Para el error:

$$DF_e = DF_{total} - DF_{factores} \quad \text{Ec. 33}$$

- Suma de cuadrados totales.

$$ST = S - C \cdot F \quad \text{Ec. 34}$$

$$ST = \sum_{i=1}^n yi^2 - \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n yi\right]^2 \quad \text{Ec. 35}$$

- Varianza.

$$SA = \sum_{K=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n (AKi)\right]^2 - CF \quad \text{Ec. 36}$$

$$V = \frac{S}{DF} \quad \text{Ec. 37}$$

Para la ejecución del método ANOVA será necesario el cálculo de distintas variables, por lo que se ha optado por definir las de la siguiente manera como se indica en la tabla 37.

Tabla 37. Terminología ANOVA.

<b>C.F Factor de Corrección</b>	<b>V Varianza (Promedio de raíces)</b>
$f$ = Grados de libertad	$S$ = Suma de cuadrados
$DF_e$ = Error grados de libertad del error	$n$ = Número de experimentos
$DF_{total}$ = Grados de libertad total	$Df$ = Grados de libertad
$r$ = Número de repeticiones	$e$ = Error (experimental)
$S$ = Suma pura de cuadrados	$F$ = Relación de varianza
$T$ = Total de resultados	$P$ = Porcentaje de influencia

La prueba de  $F$  o razón de varianza viene a ser la correlación de la varianza del parámetro del proceso y el error que se tiene, sirve para cuantificar la significancia de los diferentes factores de estudio respecto a la varianza que se tenga de todos los factores incluyendo al error.

$$F = \frac{V}{e} \quad \text{Ec. 38}$$

Porcentaje de influencia es el valor porcentual de influencia de cada factor de estudio, viene definido de la siguiente manera:

$$P = S \cdot \frac{1}{ST} \cdot 100 \quad \text{Ec. 39}$$

#### 4.8.1 Análisis de resultados de rugosidad superficial

A continuación, se realizan los diferentes cálculos para la técnica ANOVA.

##### 4.8.1.1 Grados de libertad

Grados de libertad total:

$$DF_{total} = 16 - 1$$

$$DF_{total} = 15$$

Para factores se tiene que:

$$DF = 2 - 1$$

$$DF = 1$$

Para el error:

$$DF_e = 15 - (1 * 4)$$

$$DF_e = 11$$

##### 4.8.1.2 Suma de cuadrados totales

$$\sum_{i=1}^n yi^2 = (0.586^2 + 0.8239^2 + 0.7981^2 \dots \dots + 9.4671^2 + 8.0074^2)$$

$$\sum_{i=1}^n yi^2 = \mathbf{663.47}$$

$$C.F = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n yi\right]^2 = \frac{(0.586 + 0.8239 + 0.7981 \dots \dots + 9.4671 + 8.0074)^2}{16}$$

$$= \mathbf{382.2152}$$

$$ST = 663.47 - 382.2151 = \mathbf{281.25}$$

### 4.8.1.3 Varianza

- Velocidad de corte.

$$\sum_{K=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (AKi) \right]^2 \quad \text{Ec. 40}$$

$$= \frac{((0.586 + 11.015 + 8.7289 + 0.7981 + 8.0566 + 8.000 + 0.7909 + 0.8239))^2}{8}$$

$$= 188.179$$

$$= \frac{((1.1054 + 9.4671 + 7.9437 + 0.7098 + 0.7745 + 8.0074 + 0.6639 + 10.7301))^2}{8}$$

$$= 194.0587$$

$$SA = 188.179 + 194.0587 - 382.2152 = \mathbf{0.02261}$$

- Avance.

$$\sum_{K=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (AKi) \right]^2 \quad \text{Ec. 41}$$

$$= \frac{((0.586 + 0.7981 + 1.1054 + 0.7909 + 0.7098 + 0.7746 + 0.8239 + 0.6639))^2}{8}$$

$$= 4.8868$$

$$= \frac{((11.0155 + 8.7289 + 9.4671 + 8.0566 + 8.000 + 7.9431 + 8.0074 + 10.7301))^2}{8}$$

$$= 647.0769$$

$$SB = 4.8868 + 647.0769 - 382.2152 = \mathbf{269.7486}$$

- **Profundidad**

$$\sum_{K=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (AKi) \right]^2 \quad \text{Ec. 42}$$

$$= \frac{((0.586 + 11.015 + 8.0566 + 7.9431 + 0.7098 + 0.8239 + 0.6639 + 10.7301))^2}{8}$$

$$= 205.3239$$

$$= \frac{((8.7289 + 0.7981 + 1.1054 + 9.4671 + 8.000 + 0.7909 + 0.7746 + 8.0074))^2}{8}$$

$$= 177.4012$$

$$SC = 205.3239 + 177.4012 - 382.2152 = \mathbf{0.5099}$$



- **Tipo de herramienta de corte**

$$\sum_{K=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n (AKi)\right]^2 \quad \text{Ec. 43}$$

$$= \frac{((0.586 + 11.015 + 8.0566 + 7.9431 + 0.7098 + 0.8239 + 0.6639 + 10.7301))^2}{8}$$

$$= 229.088$$

$$= \frac{((8.7289 + 0.7981 + 1.1054 + 9.4671 + 8.000 + 0.7909 + 0.7746 + 8.0074))^2}{8}$$

$$= 156.56$$

$$SC = 229.088 + 156.56 - 382.2152 = \mathbf{3.44}$$

#### 4.8.1.4 Varianza del factor

- Velocidad de corte.

$$VA = \frac{SA}{DF} = \frac{0.02261}{1} = \mathbf{0.02261}$$

- Avance.

$$VB = \frac{SB}{DF} = \frac{269.7486}{1} = \mathbf{269.7486}$$

- Profundidad.

$$VC = \frac{SC}{DF} = \frac{0.5099}{1} = \mathbf{0.5099}$$

- Tipo de herramienta de corte.

$$VC = \frac{SC}{DF} = \frac{3.44}{1} = \mathbf{3.44}$$

#### 4.8.1.5 Error

$$e = ST - (SA + SB + SC) \quad \text{Ec. 44}$$

$$e = 281.25 - (0.02261 + 269.7486 + 0.5099 + 3.44)$$

$$e = \mathbf{7.53}$$

#### 4.8.1.6 Error de la varianza

$$Ve = \frac{Se}{DFe} = \frac{7.53}{11} = \mathbf{0.6845}$$

#### 4.8.1.7 Prueba de F

- Velocidad de corte.

$$VFA = \frac{VA}{Ve} = \frac{0.02261}{0.6845} = \mathbf{0.033}$$

- Avance.

$$VFB = \frac{VA}{Ve} = \frac{269.7486}{0.6845} = \mathbf{394.08}$$

- Profundidad.

$$VFC = \frac{VA}{Ve} = \frac{0.5099}{0.6845} = \mathbf{0.7449}$$

- Tipo de herramienta de corte.

$$VFC = \frac{VA}{Ve} = \frac{3.44}{0.6845} = \mathbf{5.02}$$

#### 4.8.1.8 Porcentaje de influencia

- Velocidad de corte.

$$\%P = S \cdot \frac{1}{ST} \cdot 100 = 0.02261 \cdot \frac{1}{281.25} \cdot 100 = \mathbf{0.00803 \%}$$

- Avance.

$$\%P = S \cdot \frac{1}{ST} \cdot 100 = 269.7486 \cdot \frac{1}{281.25} \cdot 100 = \mathbf{95.91 \%}$$

- Profundidad.

$$\%P = S \cdot \frac{1}{ST} \cdot 100 = 0.5099 \cdot \frac{1}{281.25} \cdot 100 = \mathbf{0.1813 \%}$$

- Tipo de herramienta de corte.

$$\%P = S \cdot \frac{1}{ST} \cdot 100 = 3.44 \cdot \frac{1}{281.25} \cdot 100 = \mathbf{1.22 \%}$$

Una vez efectuada toda la metodología de ANOVA, se han llegado a obtener la razón de varianza o prueba de Fisher, se obtiene como resultado del análisis que el factor que influye sobre la rugosidad superficial es el avance con un valor de  $F$  de 394.08 y un porcentaje de influencia del 95.91 %, en cambio la velocidad, profundidad de corte y tipo de herramienta influyen o no de una manera despreciable sobre la rugosidad superficial con una influencia del 0.00803, 0.1813 y 1.22 %, respectivamente. En la tabla 38 se presenta el resumen del análisis ANOVA.

Tabla 38. Resumen análisis ANOVA  $R_a$ .

FUENTE	DF	S	V	Valor $F$	%P
Velocidad de corte ( $V_c$ )	1	0.02261	0.02261	0.033	0.00803
Avance ( $f$ )	1	269.7486	269.7486	394.08	95.91
Profundidad de corte ( $A_p$ )	1	0.5099	0.5099	0.7449	0.1813
Tipo de herramienta de corte	1	3.44	3.44	5.02	1.22
Error	11	7.53	0.6854		
ST Total	15				

Fuente: Autor

Se determinan los efectos principales para la rugosidad superficial como se puede observar en la figura 42, en la misma se observa claramente que el avance es el parámetro de corte que influye o tiene un efecto principal mientras tanto la profundidad y la velocidad de corte casi se mantienen constantes por lo cual no tienen efectos principales significativos.

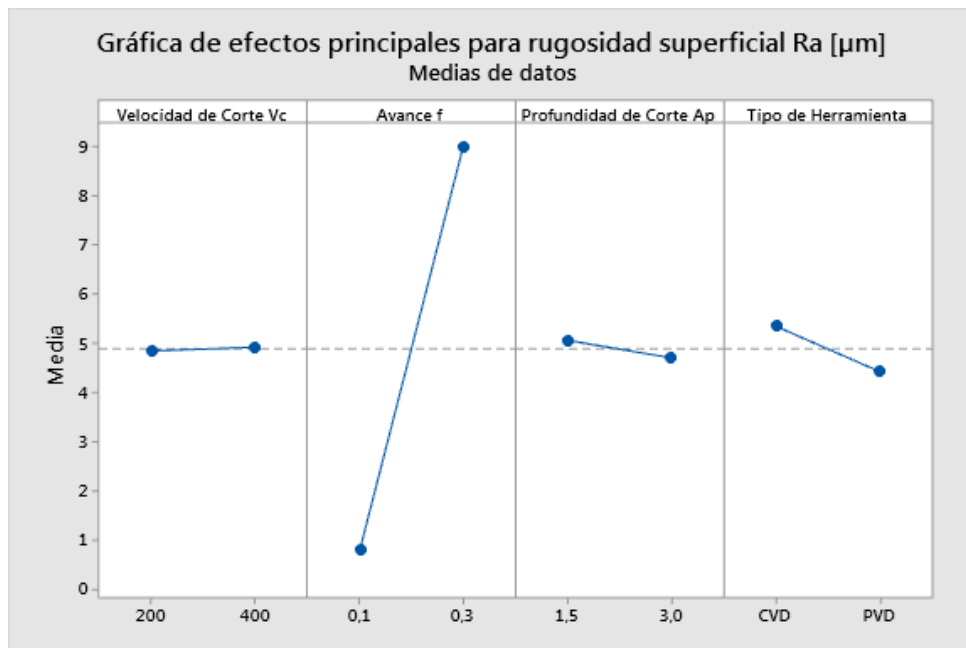


Figura 42. Efectos principales para rugosidad superficial.

Fuente: Autor

En la figura 43 se muestra las interacciones de los diferentes parámetros de corte para cada uno de sus niveles, para la velocidad, profundidad y tipo de herramienta de corte las líneas que las representan están prácticamente situadas en el mismo lugar, lo que significa que éstas no tienen un valor significativo sobre la variable de respuesta; en cambio para el avance se tiene una diferencia significativa lo que quiere decir que ésta variable influye significativamente sobre nuestra variable de respuesta.

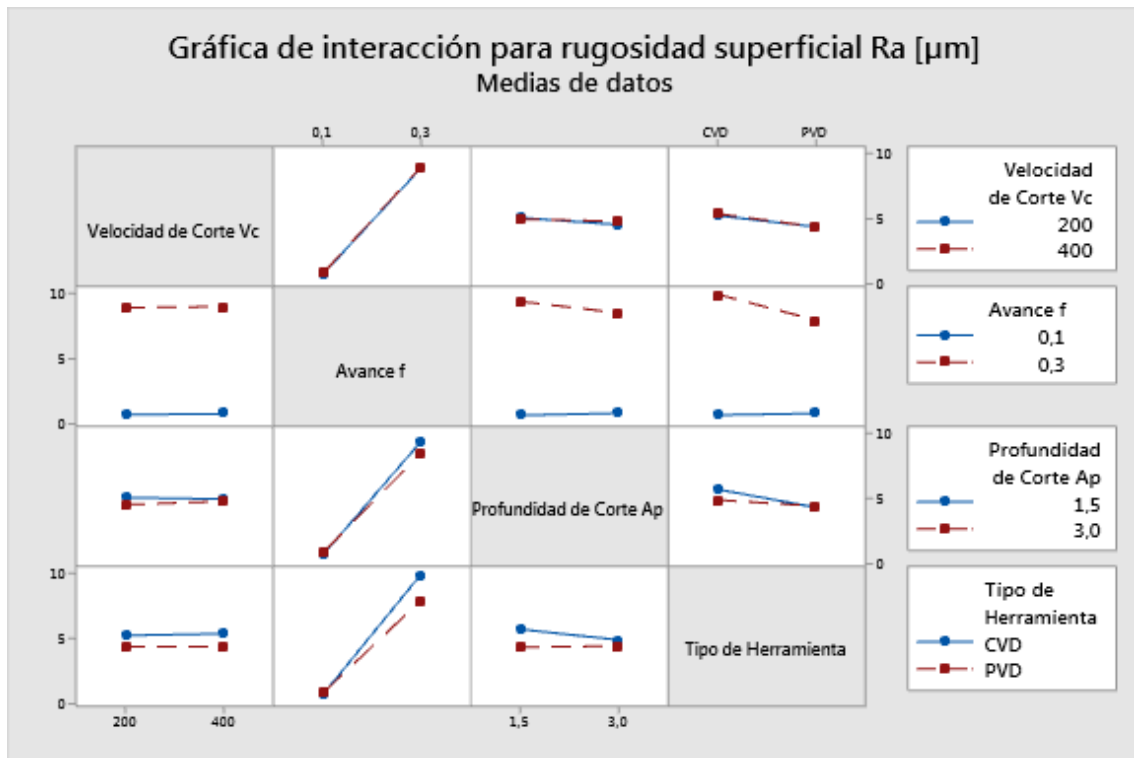


Figura 43. Interacción de rugosidad superficial.

Fuente: Autor

#### 4.8.2 Análisis de resultados de desgaste de la herramienta de corte

A continuación, se realizan los diferentes cálculos para la técnica ANOVA.

##### 4.8.2.1 Grados de libertad

Grados de libertad total:

$$DF_{total} = 16 - 1$$

$$DF_{total} = 15$$

Para factores se tiene:

$$DF = 2 - 1$$

$$DF = 1$$

Para el error:

$$DF_e = 15 - (1 \cdot 4)$$

$$DF_e = 11$$

#### 4.8.2.2 Suma de cuadrados totales

$$\sum_{i=1}^n yi^2 = (33.64^2 + 12.81^2 + 1.20^2 \dots \dots + 118.42^2 + 0.84^2)$$

$$\sum_{i=1}^n yi^2 = \mathbf{95509.12}$$

$$C.F = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n yi\right]^2 = \frac{(33.64 + 12.81 + 1.20 \dots \dots + 118.42 + 0.84)^2}{16}$$

$$= \mathbf{58479.331}$$

$$ST = 95509.12 - 58479.331 = \mathbf{37029.79}$$

#### 4.8.2.3 Varianza

- Velocidad de corte.

$$\sum_{K=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n (AKi)\right]^2$$

$$= \frac{((33.64 + 12.81 + 1.20 + 1.14 + 74.96 + 121.09 + 115.39 + 71.16))^2}{8}$$

$$= 23262.167$$

$$= \frac{((116.35 + 20.26 + 94.36 + 0.92 + 64.04 + 120.72 + 118.42 + 0.84))^2}{8}$$

$$= 35899.941$$

$$SA = 23262.167 + 35899.941 - 58479.331 = \mathbf{682.777}$$

- Avance

$$\sum_{K=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n (AKi)\right]^2$$

$$= \frac{((33.64 + 1.14 + 116.35 + 115.39 + 0.92 + 64.04 + 71.16 + 118.42))^2}{8}$$

$$= 33939.243$$

$$= \frac{((12.81 + 1.20 + 20.26 + 74.96 + 121.09 + 94.36 + 120.72 + 0.84))^2}{8}$$

$$= 24890.152$$

$$SB = 33939.243 + 24890.152 - 58479.331 = \mathbf{350.064}$$

- **Profundidad**

$$\sum_{K=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n (AKi)\right]^2$$

$$= \frac{((33.64 + 12.81 + 74.96 + 94.36 + 0.92 + 71.16 + 118.42 + 0.84))^2}{8}$$

$$= 20717.998$$

$$= \frac{((1.20 + 1.14 + 116.35 + 20.26 + 121.09 + 115.09 + 64.04 + 120.72))^2}{8}$$

$$= 39225.671$$

$$SC = 20717.998 + 39225.671 - 58479.331 = \mathbf{1464.338}$$

- Tipo de herramienta de corte.

$$\sum_{K=1}^L \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \left[\sum_{i=1}^n (AKi)\right]^2$$

$$= \frac{((33.64 + 12.81 + 1.20 + 1.14 + 20.26 + 0.92 + 64.04 + 0.84))^2}{8}$$

$$= 2273.1777$$

$$= \frac{((116.35 + 74.96 + 121.09 + 94.36 + 115.39 + 120.72 + 71.16 + 118.42))^2}{8}$$

$$= 86620.932$$

$$SC = 2273.1777 + 86620.932 - 58479.331 = \mathbf{30414.778}$$

#### 4.8.2.4 Varianza del factor

- Velocidad de corte.

$$VA = \frac{SA}{DF} = \frac{682.777}{1} = \mathbf{682.777}$$

- Avance.

$$VB = \frac{SB}{DF} = \frac{350.064}{1} = \mathbf{350.064}$$

- Profundidad.

$$VC = \frac{SC}{DF} = \frac{1464.338}{1} = \mathbf{1464.338}$$

- Tipo de herramienta de corte.

$$VC = \frac{SC}{DF} = \frac{30414.778}{1} = \mathbf{30414.778}$$

#### 4.8.2.5 Error

$$e = ST - (SA + SB + SC) \quad \text{Ec. 44}$$

$$e = 37029.79 - (682.777 + 350.064 + 1464.338 + 30414.778)$$

$$e = \mathbf{4117.833}$$

#### 4.8.2.6 Error de la varianza

$$Ve = \frac{Se}{DFe} = \frac{4117.833}{11} = \mathbf{374.348}$$

#### 4.8.2.7 Prueba de F

- Velocidad de corte.

$$VFA = \frac{VA}{Ve} = \frac{682.777}{374.348} = \mathbf{1.824}$$

- Avance.

$$VFB = \frac{VA}{Ve} = \frac{350.064}{374.348} = \mathbf{0.935}$$

- Profundidad.

$$VFC = \frac{VA}{Ve} = \frac{1464.338}{374.348} = \mathbf{3.912}$$

- Tipo de herramienta de corte.

$$VFC = \frac{VA}{Ve} = \frac{30414.778}{374.348} = \mathbf{81.247}$$

#### 4.8.2.8 Porcentaje de influencia

- Velocidad de corte.

$$\%P = S \cdot \frac{1}{ST} \cdot 100 = 682.777 \cdot \frac{1}{37029.79} \cdot 100 = \mathbf{1.844 \%}$$

- Avance.

$$\%P = S \cdot \frac{1}{ST} \cdot 100 = 350.064 \cdot \frac{1}{37029.79} \cdot 100 = \mathbf{0.945 \%}$$

- Profundidad.

$$\%P = S \cdot \frac{1}{ST} \cdot 100 = 1464.338 \cdot \frac{1}{37029.79} \cdot 100 = \mathbf{3.954 \%}$$

- Tipo de herramienta de corte.

$$\%P = S \cdot \frac{1}{ST} \cdot 100 = 30414.778 \cdot \frac{1}{37029.79} \cdot 100 = \mathbf{82.136 \%}$$

En la tabla 39 se presenta el resumen del análisis ANOVA.

Tabla 39. Resumen análisis ANOVA  $V_b$ .

<b>FUENTE</b>	<b>DF</b>	<b>S</b>	<b>V</b>	<b>Valor F</b>	<b>%P</b>
Velocidad de corte ( $V_c$ )	1	682.777	682.777	1.824	1.844
Avance ( $f$ )	1	350.064	350.064	0.935	0.945
Profundidad de corte ( $A_p$ )	1	1464.338	1464.338	3.912	3.954
Tipo de herramienta de corte	1	30414.778	30414.778	81.247	82.136
Error	11	4117.833	374.348		
ST Total	15				

Fuente: Autor

Una vez efectuada toda la metodología de ANOVA, se han llegado a obtener la razón de varianza o prueba de Fisher, se obtiene como resultado del análisis que el factor que más ha influido sobre la rugosidad superficial después del procesos de cilindrado es el tipo de herramienta de corte con un valor de  $F$  de 81.247 y un porcentaje de influencia del 82.136 %, en cambio la velocidad, avance y profundidad de corte no influyen o influyen de una manera despreciable sobre la rugosidad superficial con una influencia del 1.84, 0.945 y 3.954 %, respectivamente.



Se determinan los efectos principales para el desgaste de la herramienta de corte como se puede observar en la figura 44, en la misma se observa claramente que el tipo de herramienta de corte es el parámetro que influye o tiene un efecto principal. Adicionalmente hay que considerar las otras variables, la velocidad, el avance y la profundidad de corte, se mantienen prácticamente constantes. Entonces se puede afirmar que no tienen efectos principales significativos.

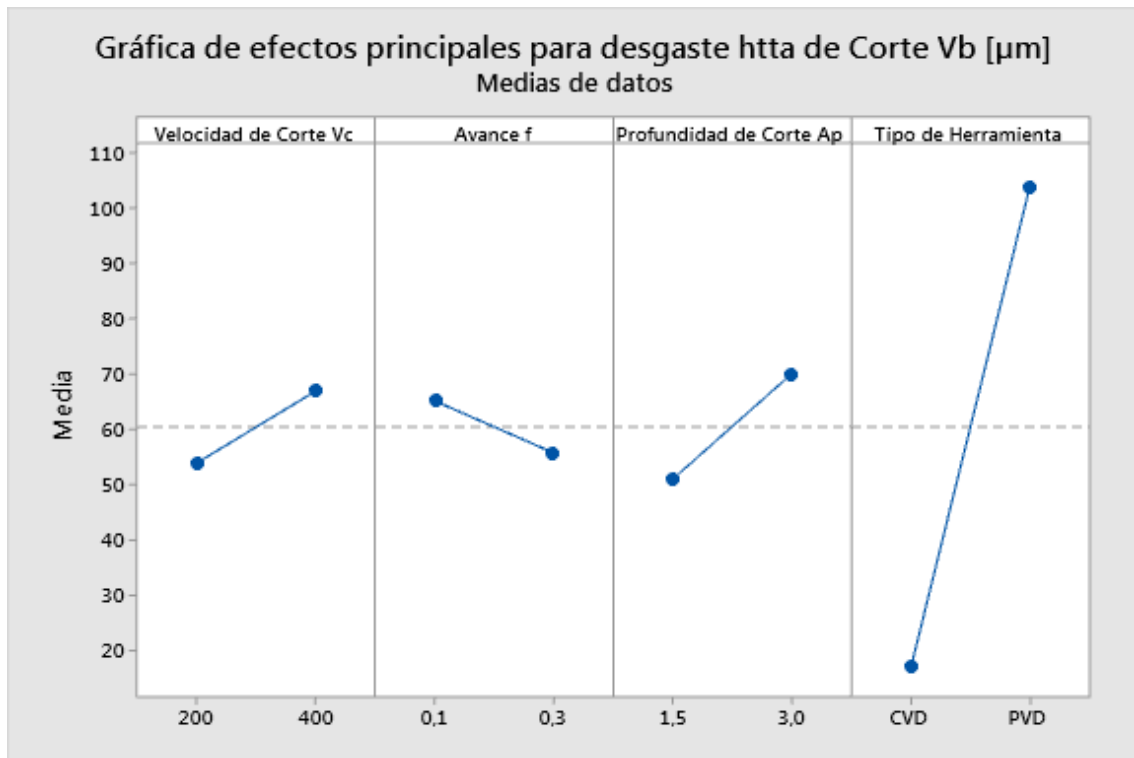


Figura 44. Efectos principales para desgaste de la herramienta de corte.

Fuente: Autor

En la figura 45 se muestra las interacciones de los diferentes parámetros de corte para cada uno de sus niveles, es decir, para la velocidad, avance y profundidad de corte, las líneas que las representan están situadas en el mismo lugar, entonces se considera que están prácticamente en la misma posición.

Analizando estas iteraciones, se ha determinado que éstas no tienen un valor significativo sobre la variable de respuesta. Sin embargo, lo contrario se presenta para el tipo de herramienta de corte, donde se tiene una diferencia significativa. Es decir que, la variable de tipo de herramienta de corte va a influir significativamente sobre la variable de respuesta.

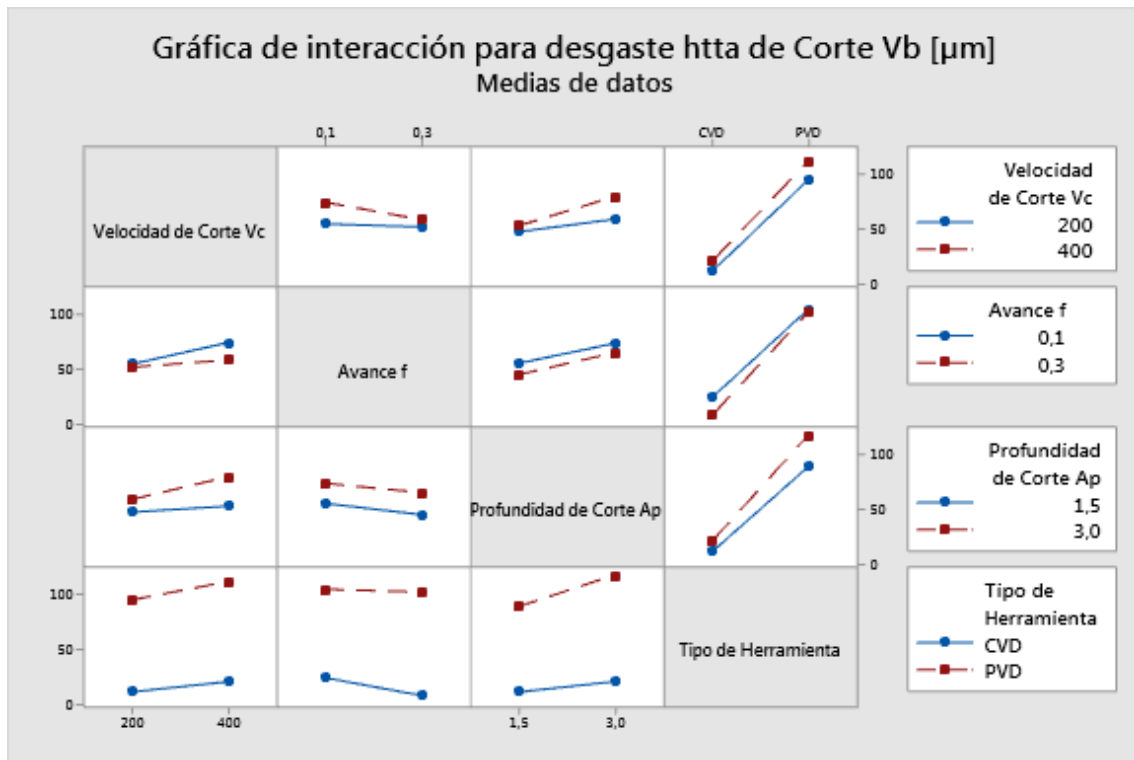


Figura 45. Interacción para desgaste de la herramienta de corte.

Fuente: Autor

#### 4.9 Verificación de hipótesis

Para la verificación de las hipótesis, se realizará la prueba con los valores de Fisher ( $F$ ), resultados que fueron obtenidos anteriormente en el análisis ANOVA. De esta manera se puede analizar si, se acepta o rechaza cada una de las hipótesis. Por este motivo, es necesario el uso de la tabla 40 que muestra la distribución de Fisher para un 95 % de confianza, con lo que se puede comparar los valores de  $F$  calculados con los valores tabulados.

Para el análisis se tiene las siguientes hipótesis:

- Para rugosidad superficial.

Hipótesis nula ( $H_0$ ). Parámetro de corte no influye sobre la rugosidad superficial.

Hipótesis alternativa. ( $H_i$ ). Parámetro de corte influye sobre la rugosidad superficial.

- Para el desgaste de la herramienta de corte.

Hipótesis nula ( $H_0$ ). Parámetro de corte no influye sobre el desgaste de la herramienta de corte.

Hipótesis alternativa ( $H_i$ ). Parámetro de corte influye el desgaste de la herramienta de corte.

Tabla 40. Distribución de Fisher para un 95 % de confianza.

		GRADO DE LIBERTAD DEL NUMERADOR										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
GRADO DE LIBERTAD DEL DENOMINADOR	g.d.i	1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9
	2	18,51	19,00	19,16	19,24	19,29	19,33	19,35	19,37	19,3	19,38	
	3	10,12	9,55	9,27	9,11	9,01	8,94	8,88	8,84	8,81	8,78	
	4	7,70	6,94	6,59	6,38	6,25	6,16	6,09	6,04	5,99	5,96	
	5	6,60	5,78	5,40	5,19	5,05	4,95	4,87	4,81	4,77	4,73	
	6	5,98	5,14	4,75	4,53	4,38	4,28	4,20	4,14	4,09	4,06	
	7	5,59	4,73	4,34	4,12	3,97	3,86	3,78	3,72	3,67	3,63	
	8	5,31	4,45	4,06	3,83	3,68	3,58	3,50	3,43	3,38	3,34	
	9	5,11	4,25	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,17	3,13	
	10	4,96	4,10	3,70	3,47	3,32	3,21	3,13	3,07	3,02	2,97	
	11	4,84	3,98	3,58	3,35	3,20	3,09	3,01	2,94	2,89	2,85	
	12	4,74	3,88	3,49	3,25	3,10	2,99	2,91	2,84	2,79	2,75	
	13	4,66	3,80	3,41	3,17	3,02	2,91	2,83	2,76	2,71	2,67	
	14	4,60	3,73	3,34	3,11	2,95	2,84	2,76	2,69	2,64	2,60	
	15	4,54	3,68	3,28	3,05	2,90	2,79	2,70	2,64	2,58	2,54	
	16	4,49	3,63	3,23	3,00	2,85	2,74	2,65	2,59	2,53	2,49	
	17	4,45	3,59	3,19	2,96	2,81	2,69	2,61	2,54	2,49	2,45	
	18	4,41	3,55	3,16	2,92	2,77	2,66	2,57	2,51	2,45	2,41	
	19	4,38	3,52	3,12	2,89	2,74	2,62	2,54	2,47	2,42	2,37	
	20	4,35	3,49	3,09	2,86	2,71	2,59	2,51	2,44	2,39	2,34	
	21	4,32	3,46	3,07	2,84	2,68	2,57	2,48	2,42	2,36	2,32	
	22	4,30	3,44	3,04	2,81	2,66	2,54	2,46	2,39	2,34	2,29	
	23	4,27	3,42	3,02	2,79	2,64	2,52	2,44	2,37	2,32	2,27	
	24	4,26	3,40	3,00	2,77	2,62	2,50	2,42	2,35	2,30	2,25	
	25	4,24	3,38	2,99	2,75	2,60	2,49	2,40	2,33	2,28	2,23	

Fuente: Autor

Del análisis efectuado se obtiene los grados de libertad de numerador (tratamientos) que son igual a 1, y los grados de libertad del denominador (error) igual a 11, en la tabla 40 se obtiene un valor de 4.84 con lo que tenemos  $VF (0.05: 1;11) = 4.84$ , como se muestra en la figura 46, valor que servirá para ejecutar las comparaciones del valor de F para aceptar o rechazar las hipótesis.

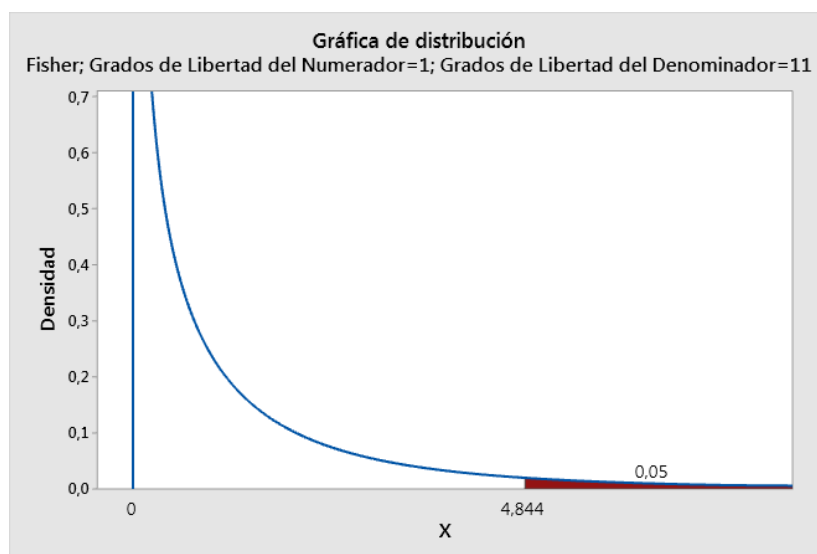


Figura 46. Distribución de probabilidad de Fisher para  $VF (0.05: 1;11)$ .

Fuente: Autor

#### 4.9.1 Verificación de la hipótesis de rugosidad superficial

En la figura 47 se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados en el cual se muestran los valores absolutos de los efectos que se tiene para la rugosidad superficial, con la referencia de 2,20 se tiene como efecto principal significativo al avance con un efecto estandarizado de 19.85, seguido del tipo de herramienta de corte con 2.24, caso contrario se tiene a la profundidad de corte así como al tipo de herramienta de corte con 0.86 y 0.18 respectivamente, consecuentemente éstos parámetros no serán efectos principales significativos; reflejando el análisis de la verificación de la hipótesis en el cual es aceptado la hipótesis alternativa para el avance y el tipo de herramienta de corte.

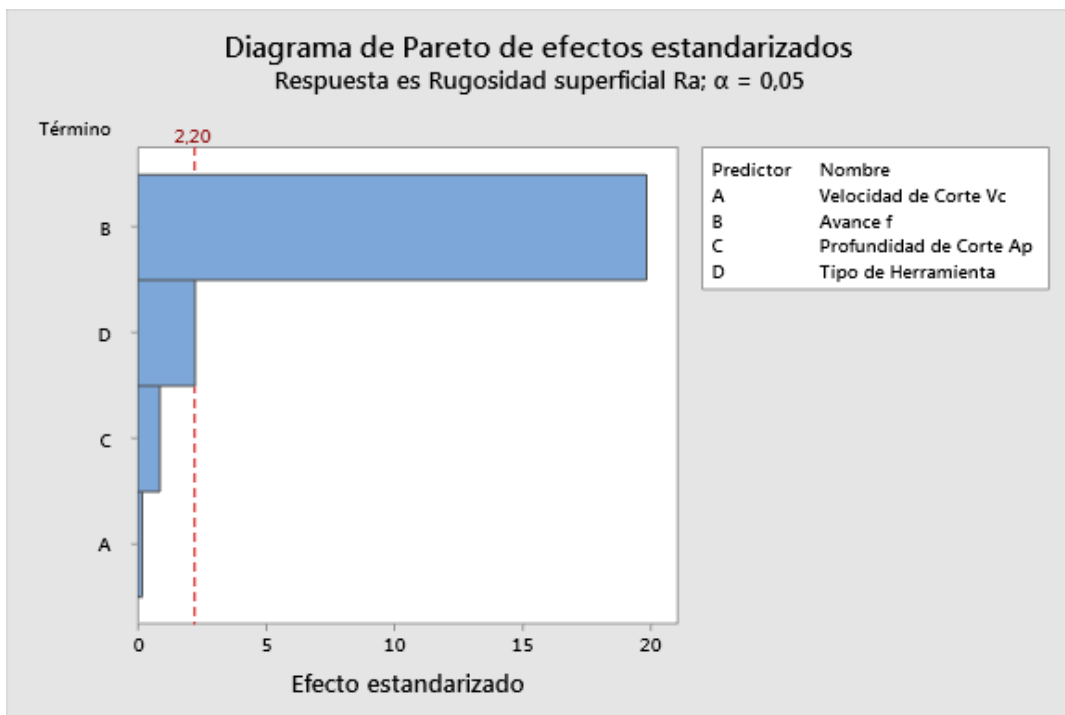


Figura 47. Pareto de efectos estandarizados para rugosidad superficial.

Fuente: Autor

Para el factor de velocidad de corte se tiene un valor de  $F$  igual a 0.033, mientras que  $VF(0.05; 1; 11) = 4.84$ ; el valor de  $F$  es inferior al valor de  $VF$ ; consecuentemente se indica que es un factor que no influye sobre la rugosidad superficial y es aceptada la hipótesis nula. Para el factor de avance se tiene un valor de  $F$  igual a 394.08, mientras que  $VF(0.05; 2; 12) = 4.84$ ; el valor de  $F$  es superior al valor de  $VF$ ; consecuentemente se indica que es un factor que influye significativamente sobre la rugosidad superficial y es aceptada la hipótesis alternativa.

Para el factor de profundidad de corte se tiene un valor de  $F$  igual a 0.7449, mientras que  $VF(0.05; 2; 12) = 4.84$ ; el valor de  $F$  es inferior al valor de  $VF$ ; consecuentemente se indica  $p_i$ , que es un factor que no influye sobre la rugosidad superficial y es aceptada la hipótesis nula. Para el factor de tipo de herramienta de corte se tiene un valor de  $F$  igual a 5.02, mientras que  $VF(0.05; 2; 12) = 4.84$ ; el valor de  $F$  es superior al valor de  $VF$ ; consecuentemente se indica que es un factor que influye significativamente sobre la rugosidad superficial y es aceptada la hipótesis alternativa.

#### 4.9.2 Verificación de la hipótesis de desgaste de la herramienta de corte

En la figura 48 se muestra el diagrama de Pareto de efectos estandarizados en el cual se muestran los valores absolutos de los efectos que se tiene para el desgaste de la herramienta de corte, con la referencia de 2,20 se tiene como efecto principal significativo al tipo de herramienta de corte con un efecto estandarizado de 9.013.

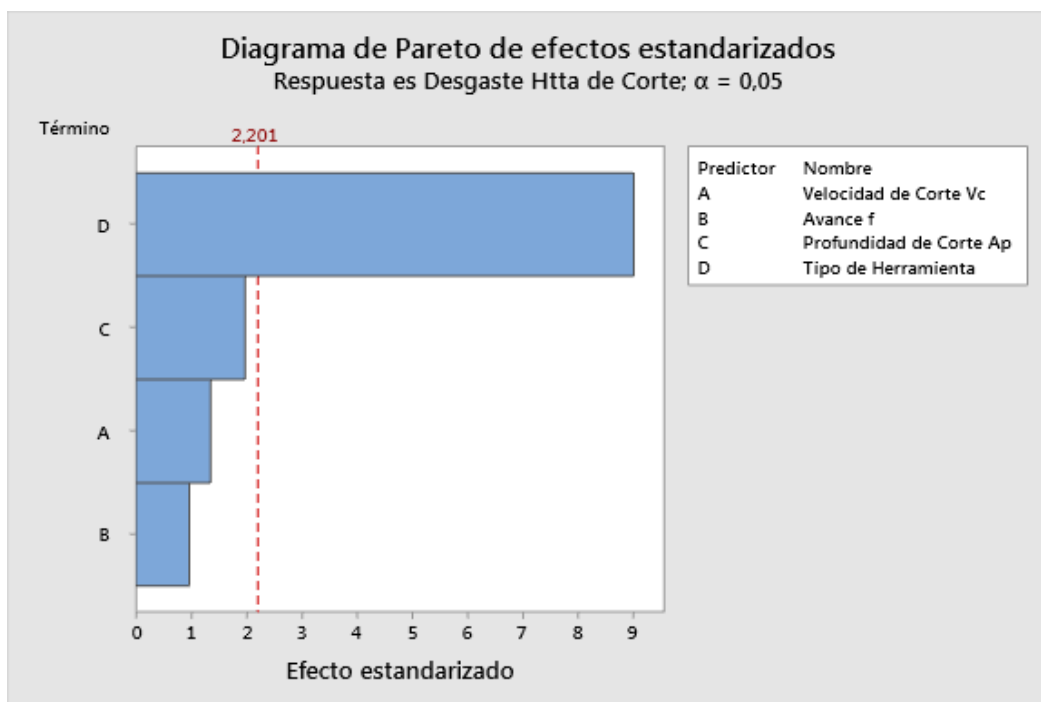


Figura 48. Pareto de efectos estandarizados para desgaste de herramienta de corte.

Fuente: Autor

Para el factor de velocidad de corte se tiene un valor de  $F$  igual a 1.824, mientras que  $VF(0.05; 1; 11) = 4.84$ ; el valor de  $F$  es inferior al valor de  $VF$ ; consecuentemente se indica que es un factor que no influye sobre el desgaste de la herramienta de corte y es aceptada la hipótesis nula.

Para el factor de avance se tiene un valor de  $F$  igual a 0.935, mientras que  $VF(0.05; 2; 12) = 4.84$ ; el valor de  $F$  es inferior al valor de  $VF$ ; consecuentemente se indica que es un factor que no influye sobre el desgaste de la herramienta de corte y es aceptada la hipótesis nula.

Para el factor de profundidad de corte se tiene un valor de  $F$  igual a 3.912, mientras que  $VF(0.05; 2; 12) = 4.84$ ; el valor de  $F$  es inferior al valor de  $VF$ ; consecuentemente se indica que es un factor que no influye sobre el desgaste de la herramienta de corte y es aceptada la hipótesis nula.

Para el factor de tipo de herramienta de corte se tiene un valor de  $F$  igual a 81.247, mientras que  $VF(0.05; 2; 12) = 4.84$ ; el valor de  $F$  es superior al valor de  $VF$ ; consecuentemente se indica que es un factor que influye sobre el desgaste de la herramienta de corte y es aceptada la hipótesis alternativa. Caso contrario, se tiene a la profundidad de corte, la velocidad de corte y avance con 1.97, 1.35 y 0.96 respectivamente, consecuentemente éstos parámetros no serán efectos principales significativos; reflejando el análisis de la verificación de la hipótesis en el cual es aceptado la hipótesis alternativa para el tipo de herramienta de corte.

#### 4.10 Obtención de parámetros óptimos

##### 4.10.1 Optimización de los parámetros de corte respecto a la rugosidad superficial

Con la ayuda de un software especializado se han obtenido los parámetros de corte óptimos como se observa en la figura 49, en la cual se ha puesto como objetivo minimizar la respuesta, ya que para el caso de estudio se desea minimizar la rugosidad superficial, en la figura 50 se muestra los parámetros de optimización para dicho efecto.

Por tanto, se tiene una velocidad de corte de 200 [m/min], un avance de 0.1 [mm/rev], una profundidad de corte de 1.5 [mm], y un tipo de herramienta CVD, resultados que son validados con la gráfica expuesta de efectos principales para la rugosidad superficial.

#### Solución

Solución de Corte	Velocidad	Profundidad	Tipo de	Rugosidad	Deseabilidad
	Vc	f de Corte	Ap Herramienta	superficial Ra Ajuste	
1	200	0,1	1,5 CVD	0,586	1

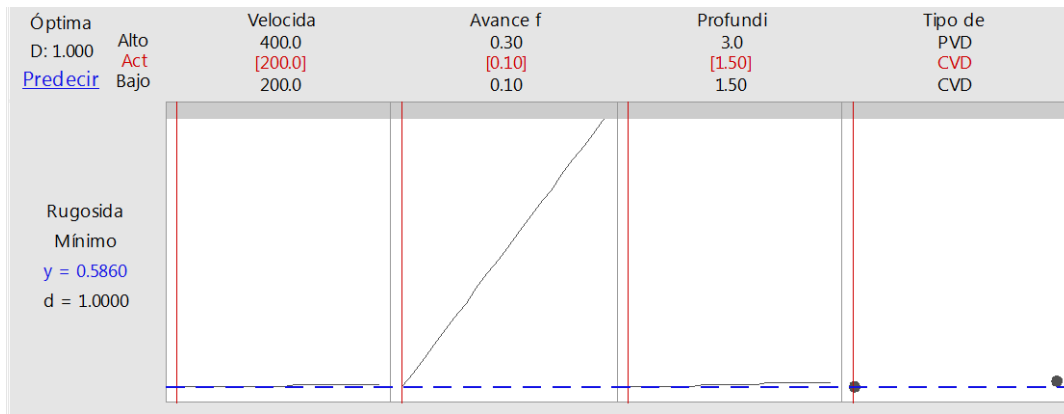


Figura 49. Optimización de los parámetros de corte para rugosidad superficial.

Fuente: Autor

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Rugosidad superficial Ra	Minimizar	0,5860	0,5860	11,0155	1	1

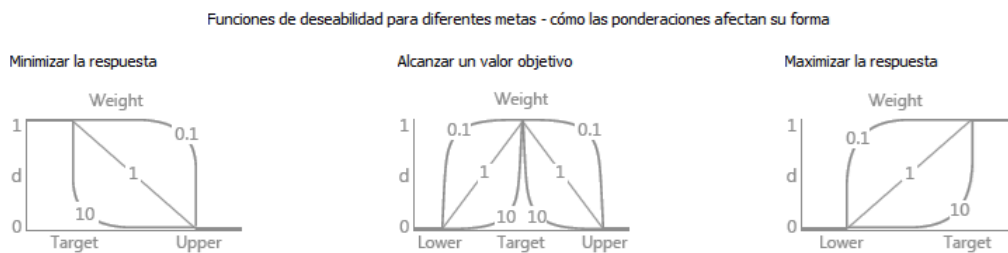


Figura 50. Parámetros de optimización para minimizar la rugosidad superficial.

Fuente: Autor

#### 4.10.2 Optimización de parámetros de corte respecto al desgaste de la herramienta

Con la ayuda de un software especializado se han obtenido los parámetros de corte óptimos como se observa en la figura 51.

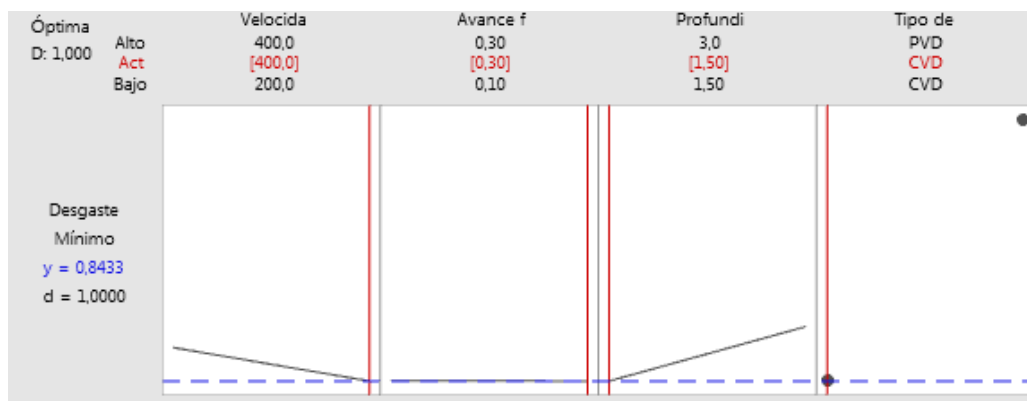


Figura 51. Optimización de parámetros de corte para el desgaste de herramienta.

Fuente: Autor

## Solución

	Velocidad	Profundidad	Tipo de	Desgaste	
Solución de Corte	Vc	Avance f	de Corte Ap	Htta de	Deseabilidad
			Herramienta	Corte	compuesta
				Ajuste	
1	400	0,3	1,5 CVD	0,843333	1,00000

Se ha propuesto como objetivo minimizar la respuesta, ya que para el caso de estudio se desea minimizar el desgaste de la herramienta de corte. En la figura 52 se muestra los parámetros de optimización para dicho efecto; por tanto, se tiene una velocidad de corte de 400 [m/min], un avance de 0.3 [mm/rev], una profundidad de corte de 1.5 [mm], y un tipo de herramienta CVD, resultados que son validados con la gráfica expuesta de efectos principales para la rugosidad superficial.

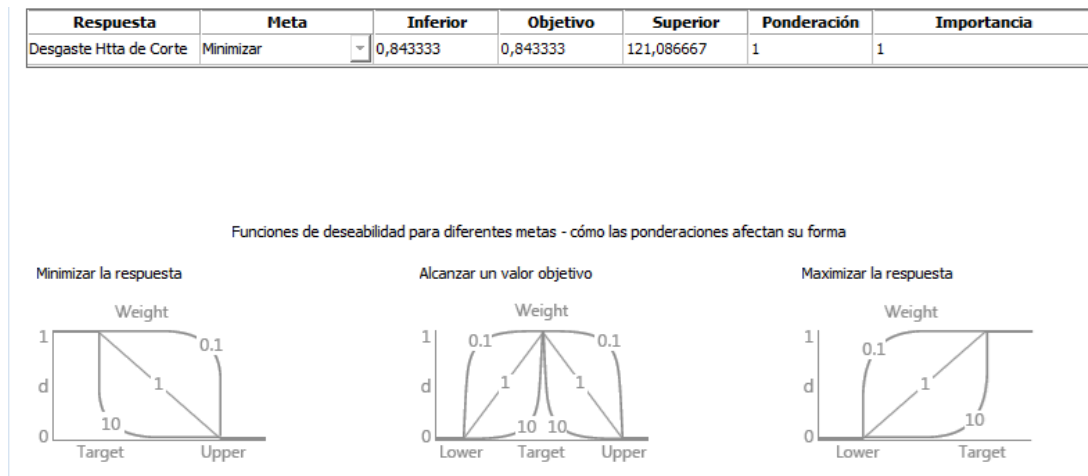


Figura 52. Parámetros de optimización para minimizar desgaste de herramienta.

Fuente: Autor

### 4.10.3 Optimización de los parámetros de corte respecto a la rugosidad superficial y al desgaste de la herramienta de corte

Debido a que en los procesos de mecanizado es requerido minimizar la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte, se requiere del manejo de un software especializado para obtener los parámetros de corte óptimos. En la figura 53 se presenta una alternativa, con la que se ha propuesto como el objetivo, minimizar la respuesta tanto para la rugosidad superficial, así como para el desgaste de la herramienta de corte para cada uno de los parámetros de mecanizado.

En la figura 54 se muestra los parámetros de optimización para dicho efecto; por tanto, se tiene una velocidad de corte de 400 [m/min], un avance de 0.1 [mm/rev], una



profundidad de corte de 1.5 [mm] y un tipo de herramienta CVD, llegándose a obtener un desgaste de 0.9233 [ $\mu\text{m}$ ] y una rugosidad superficial de 0.7098 [ $\mu\text{m}$ ]. Analizando el desgaste de la herramienta de corte y rugosidad superficial, se ha determinado que el recubrimiento CVD es la mejor alternativa para alcanzar los parámetros de mecanizado óptimos.

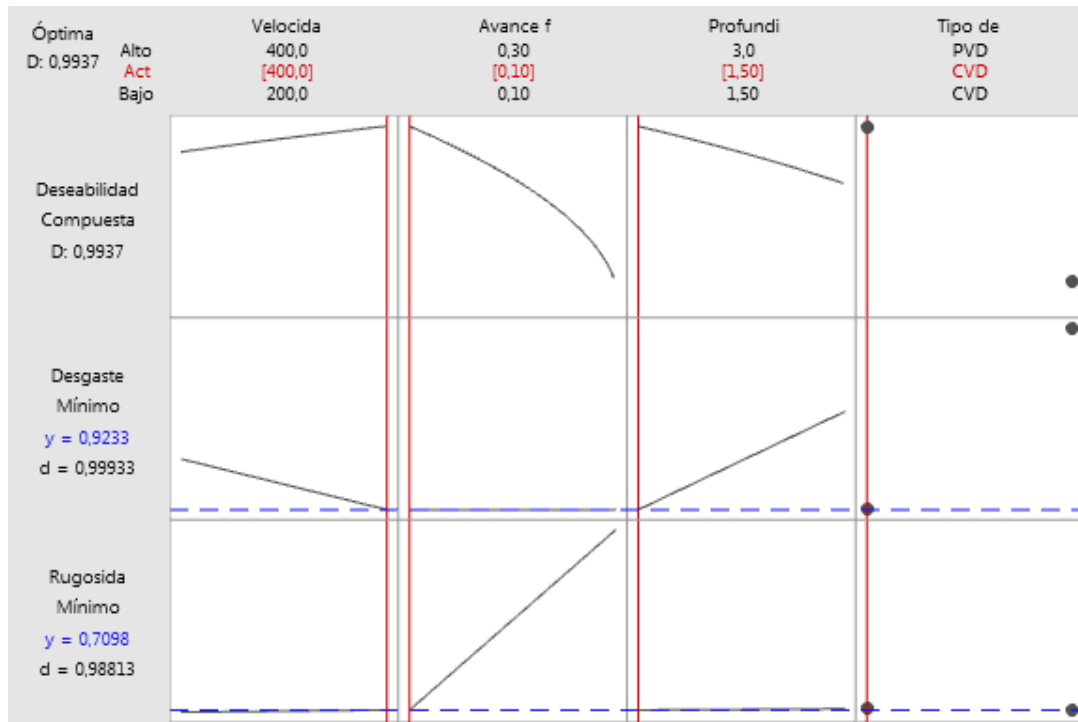


Figura 53. Optimización de parámetros de corte, rugosidad superficial - desgaste.

Fuente: Autor

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
Desgaste Htta de Corte	Minimizar	0,843333	0,843333	121,086667	1	1
Rugosidad superficial Ra	Minimizar	0,586	0,586	11,0155	1	1

Funciones de deseabilidad para diferentes metas - cómo las ponderaciones afectan su forma



Figura 54. Parámetros óptimos para minimizar rugosidad superficial y desgaste.

Fuente: Autor

## Solución

	Velocidad	Profundidad	Tipo de	Desgaste	Rugosidad
Solución de Corte	Vc	f de Corte	Ap Herramienta	Htta de Corte	superficial Ra
				Ajuste	Ajuste
1	400	0,1	1,5 CVD	0,923333	0,7098
	Deseabilidad				
Solución	compuesta				
1	0,993716				

## CAPITULO 5

En función al análisis efectuado sobre la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte en el proceso de torneado para una aleación de aluminio AA 7075-T6 (Prodax), se llega a obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones que son expuestas a continuación.

### 5.1 Conclusiones

- Luego de la revisión de investigaciones referentes al proceso de torneado para una aleación de aluminio AA7074-T6 (Prodax), se determinó que estos estudios utilizaron el análisis de varianza (ANOVA). Mediante este análisis se pudo establecer los modelos predictivos para la calidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte en el proceso de cilindrado para esta aleación. En función a los niveles y factores seleccionados para el estudio, se ha optado por desarrollar un diseño experimental factorial completo. Mediante este diseño, se pudo conocer las relaciones existentes entre todos los tratamientos motivo de estudio, para analizar el efecto de cada uno de los factores y sus interacciones sobre la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte. Para la propuesta, se tomó investigaciones acerca del uso de redes neuronales artificiales en un proceso de mecanizado, donde se pudo obtener una clase de rugosidad superficial N4.
- Una vez efectuados los diferentes experimentos y tomadas las medidas de rugosidad superficial, se obtuvo una clase de rugosidad entre N5 y N9. Para obtener un acabado N5 en el procesos de cilindrado de la aleación de aluminio AA7074-T6 se utilizó una velocidad de corte de 200 [m/min], un avance de 0.1 [mm/rev], una profundidad de corte de 1.5 [mm] y un tipo de herramienta CVD. Con respecto a la herramienta de corte, se obtuvo un desgaste de 0.8 a 121 [ $\mu\text{m}$ ], generando el menor desgaste a una velocidad de corte de 400 [m/min], un avance de 0.3 [mm/rev], una profundidad de corte de 1.5 [mm] y un tipo de herramienta CVD. La herramienta que generó la menor rugosidad y el menor desgaste fue la DCGX 11T304, con un recubrimiento CVD.

- La razón de varianza o prueba de Fisher fue obtenida mediante el análisis de varianza ANOVA para la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte. Como resultado del análisis se determinó que el factor que influye sobre la rugosidad superficial fue el avance con un porcentaje de influencia del 95.9 % sobre la respuesta, obteniendo la menor rugosidad con 0.1 [mm/rev]. Para el desgaste de la herramienta de corte, se aplicó un análisis similar, determinando que el factor que influyó sobre el desgaste es el tipo de herramienta de corte, siendo la CVD la que presentó un porcentaje de influencia del 82.1 %.
- Al efectuar la optimización de los parámetros de corte, se planteó como objetivo minimizar la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte. Entonces, luego de efectuar la experimentación y el análisis de resultados obtenidos, se puede definir como parámetros óptimos una velocidad de corte de 400 [m/min] con un avance de 0.1 [mm/rev] y una profundidad de corte de 1.5 [mm]. Estos factores, complementados con el tipo de herramienta CVD, llegaron a obtener una clase de rugosidad superficial N5 y un desgaste de la herramienta de corte ( $V_b$ ) de 0.9 [ $\mu\text{m}$ ].

## 5.2 Recomendaciones

- La aleación de aluminio AA 7075-T6 está empezando a popularizarse en diferentes aplicaciones debido a sus características y propiedades mecánicas, entre las que se tiene resistencia a la fatiga, elevada resistencia a la temperatura y corrosión. Sin embargo, no se tiene la suficiente información técnica específica para éste material, por lo cual es importante seguir con estudios semejantes respecto al material motivo de estudio. Esta aleación ya es utilizada en diferentes aplicaciones industriales, pero este material tiene un costo elevado en comparación a aceros de similares características. Para futuras investigaciones, se recomienda efectuar un análisis similar con otro material más económico con propiedades equivalentes, para poder comprar los resultados obtenidos.
- Previo a efectuar la experimentación, se debe verificar el correcto funcionamiento de los equipos y máquinas. Es recomendable medir el voltaje suministrado a la máquina para asegurar que se dispone de la potencia adecuada, caso contrario se vería afectado la velocidad de giro real del husillo con respecto a la nominal. Adicionalmente, se debe verificar el alineamiento y nivelación de todos los componentes de la máquina para que no se presenten irregularidades en el mecanizado.
- El uso del microscopio SEM requiere de un analista capacitado en el manejo del equipo para efectuar los ensayos. A nivel nacional, no existe una fácil disponibilidad del equipo, así como de la prestación de sus servicios. Entonces, se recomienda buscar alternativas para medir el desgaste en las herramientas de corte. Se podría usar un microscopio óptico para medir el área del inserto, antes y después del mecanizado, para obtener un valor aproximado del desgaste de la herramienta de corte.
- Los resultados obtenidos de rugosidad fueron interpretados analíticamente. Los perfiles de rugosidad obtenidos en cada ensayo pueden ser considerados para desarrollar investigaciones basadas específicamente en el acabado superficial.
- Al mecanizar bajo los diferentes niveles y factores propuestos, se utilizó el sistema de refrigeración propio de la máquina que emplea aceite soluble como fluido de trabajo. El alcance de futuros estudios debería estar centrado en reducir la cantidad de refrigerante utilizado durante el mecanizado. Se sugiere realizar investigaciones de mecanizado en seco y con dispositivos de mínima cantidad de lubricante (MQL, por sus siglas en inglés).

## CAPÍTULO 6

### 6.1 Tema de propuesta

Uso de redes neuronales artificiales para la predicción de rugosidad superficial y desgaste de la herramienta de corte.

### 6.2 Datos informativos

Concluidos los ensayos realizados en el Laboratorio de Metrología de la Universidad Politécnica Salesiana y el laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato, se obtuvieron los valores de rugosidad superficial y de desgaste de la herramienta de corte teniendo en cuenta la velocidad de corte  $V_c$ , el avance  $f$ , la profundidad de corte  $A_p$ , y el tipo de herramienta CVD o PVD.

### 6.3 Antecedentes para la propuesta

Conocido los valores de rugosidad superficial y de desgaste de la herramienta de corte que se describen en el capítulo IV. Se desea conocer un método por el cual se pueda predecir y tener un criterio de base en caso de emplear otros valores para los parámetros mencionados en el punto 6.1, que por consiguiente darían como resultado nuevos valores de desgaste de la herramienta de corte y de rugosidad superficial. Un método que aproxime a la práctica los resultados teóricos sería idóneo a la hora de elaborar un plan de trabajo lo cual ahorraría tiempo y dinero en una industria. Los métodos de aproximación pueden tener cierto rango de error a la hora de ser aplicados, pero su uso puede dar una idea del comportamiento de la rugosidad superficial y del desgaste de la herramienta de corte.

Tras analizar diferentes opciones, se empleará la computación para este proceso y concretamente un sistema de redes neuronales artificiales (RNA) utilizando un software especializado. Éste es un sistema que se desarrolla mediante el aprendizaje de los valores de entrada ( $V_c$ ,  $f$ ,  $A_p$ , CVD o PVD) y teniendo una salida como objetivo o target, en este

caso la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte, para obtener un valor de salida aproximado o igual al target. El software especializado utilizado es una herramienta poderosa que simplifica mucho el trabajo informático en busca de soluciones rápidas por medio de sus diferentes aplicaciones.

## **6.4 Justificación**

La computación de forma general ayuda mucho en la actualidad a resolver y prevenir diferentes aspectos de la vida cotidiana de las personas, un claro ejemplo de ello son los teléfonos inteligentes, que prácticamente unen diferentes aparatos electrónicos en un solo dispositivo, tales como reproductores de música, sistemas de geolocalización (GPS), cámara fotográfica, cámara de video y un minicomputador, por ejemplo. En este sentido, la computación a la ingeniería mecánica ha ayudado inmensamente, como por ejemplo el uso de software como Inventor o SolidWorks y otros para modelación de piezas mecánicas, que posteriormente pueden ser postprocesadas para hacer uso de su programación en un centro de mecanizado para su fabricación.

Varios factores como el tipo de material, herramientas de corte, parámetros de corte, etc., también pueden ser programados para obtener un mejor resultado. Es por ello, que estimar por medio de un sistema computarizado, el desgaste de la herramienta de corte, la rugosidad superficial u otros aspectos en un proceso de mecanizado, sirven para conocer teóricamente como sería el resultado, por tanto, ayudará no solo económicamente a una empresa sino también al operario para cometer menos errores en un proceso.

Es por ello, que la inteligencia artificial y concretamente las redes neuronales artificiales, dan una gran ayuda en este aspecto y es la propuesta que se desarrolla en este apartado para corroborar los resultados obtenidos prácticamente. Para ello, se usa un software especializado y sus dos herramientas que permiten usar redes neuronales, como lo son *nntool* y *nnstart*.

### **6.4.1 Inteligencia artificial**

La inteligencia artificial (IA) es la combinación de algoritmos planteados con el propósito de crear máquinas o sistemas que presenten las mismas capacidades del ser humano. Es una tecnología que aún resulta lejana y misteriosa, pero que desde hace unos años está presente en el diario vivir [46].

Existen diferentes tipos de sistemas de inteligencia artificial, de los que se destacan los siguientes. Sistemas que piensan como humanos, automatizan actividades como tomar decisiones, resolver problemas y aprendizaje. Ejemplo de estos sistemas son las redes neuronales artificiales.

Sistemas que actúan como humanos, se trata de computadoras que ejecutan tareas de forma idéntica como lo hacen las personas. El ejemplo común de esto son los robots.

Sistemas que piensan racionalmente: tratan de emular el pensamiento lógico racional de los humanos, es decir, se investiga cómo lograr que las máquinas puedan percibir, razonar y actuar. En este sistema aparecen los sistemas expertos. Sistemas que actúan racionalmente son aquellos que tratan de imitar de manera racional el comportamiento humano, como los agentes inteligentes [46].

#### **6.4.2 Redes neuronales artificiales**

Las redes neuronales artificiales (RNA) se basan en la simulación de la forma en como el ser humano procesa información y toma decisiones, los sistemas RNA se han usado para simular sistemas complejos, consiguiendo una referencia entre parámetros de entrada como de salida [47]. Adicionalmente, las RNA son un modelo matemático inspirado en el comportamiento biológico de las neuronas y en cómo se organizan formando la estructura del cerebro. El cerebro puede considerarse un sistema altamente complejo, donde se estima que existen aproximadamente 100 mil millones ( $10^{11}$ ) neuronas en la corteza cerebral (humana) y que forman un entramado de más de 500 billones de conexiones neuronales (una neurona puede llegar a tener 100 mil conexiones, aunque la media se sitúa entre 5000 y 10000 conexiones) [48]. Las características de las redes neuronales artificiales destacan por:

- Aprendizaje por la experiencia: modifican su comportamiento como respuesta a su entorno. Dado un número de entradas, la red neuronal se ajustará a para producir la respuesta adecuada de salida. En este proceso, se desarrollan diferentes algoritmos de entrenamiento, con sus ventajas e inconveniente.
- Generaliza los ejemplos anteriores a los ejemplos nuevos: cuando la red está entrenada, la respuesta poder ser insensible a pequeñas variaciones en las entradas, lo que ayuda a la identificación de patrones.



- Abstracción de la esencia de las entradas: las RNA son capaces de abstraer información de un conjunto de entradas. Como por ejemplo una red puede ser entrenada en una secuencia de patrones distorsionados de una letra, si la red fue entrenada adecuadamente, reproducirá el resultado idóneo ante una entrada distorsionada, lo que se puede describir como un aprendizaje ante algo nuevo [49].

## **6.5 Objetivos**

### **6.5.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema para predecir los valores de rugosidad superficial y desgaste de la herramienta de corte previo su mecanizado mediante redes neuronales con el fin de obtener una estimación cercana a lo práctico.

### **6.5.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar diferentes experimentos con las redes neuronales para obtener los valores teóricos más adecuados, aprendiendo el manejo de las diferentes herramientas provistas por el programa.
- Determinar el error que existe entre los valores teóricos obtenidos por redes neuronales y los valores prácticos del mecanizado en el material, utilizado parámetros como la velocidad de corte, avance, profundidad y tipo de herramienta; para su respectivo análisis.

## **6.6 Análisis de factibilidad**

Para este tipo de análisis y al ser del tipo informático la propuesta presentada es factible teniendo en cuenta que los diferentes parámetros de entrada y salida pueden ser determinados de forma teórica y posteriormente colocados en un software especializado para desarrollar el aprendizaje adecuado y obtener la mejor aproximación de rugosidad superficial y desgaste de la herramienta de corte mediante el sistema de redes neuronales.

Adicionalmente, se podría obtener una licencia de Matlab Academic para poder ejecutar las RNA en caso de no poseer el software, ya que su costo es más económico, o a su vez usar los laboratorios de informática de la Universidad Politécnica Salesiana para desarrollar el sistema.

### **6.6.1 Análisis tecnológico**

En el apartado tecnológico a lo que concierne con la propuesta, lo que se requiere es una computadora ya sea de escritorio o portátil con la suficiente memoria RAM para ejecutar un software informático sin que éste se colapse. La computadora puede ser de uso personal o preferentemente la facilidad de uso de los laboratorios de informática de la Universidad Politécnica Salesiana.

### **6.6.2 Fundamentación**

Como se mencionó en el punto 6.2 y en los capítulos previos, tras la experimentación se obtuvo diferentes valores de rugosidad superficial y de desgaste de la herramienta de corte para cada uno de los experimentos. Lo que se busca es que en caso de requerir nuevos datos de rugosidad superficial y de desgaste de la herramienta de corte se pueda obtener dichos valores antes de ser mecanizados mediante un software y un sistema de redes neuronales. De esta forma se puede estimar si los resultados se ajustarían adecuadamente a un producto final que pudiese ser elaborado en un centro de mecanizado. Así mismo con los actuales valores prácticos se puede corroborar que tanto la simulación y la práctica dan valores cercanos o similares.

## **6.7 Metodología**

Lo que se empleará para desarrollar la propuesta son las herramientas *nntool* y *nnstart* de un software especializado. Las redes neuronales primero realizan el entrenamiento de los parámetros de entrada y salida, posteriormente en su desarrollo interno genera los algoritmos correspondientes para determinar el target que se deseaba de salida. Es probable que al primer entrenamiento no se obtenga el valor deseado, por lo que se debe entrenar nuevamente a la neurona hasta que el valor se ajuste adecuadamente, es decir, que la neurona haya aprendido.

Se hace uso del método del gradiente conocido como Back-Propagation que es un método clásico de optimización. Por medio de éste, se calcula el gradiente mediante un proceso de propagación del error de atrás hacia adelante, es decir, el error se propaga desde las neuronas de salida hasta las neuronas de entrada. Levenberg-Marquardt es el algoritmo de entrenamiento que usa la red tipo Back propagation [48] y, a su vez, evita el sobre entrenamiento de la red neuronal. Es el mejor método de entrenamiento de redes

neuronales, sin embargo, requiere más memoria que otros métodos. Se conoce como sobre entrenamiento a la razón que la neurona aprenda de memoria los datos de entrenamiento y soluciones. De esta manera, es incapaz de razonar ante el resto de datos de entrada, brindando salidas incorrectas.

### 6.7.1 Función *nntool* para los datos de rugosidad

Con esta función, se debe realizar el entrenamiento y la simulación manualmente, *nntool* es la herramienta para poder desarrollar las redes neuronales principales, actualmente ya no es muy común su uso, pero sigue siendo útil. Se debe importar, crear y/o exportar datos o redes neuronales para su análisis. En la figura 55 se puede apreciar la ventana de la función *nntool* [50].

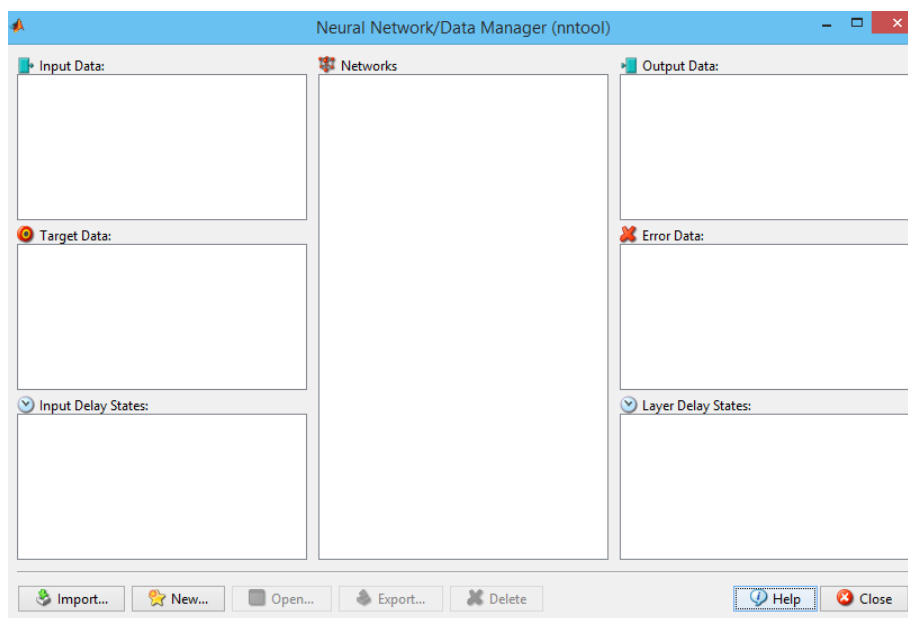


Figura 55. Ventana de inicio de la función *nntool*.

Fuente: Autor

Los datos de entrada, así como los de salida o target, deben ser ingresados en formato de tabla (filas y columnas), como se ve en la figura 56. Cabe recalcar, que los datos de salida serán los valores que tras el entrenamiento y aprendizaje de la RNA se obtendrán y deberán ser similares. Tras seleccionar los datos de entrada y salida se crea la red neuronal y se establece automáticamente el número de entradas que tendrá la red dependiendo de los datos de entrada que se posea y las capas ocultas se pueden variar, como se aprecia en la figura 57.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	200	200	200	200	200	200	200	200	400	400	400
2	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.1000	0.1000	0.1000
3	1.5000	1.5000	3	3	1.5000	1.5000	3	3	1.5000	1.5000	3
4	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1

Figura 56. Datos de entrada en Matlab, columna y fila, para usar en red neuronal.

Fuente: Autor

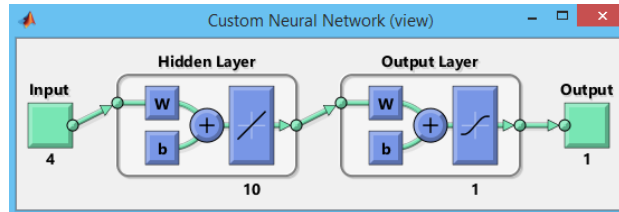


Figura 57. Vista de red neuronal entrenada, entradas, capas ocultas y salidas.

Fuente: Autor

A continuación, se procede a entrenar a la red por primera vez, y se obtiene una primera aproximación de en cuanto tiempo la red fue entrenada, cuanto fue el periodo de aprendizaje, las iteraciones y si la red aprendió o no, como se puede apreciar en la figura 58.

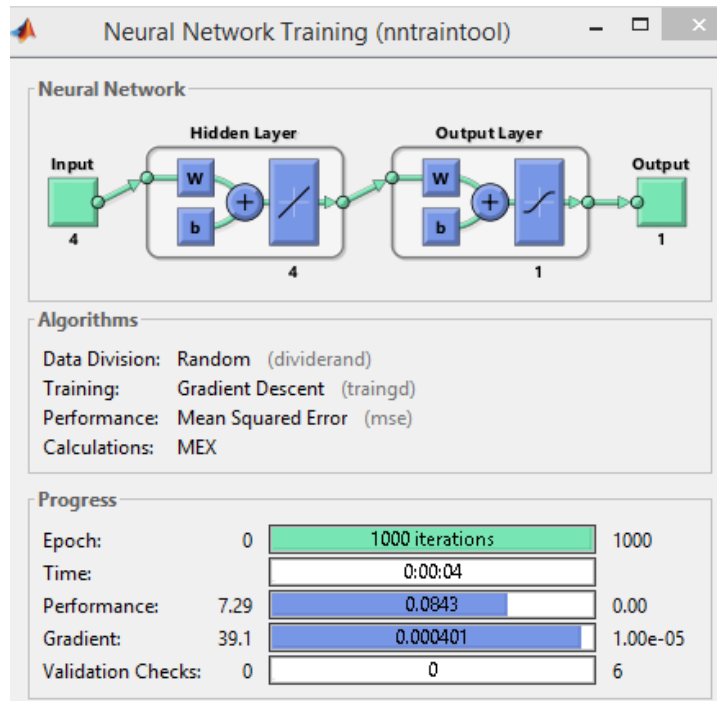


Figura 58. Proceso de entrenamiento de red neuronal para obtener rugosidad.

Fuente: Autor

En caso de que la red haya aprendido, se procede a simular la red, como se ve en la figura 59 en este proceso se obtiene el valor de la salida, de no ser el adecuado se debe repetir el proceso de entrenamiento.

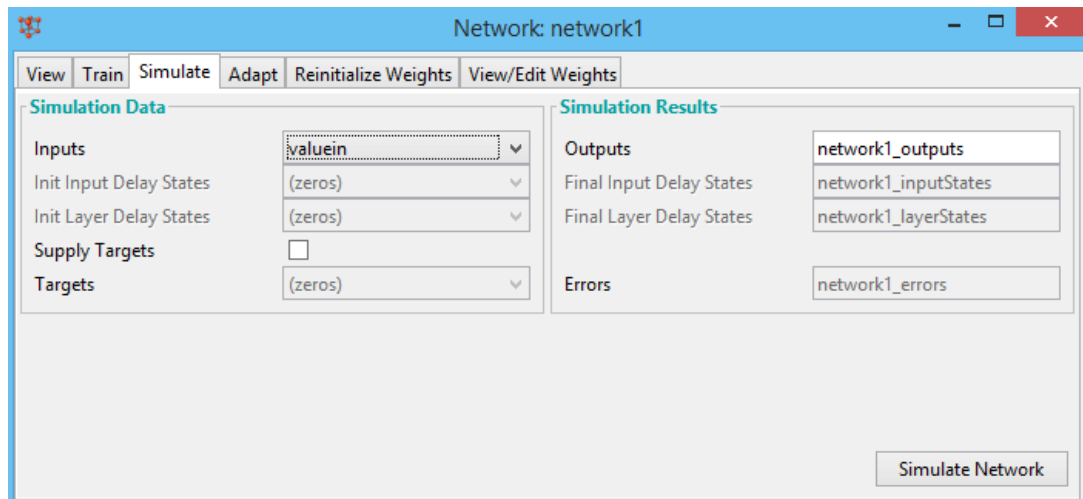


Figura 59. Simulación de aprendizaje de neurona.

Fuente: Autor

Se repitió el proceso 16 veces, teniendo en cuenta que ese fue el número de experimentos realizados. Los resultados se exponen en Anexo 6. En esta herramienta, el software especializado presenta una dificultad que, al buscar adecuadamente el aprendizaje adecuado para un valor, pueda que otro se termine desconfigurando.

Para el aprendizaje de cada uno de los experimentos, se fue variando el número de iteraciones, el periodo y las validaciones de la red neuronal. Sin embargo, los valores de output son muy cercanos y se aproximan bastante a los valores de target establecidos. En el Anexo 7 se aprecia los errores que se obtiene entre la resta del valor del target y el valor de output (Target-Output).

En la figura 60, se aprecia una representación de en qué entrenamiento la neurona realizó el mejor aprendizaje.

Adicionalmente, en el Anexo 8, se adjuntan el resto de las representaciones del mejor aprendizaje de cada experimento.

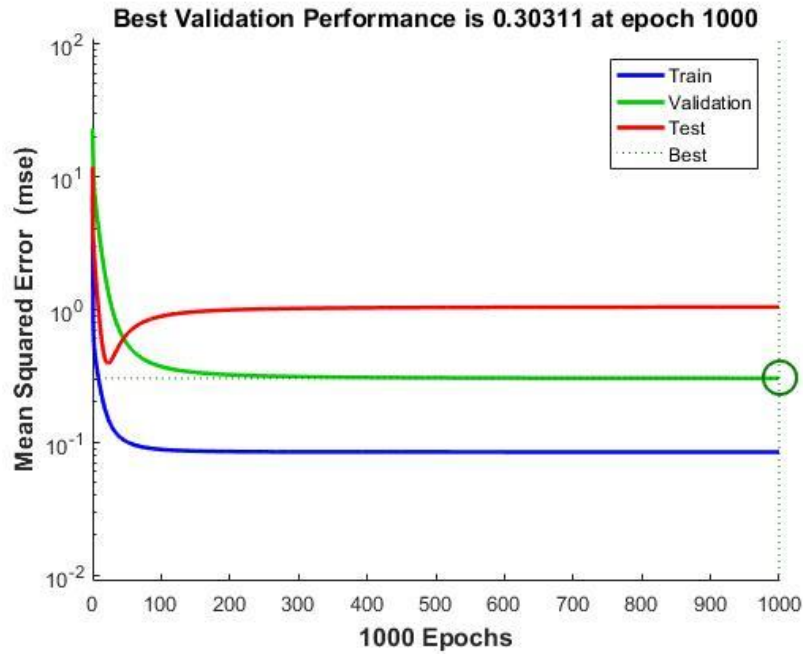


Figura 60. Experimento 1 - neurona aprendió en la iteración 1000.

Fuente: Autor

### 6.7.2 Función *nnstart* para los datos de desgaste

Esta función permite obtener una mayor cantidad de funciones en el desarrollo de las redes neuronales con un software especializado, para poder empezar la configuración de la red se selecciona *Fitting app* como se ve en la figura 61, esta función sustituye a *nntool* ya que además de brindar una mayor cantidad de gráficas para un mejor análisis de los resultados, la obtención de la simulación (aprendizaje) se hace de forma automática.

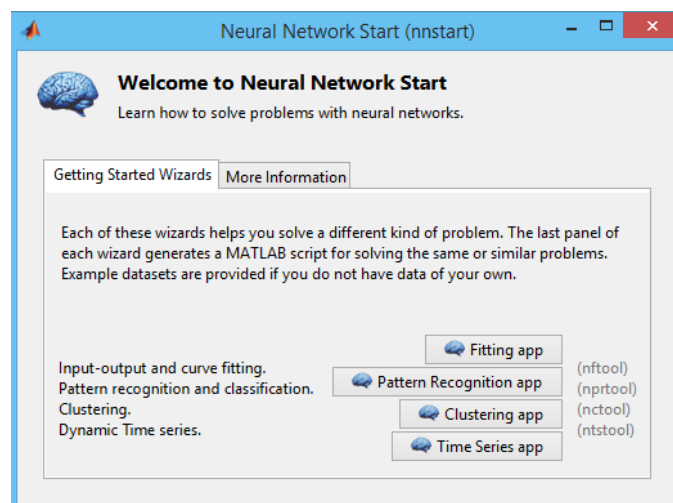


Figura 61. Inicio de elaboración de redes neuronales con Matlab *nnstart*

Fuente: Autor

Posteriormente, se selecciona igual que en *nntool*, los valores de entrada y targets que se buscan, la diferencia es que *nntool* permite tener una matriz de columnas y filas. Como se aprecia en la figura 62.

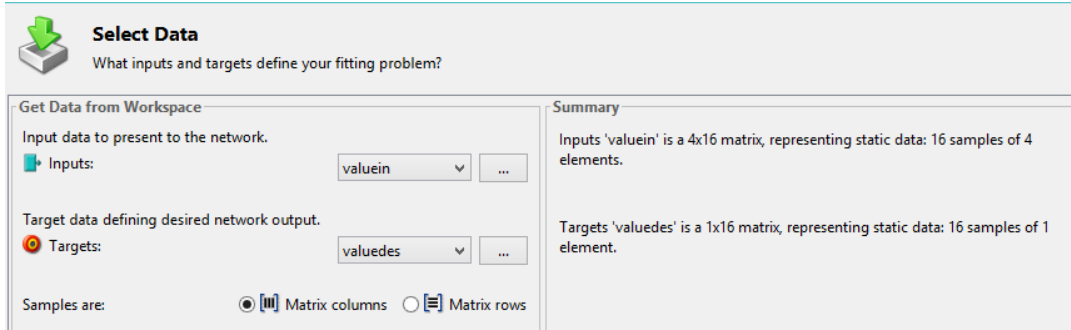


Figura 62. Parámetros de entrada y el target en la orientación adecuada.

Fuente: Autor

En la figura 63, se aprecia la arquitectura de la red. La arquitectura conlleva las entradas, la capa oculta y la salida de la red. La capa oculta sirve para guiar adecuadamente a las entradas hacia la salida.

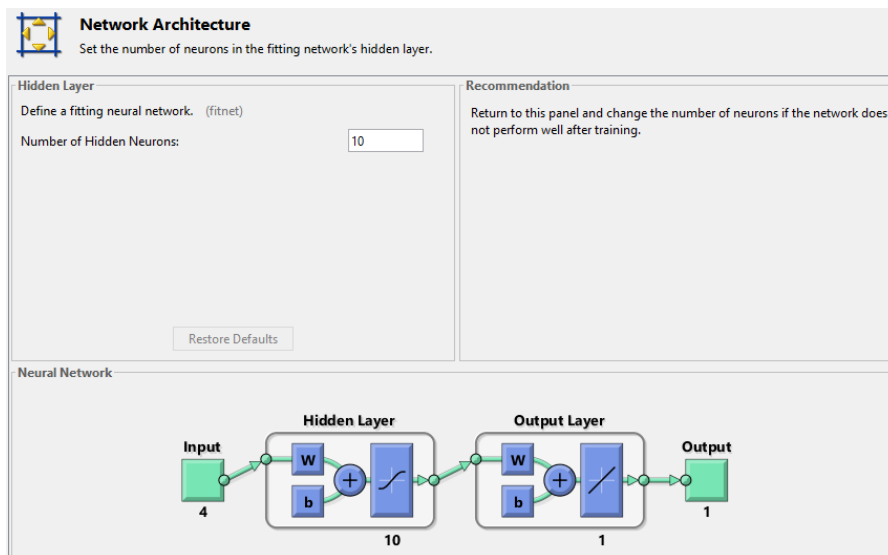


Figura 63. Arquitectura de red neuronal artificial y entradas correspondientes.

Fuente: Autor

Finalmente, se procede a entrenar a la red. En la figura 64 se puede apreciar los parámetros que se han venido seleccionando para poder entrenar la red así como el algoritmo de aprendizaje.

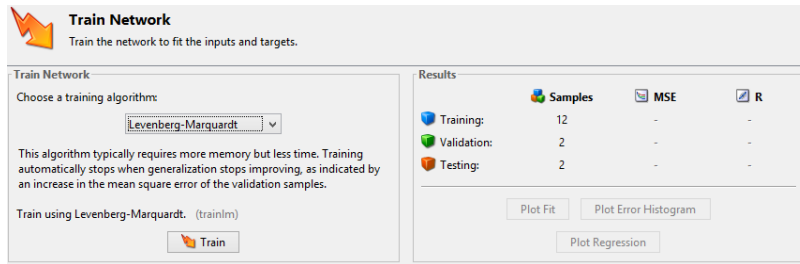


Figura 64. Entrenamiento de la red neuronal.

Fuente: Autor

Tras el entrenamiento, se aprecia en la figura 65, que la red en este caso tras ser entrenada aprendió y puede generar los valores de output más adecuados para los experimentos.

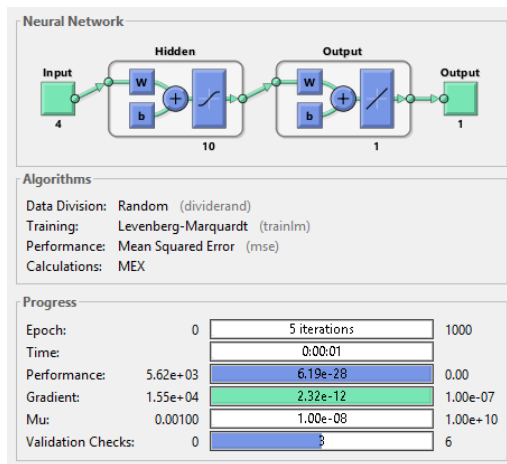


Figura 65. Entrenamiento y aprendizaje de la neurona en 5 iteraciones.

Fuente: Autor

Finalmente, si los datos son correctos se procede a guardarlos y de esta forma se obtiene el valor del output para ser comparado con el target seleccionado. En la figura 66 se aprecia este último proceso.

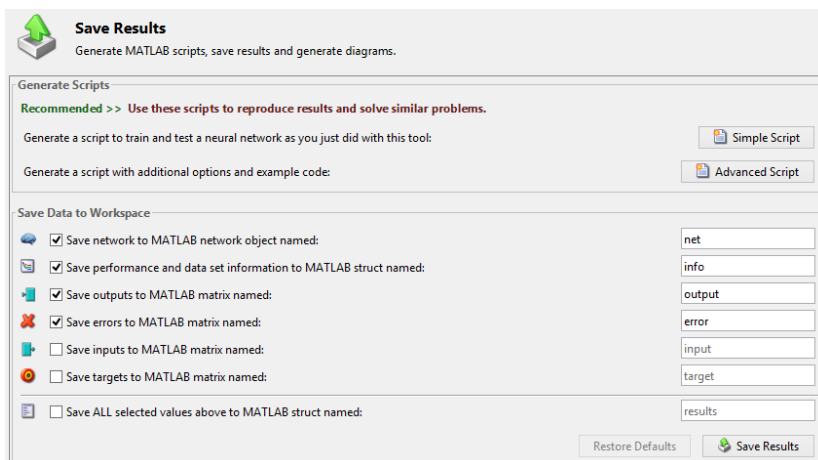


Figura 66. Proceso final de valores del output y error que se ha generado.

Fuente: Autor



En el Anexo 9, se aprecia los diferentes valores que se obtuvieron del desgaste para los 16 experimentos que se realizaron. En el Anexo 10, se obtiene los errores que existe entre el valor del target con el output. Finalmente, esta función nos permite obtener el gráfico del error que existe entre el target y el output, que se lo aprecia en la figura 67. Los demás errores se encuentran en el Anexo 11 y los entrenamientos en el Anexo 12.

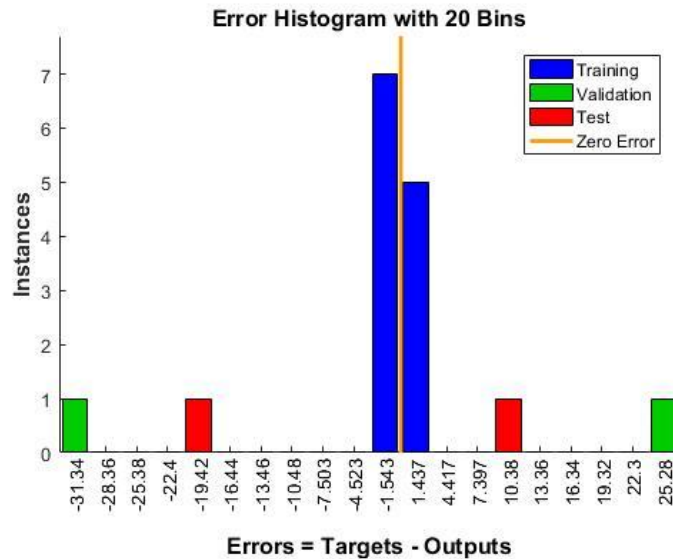


Figura 67. Error que existe en el experimento 5.

Fuente: Autor

## 6.8 Validación de datos de predicción

Para la validación de los datos obtenidos con la red neuronal ya entrenada, se ejecutó un nuevo ensayo con diferentes parámetros de entrada ( $V_c$ ,  $f$ ,  $A_p$ , CVD, PVD), con lo que se estima los valores de rugosidad superficial y de desgaste de la herramienta de corte. Las respuestas que se van a conseguir deben ser comparadas con las obtenidas experimentalmente. Para la validación, se mecanizó un nuevo eje con otros parámetros de entrada que fueron definidos para un nuevo ensayo, como se muestra en la tabla 41.

Tabla 41. Parámetros de entrada de predicción.

PARÁMETRO	VALOR
Velocidad de corte ( $V_c$ )	300 [m/min]
Avance ( $f$ )	0.15 [mm/rev]
Profundidad de corte ( $A_p$ )	2 [mm]
Tipo de herramienta de corte	PVD

Fuente: Autor

### 6.8.1 Validación por medio de redes neuronales artificiales

Para la validación de los resultados de rugosidad superficial y de desgaste de la herramienta de corte por medio de redes neuronales artificiales, se hizo uso de un algoritmo genético. Éste es un método de optimización adaptivo, que usa una analogía directa con el comportamiento natural, trabaja según una población (datos) de individuos que representan una solución factible a un problema dado.

La combinación de buenas características provenientes de estos datos puede producir las mejores respuestas hacia un problema [51]. Para obtener los valores de rugosidad superficial, así como del desgaste de la herramienta de corte, se usa la red neuronal entrenada anteriormente. Entonces, se procede a llamar a las funciones desde la herramienta como se puede apreciar en las figuras 68 y 69. De esta manera, se obtuvo los valores de rugosidad y desgaste que se pueden apreciar en las mismas.

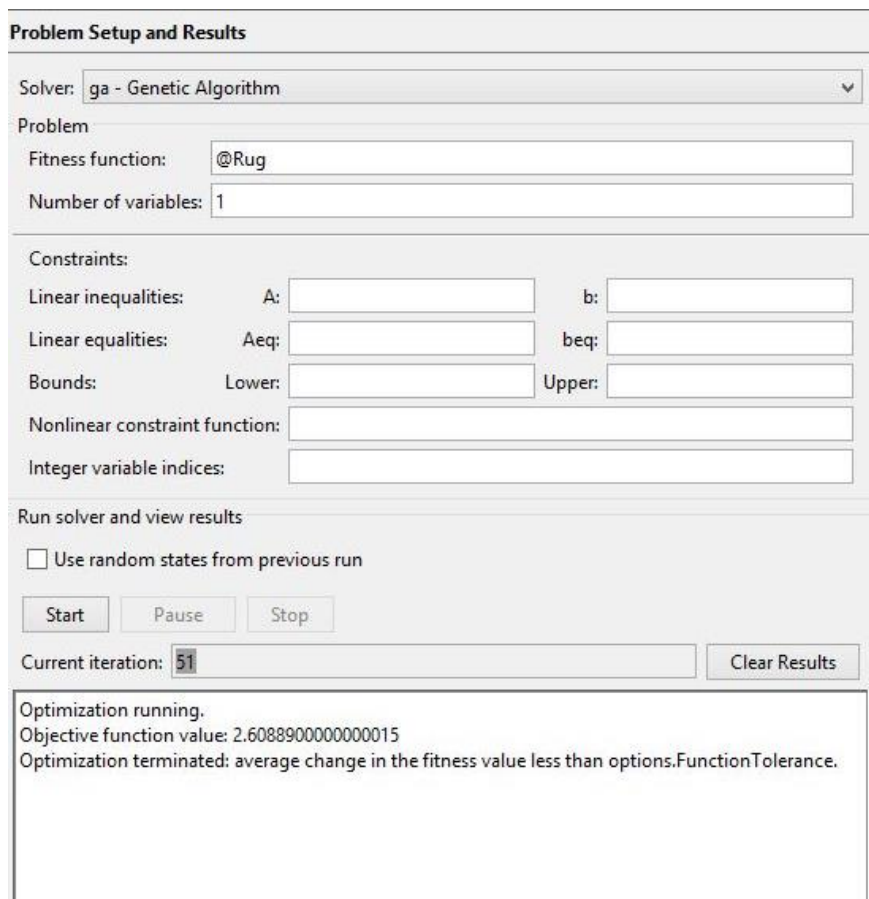


Figura 68. Obtención de la rugosidad superficial con RNA.

Fuente: Autor

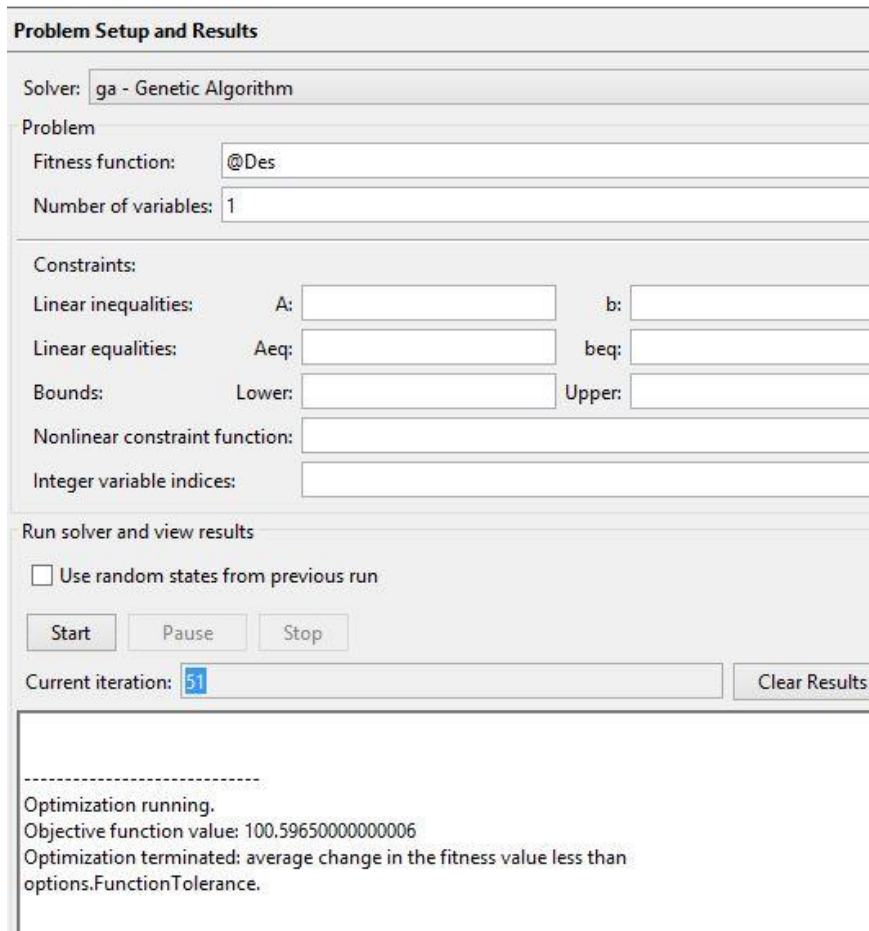


Figura 69. Obtención del desgaste de la herramienta de corte con RNA.

Fuente: Autor

En la tabla 42 se muestra los valores obtenidos mediante la red neuronal para la rugosidad superficial y el desgaste de la herramienta de corte.




Tabla 42. Resultados de validación mediante RNA.

Parámetros	Valor [ $\mu\text{m}$ ]
Rugosidad superficial ( $R_a$ )	2.6088
Desgaste de la herramienta de corte ( $V_b$ )	100.5965

### 6.8.2 Validación experimental

Una vez definidos los parámetros de entrada de predicción, se procedió a realizar el experimento con los parámetros presentados en ficha técnica de la tabla 43.

Tabla 43. Ficha técnica validación de resultados

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO”</b>			
Datos Informativos					
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Oscar Analuiza, Mg.		
<b>Lugar de Realización:</b>	Quito, Laboratorio de CNC UPS.	<b>Fecha de ejecución:</b>	11/12/2019		
Parámetros del Experimento					
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado		
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]		
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101		
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)		
<b>Velocidad de Corte:</b>	300 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.15 [mm/rev]		
<b>Profundidad de Corte:</b>	2 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]		
Experimento 1					
					
OBSERVACIONES. N/A					

Fuente: Autor

Aquí se muestran los parámetros de mecanizado utilizados, así como el aspecto del eje después de finalizar el cilindrado. Los informes técnicos de los resultados experimentales de validación de la rugosidad superficial y del desgaste de la herramienta de corte se muestran en los Anexos 13 y 14, respectivamente. Mientras que en la tabla 44, se muestra los valores promedio para cada uno de ellos.

Tabla 44. Resultados experimentales de validación.

<b>Parámetros</b>	<b>Valor [<math>\mu\text{m}</math>]</b>
Rugosidad superficial ( $R_a$ )	2.439
Desgaste de la herramienta de corte ( $V_b$ )	91.72

### 6.8.3 Errores de validación de respuestas

Una vez efectuada la validación del nuevo experimento por medio de la red neuronal artificial y el ensayo experimental, se obtuvo los errores de las respuestas de rugosidad superficial y del desgaste de la herramienta de corte presentados en la tabla 45.

Tabla 45. Errores de validación de respuestas.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>Valores obtenidos</b>		<b>Errores</b>	
	<b>RNA [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Experimental [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Absoluto [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Relativo [%]</b>
Rugosidad superficial ( $R_a$ )	2,6088	2,439	0,1698	6,51
Desgaste de la herramienta de corte ( $V_b$ )	100,597	91,72	8,8765	8,82

Al analizar el Capítulo 4, donde se presentaron los resultados obtenidos para cada ensayo, se puede afirmar que la rugosidad superficial obtenida y el desgaste de la herramienta de corte en el proceso de mecanizado involucraron varios parámetros. A pesar que se consideró la influencia de cada uno de ellos, resulta inexacto obtener los mismos valores entre los resultados experimentales y los del modelo predictivo, incluso presentando una varianza entre los ensayos realizados. Entonces, una red neuronal artificial resulta útil, ya que conlleva a un ahorro de costos al no requerir realizar más ensayos experimentales de cilindrado.

## 6.9 Conclusiones

- Se diseñó un sistema por medio de redes neuronales en un software especializado, que permitió obtener los valores de rugosidad y desgaste próximos a los obtenidos experimentalmente, a través del aprendizaje en las neuronas mediante el método de Levenberg-Marquardt. Los valores no se obtuvieron en el primer aprendizaje, por lo que es necesario realizar este proceso hasta que la neurona haya aprendido el valor adecuado de output. La variación de los parámetros permitió determinar qué iteración de la red se iba a entrenar, alcanzando el aprendizaje mediante *Validation Check*. Se modificó el número de capas ocultas para ayudar que los datos de entrada distribuyan adecuadamente hacia las salidas en cada uno de los experimentos. Comparando ambas funciones, la función *nnstart* realizó el aprendizaje en menos iteraciones que la función *nntool*, al optimizar el algoritmo y brindando una interfaz gráfica de fácil comprensión.
- Mediante un correcto aprendizaje de una red neuronal artificial, se obtuvo un error relativo del 6.51 % con respecto al valor experimental para la rugosidad superficial. Mientras que el desgaste de la herramienta de corte presentó un error de 8.82 % entre el valor de la red neuronal y el experimental.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Aspinwall, R. Dewes, J. Burrows y M. Paul, “Hybrid High Speed Machining: System Design and Experimental Results for Grinding / HSM and EDM / HSM,” *CIRP Annals*, vol. 50, pp. 145-148, 2007.
- [2] R. Dewes y D. Aspinwall, “A review of ultra high speed milling of hardened steels,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 69, pp. 1-17, 1997.
- [3] H. Schulz y G. Spur, “Aspects in Cutting Mechanism in High Speed Cutting,” *CIRP Annals*, vol. 38, pp. 51-54, 1989.
- [4] P. Fallbohmer, C. Rodríguez, T. Ozel y T. Altan, “High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 98, pp. 104-115, 2000.
- [5] L. Vargas, C. Pedraza, C. Devia y C. Martínez, “Desarrollo de un modelo predictivo para la calidad superficial en un proceso de torneado sobre aceros de alta resistencia,” *Prospect*, vol. 12, pp. 55-63, 2014.
- [6] M. Albertí, “Contribución al desarrollo del proceso de selección de centros de mecanizado de alta velocidad, basados en parámetros tecnológicos y de productividad,” *Universitat de Girona*, 2010.
- [7] R. Rubio, “Optimización de parámetros de corte y detección de desgaste en herramienta de corte para un proceso de mecanizado a alta velocidad utilizando redes neuronales y algoritmos genéticos”, [En línea]. Available: [https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/570746/DocsTec\\_11722.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/570746/DocsTec_11722.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 01 Junio 2019].
- [8] W. Vaca y J. Villacres, “Influencia de los sistemas de lubricación en el acabado superficial en la punta de eje posterior del Nissan Patrol en el proceso de torneado,” [En línea]. Available: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24155/1/Tesis%20I.M.%20348%20%20Villacr%c3%a9s%20Gavil%c3%a1nes%20Juan%20Carlos.pdf>. [Último acceso: 10 Octubre 2019].
- [9] S. Khan, M. Umar, M. Qaiser, N. Ahmad y S. Farhan, “Experimental investigations on wiper inserts’ edge preparation, workpiece hardness and operating parameters in hard turning of AISI D2 steel,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 34, pp. 187-196, 2018.

- [10] M. Correa, M. Ramirez, J. Alique y C. Rodriguez, “Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado Técnicas de Análisis y Modelos,” [En línea]. Available: <https://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXV/documentos/75-arlencicor.pdf>. [Último acceso: 26 Agosto 2019].
- [11] J. Pereira y R. Ruiz, “Influencia de los parámetros de corte y geometría de la herramienta en la rugosidad superficial obtenida en operaciones de torneado del bronce SAE 40,” *Ingeniería UC*, vol. 14, pp. 77-85, 2007.
- [12] O. Fergani, Y. Shao y S. Liang, “Effect of Temperature on the Subsurface Microstructure and Mechanical Properties of AA 7075-T6 in Machining,” *Procedia CIRP*, vol. 13, pp. 181-185, 2014.
- [13] N. Xie, J. Zhou y B. Zheng, “Selection of optimum turning parameters based on cooperative optimization of minimum energy consumption and high surface quality,” *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 1469-1474, 2018.
- [14] M. Venkata y Y. Shanmuka, “Optimization and influence of process parameters on surface roughness in turning of titanium alloy,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, pp. 1843-1851, 2017.
- [15] S. Kalpakjian y S. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2002.
- [16] C. Wang y N. He, *High Speed Machining*, Switzerland: Trans Tech Publications, 2011.
- [17] N. Kawin, D. Jagadeesh, G. Saravann y K. Periasamy, “Optimization of turning parameters in sugarcane bagasse ash reinforced with Al-Si10-Mg alloy composites by Taguchi method,” *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-3, 2019.
- [18] D. Das, V. Chakraborty, B. Kumar y B. Chandra, “Turning performance of Al 7075/SiCp MMC and multi-response optimization using WPCA and Taguchi approach,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 6030-6037, 2018.
- [19] D. Paulo, *Machining*, London : Springer, 2008.
- [20] K. Cheng, *Machining Dynamics*, Middlesex: Springer, 2009.
- [21] R. Mali, M. Agrahari y T. Gupta, “FE based simulation and experimental validation of forces in dry turning of aluminium 7075,” *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-5, 2019.



- [22] M. Holub, O. Andrs, J. Kovar y J. Vetiska, “Effect of position of temperature sensors on the resulting volumetric accuracy of the machine tool,” *Measurement*, vol. 1, pp. 107-117, 2019.
- [23] S. Ali Khana y M. Umara, “Experimental investigations on wiper inserts’ edge preparation, workpiece hardness and operating parameters in hard turning of AISI D2 steel,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 34, pp. 187-196, 2018.
- [24] A. Vereschaka, V. Tabakov, S. Grigoriev y N. Sitnikov, “Investigation of wear mechanisms for the rake face of a cutting tool with a multilayer composite nanostructured Cr–CrN-(Ti,Cr,Al,Si)N coating in high-speed steel turning,” *Wear*, vol. 1, pp. 438-449, 2019.
- [25] E. Rubio, A. Bericua, B. Agustina y M. Marín, “Analysis of the surface roughness of titanium pieces obtained by turning using different cooling systems,” *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 79-84, 2019.
- [26] S. Jianfei, H. Shun, D. Haitao y C. Wuyi, “Cutting performance and wear mechanism of Sialon ceramic tools in high,” *Ceramics International*, vol. 1, pp. 1-8, 2019.
- [27] L. Vargas Henríquez, C. Pedraza Yapes, C. Devia Acosta y C. Martínez Marrugo, “Desarrollo de un Modelo Predictivo para la Calidad Superficial,” *Prospect*, vol. 12, n° 1, pp. 55-63, 2014.
- [28] A. Mahashar, J. Siddhi y Murugan, “Surface roughness evaluation of electrical discharge machined surfaces,” *Measurement*, vol. 149, p. 10, 2019.
- [29] R. Joch, J. Pilc, I. Danis, M. Drbul y S. Krajcoviech, “Analysis of surface roughness in turning process using rotating tool with chip breaker for specific shapes of automotive transmission shafts,” *Transportation Research Procedia*, vol. 40, pp. 295-301, 2019.
- [30] Universidad Técnica de Ambato, “Reglamento de Posgrado,” [En línea]. Available:<https://www.uta.edu.ec/v3.2/uta/reglamentosinternos/RESOLUCION%200109-CU-P-2019.pdf>. [Último acceso: 04 Octubre 2019].
- [31] S. Raykar, D. D'Addona y A. Mane, “Multi-objective Optimization of High Speed Turning of Al 7075 Using Grey Relational Analysis,” *ProcediaCIRP*, vol. 33, pp. 293-298, 2015.

- [32] R. Korimilli y V. Allamraju, "Effect on Micro-Hardness and Residual Stress in CNC Turning Of Aluminium 7075 Alloy," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, pp. 975-981, 2017.
- [33] A. Pinar, "Optimization of Process Parameters with Minimum Surface Roughness in the Pocket Machining of AA5083 Aluminum Alloy via Taguchi Method," *Mechanical Engineering*, vol. 38, pp. 705-714, 2013.
- [34] B. Singaravel, D. Shankar y L. Prassanna, "Application of MCDM Method for the Selection of Optimum Process Parameters in Turning Process," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 13464-13471, 2018.
- [35] A. Saravanakumar, S. Karthikeyan, B. Dhamotharan y V. Gokul kumar, "Optimization of CNC Turning Parameters on Aluminum Alloy 6063 using TaguchiRobust Design," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 8290-8298, 2018.
- [36] B. Satyanatayana, P. Ruthvik y M. Dileep, "Optimization of controllable turning parameters for high speed dry machining of a super alloy," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, pp. 4878-4886, 2018.
- [37] M. Cifuentes, *La sistematización de las prácticas en Trabajo Social: una visión desde los proyectos sociales*, Manizales: Universidad de Caldas, 2006.
- [38] EMCO, "WinNC para Sinumerik Operate Mill," [En línea]. Available: [https://www.emcoworld.com/uploads/tx\\_commerce/EMCO\\_WinNC\\_for\\_Sinumerik\\_Operate\\_Mill\\_EN\\_1848\\_C\\_01.pdf](https://www.emcoworld.com/uploads/tx_commerce/EMCO_WinNC_for_Sinumerik_Operate_Mill_EN_1848_C_01.pdf). [Último acceso: 14 Mayo 2019].
- [39] Mitutoyo, "Portable surface roughness tester," [En línea]. Available: <http://www.inspec-inc.com/docs/default-source/individual-equipment-brochures/surf-test-sj-210.pdf?sfvrsn=2>. [Último acceso: 19 Julio 2019].
- [40] TESCAN, "Microscopio SEM VEGA 3 SB," [En línea]. Available: <http://www.microcontrolnt.it/wp-content/uploads/2018/01/1-VEGA3.pdf>. [Último acceso: 19 Octubre 2019].
- [41] ISO, "Tool-life testing with single-point turning tools," [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/9151.html>. [Último acceso: 18 Agosto 2019].
- [42] J. Ajithkumar y A. Xavier, "Cutting Force and Surface Roughness Analysis During Turning of Al 7075 Based Hybrid Composites," *Procedia Manufacturing*, vol. 30, pp. 180-187, 2019.

- [43] SANDVIK, “Herramientas para torneado,” [En línea]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/Pages/turning-tools.aspx>. [Último acceso: 28 Abril 2019].
- [44] Zhuzhou Cemented Carbide Cutting Tools co., LTD., “Turning Tools,” [En línea]. Available: <http://eng.zccct.com/product.aspx#navBar>.
- [45] A. Coque, “Análisis del desgaste por filo de aportación en herramientas de mecanizado para el aluminio AA 7075-T6 (Prodax) en el proceso de fresado plano en un centro de mecanizado,” [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14421/1/T-ESPE-057884.pdf>. [Último acceso: 17 Abril 2019].
- [46] Iberdrola, “Iberdrola,” Iberdrola S.A., 2019. [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-inteligencia-artificial>. [Último acceso: 01 11 2019].
- [47] R. Sánchez Rubio Hernández, “Tecnológico de Monterrey,” 01 05 2010. [En línea]. Available: <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/570746>. [Último acceso: 30 10 2019].
- [48] F. Sancho Caparrini, “Fernando Sancho Caparrini,” 26 12 2018. [En línea]. Available: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=72>. [Último acceso: 05 11 2019].
- [49] R. Cárdenas Almeida, “Universidad de las Palmas de Gran Canaria,” [En línea]. Available: [https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/38/38584/practica\\_ia\\_2.pdf](https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/38/38584/practica_ia_2.pdf). [Último acceso: 05 11 2019].
- [50] MathWorks, “MathWorks,” [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/help/deeplearning/ref/nntool.html>. [Último acceso: 04 11 2019].
- [51] Universidad Del País Vasco, “Universidad Del País Vasco,” [En línea]. Available: <http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/temageneticos.pdf>. [Último acceso: 13 12 2019].

## ANEXOS

### Anexo 1. Especificaciones técnicas del torno EMCO MAT280.

Ámbito de trabajo		
distancia entre puntos	[mm]	1000
altura de puntos	[mm]	200
diámetro del perímetro sobre el lecho	[mm]	∅ 400
diámetro del perímetro sobre el carro transversal	[mm]	∅ 220
ancho del lecho	[mm]	260
recorrido desplazable carro longitudinal	[mm]	900
recorrido desplazable carro transversal	[mm]	220
carro transversal - ancho	[mm]	150
sección transversal herramienta de torno	[mm]	20x20
Husillo principal		
conexión del husillo KK5 / DIN 55029		Talla 5
orificio del husillo KK5 / DIN 55029	[mm]	∅ 53/ 50
diámetro del husillo en el cojinete delantero	[mm]	∅ 80
diámetro máx. del revestimiento	[mm]	∅ 200
diámetro máx. plato de cuatro garras	[mm]	∅ 260
revoluciones husillo	[rev/min]	50-4000
regulación de la velocidad		sin fases
Accionamiento principal		
CA - motor trifásico, regulable sin fases		
potencia en 100%/40% E.D.	[kW]	7,5/10
torque nominal máx. en el husillo principal	[Nm]	108
Avance		
área de avance eje X/ Z-	[mm/ min]	0-8000
fuerza de avance máx. X	[kN]	4
fuerza de avance máx. Z	[kN]	4
tornillo esférico de re circulación X inclinación/ diámetro	[mm]	5/ ∅ 16
tornillo esférico de re circulación Z inclinación/ diámetro	[mm]	5/ ∅ 32
marcha rápida eje X / Z	[m/min]	10
Contrapunto		
diámetro de la pinola	[mm]	∅ 50
cono interior de la pinola	[MK]	3
elevación de la pinola	[mm]	120
Pesos permitidos para las piezas		
tensado al vuelo ( máx. 5kg a 4000rev/min)	[kg]	30
apoyado con contrapunto	[kg]	80

Anexo 1. Especificaciones técnicas del torno EMCO MAT280. (Continuación).

<b>Conexión eléctrica</b>		
suministro de tensión 3 ~ /PE	[V]	400
variaciones de voltaje máx.	[%]	+5/-10
frecuencia	[Hz]	50/60
valor de conexión	[kVA]	10
corriente de conexión	[A]	20
rango de temperatura (con humedad ambiental 20-75%)	[grados]	10 – 35
<b>Ajuste del refrigerante</b>		
potencia de la bomba de refrigerante	[kW]	0,22
presión	[bar]	4
caudal a 0,5 bar	[l/min]	48
tanque de refrigerante	[litros]	20
<b>Dimensiones</b>		
longitud total	[mm]	2320
ancho total	[mm]	1730
alto total	[mm]	1700
eje de rotación sobre el suelo	[mm]	1110
peso de la máquina con distancia entre puntos 1000	[t]	1,5
<b>Pintura</b>		
gris claro		RAL N°. 7040
rojo		RAL N°. 3020
negro		RAL N°. 9004
<b>Nivel de ruido</b>		
nivel de ruido medio Bajo las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>Método de medición: Método de medición de la superficie del revestimiento según DIN 45635</li> <li>Punto de medida: 1m de distancia y 1,6m sobre el suelo</li> <li>Estado de funcionamiento: revoluciones máximas en marcha en vacío</li> </ul>	[dB (A)]	78



ICS > 25 > 25.100 > 25.100.10

# ISO 3685:1993

## Tool-life testing with single-point turning tools

**THIS STANDARD WAS LAST REVIEWED AND CONFIRMED IN 2017.  
THEREFORE THIS VERSION REMAINS CURRENT.**

### Foreword

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

Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

International Standard ISO 3685 was prepared by Technical Committee ISO/TC 29, *Small tools*.

This second edition cancels and replaces the first edition (ISO 3685:1977), of which it constitutes a technical revision.

Annexes A, B, C, D, E, F and G form an integral part of this International Standard. Annex H is for information only.

### Introduction

The adoption by both industry and testing bodies of the recommendations contained in ISO 3685:1977 created a demand for the publication of similar recommendations for other commonly used cutting processes.

Tool-life testing in milling is covered in ISO 8888-1:1989 and ISO 8888-2:1989. During the final stages of their preparation, it was recognized that there was a need to update the recommendations for single-point turning tools.

This International Standard contains recommendations which are applicable in both laboratories and manufacturing units. These recommendations are intended to unify procedures in order to increase reliability and comparability of test results when making comparisons of cutting tools, work materials, cutting parameters or cutting fluids. In order to come as close as possible to these aims, recommended reference materials and conditions are included and should be used as far as is practical.

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

The test conditions recommended in this International Standard have been designed for turning tests using steel and cast iron workpieces of normal microstructure, with solid high-speed steel tools or tools with cemented carbide or ceramic indexable inserts. However, with suitable modifications, this International Standard can be applied, for example, to turning tests on other work materials or with cutting tools developed for specific applications.

The specified accuracy given in the recommendations should be considered as a minimum requirement. Any deviation from the recommendations should be indicated in detail in the test report.



### Bibliography

- [1] ISO 3:1973, *Preferred numbers — Series of preferred numbers*.
- [2] ISO 1832:1991, *Indexable inserts for cutting tools - Designation*.
- [3] ISO 3002-2:1982, *Basic quantities in cutting and grinding — Part 2: Geometry of the active part of cutting tools — General conversion formulae to relate tool and working angles*.
- [4] ISO 3002-3:1984, *Basic quantities in cutting and grinding — Part 3: Geometric and kinematic quantities in cutting*.
- [5] ISO 3002-4:1984, *Basic quantities in cutting and grinding — Part 4: Forces, energy, power*.
- [6] ISO 3534-1:1993, *Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: Probability and general statistical terms*.
- [7] ISO 3534-2:1993, *Statistics — Vocabulary and symbols — Part 2: Statistical quality control*.
- [8] ISO 3534-3:1985, *Statistics — Vocabulary and symbols — Part 3: Design of experiments*.
- [9] ISO 8888-1:1989, *Tool life testing in milling — Part 1: Face milling*.
- [10] ISO 8888-2:1989, *Tool life testing in milling — Part 2: End milling*.
- [11] HALD, A. *Statistical theory with engineering applications*. London, 1957.
- [12] LESLIE, R.T. and LORENZ, G. *Tool life exponents in the light of regression analysis*. National Standards Laboratory, Technical Paper No. 20, CSIRO, Australia, 1964.
- [13] NATELLA, G. *Experimental statistics*. NBS Handbook 91, Washington, 1966.

Anexo 3. Ficha técnica de la aleación de aluminio AA 7075-T6.



AV. DE LA PRENSA N42-50 - SECTOR LA 'Y'  
 TELEFAX: 2466 113 • 2433 826  
 www.importcom.com.ec  
 e-mail: ventas@importcom.com.ec  
 QUITO - ECUADOR

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD CON EL PEDIDO ESTABLECIDO POR TRAIID VILLARROYA HNOS, S.L. SEGÚN EN10204-2,2 Certificate of conformity according to EN10204-2.2											
Cliente / Customer :		LEÓN REA VÍCTOR HUMBERTO (IMPORTCOM)									
Factura / Invoice :		4558									
Fecha emisión / Date :		10.10.2018									
Producto / Product :		DURALUMINIO 7075 Ø20, Ø25, Ø35, Ø40, Ø50, Ø65, Ø130, Ø180									
<b>ANALISIS QUIMICO / CHEMICAL ANALYSIS</b>											
material	% min.	% máx.	material	% min.	% máx.	material	% min.	% máx.	material	% min.	% máx.
Si		0.40	Mg	2.10	2.90	IMPUR		0.15			
Fe		0.50	Cr	0.18	0.28	Al	TESTO				
Cu	1.20	2.00	Zn	5.10	6.10						
Mn		0.30	Ti		0.20						
<b>CARACTERISTICAS MECANICAS / MECHANICAL CHARACTERISTICS</b>											
Limite de alargamiento Elongation limit			Resistencia a la T. RM Tensile strength			Alargamiento Elongation			Dureza HBS Hardness		
N/mm2			N/mm2			A5		A10			
min.		máx.	min		máx.	%		%	min.		máx.
460			525					6	157		
<p><b>Certificamos que los materiales indicados han sido fabricados conforme a las especificaciones del sistema de calidad UNE EN ISO 9001:2008 y cumplen plenamente con los parámetros técnicos especificados en su pedido.</b></p> <p>We hereby certify, that the material described above complies with the terms of the order contract</p> <p>Pueden descargarse la ficha técnica y hoja de seguridad en la página web : <a href="http://www.traidvillarroya.com">www.traidvillarroya.com</a>                      You can download the technical specifications and material safety sheet from our website : <a href="http://www.traidvillarroya.com">www.traidvillarroya.com</a></p>											
		Director de Calidad / Quality Manager 									
Los valores recogidos en este informe son en base a nuestra información recibida de los laboratorios especializados de nuestros proveedores principales de materia prima. The values given in this certificate of conformity are based on information received by our raw material suppliers laboratories.											

Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial.



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-05-20											
Fecha de Finalización: 2019-05-20											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 1											
<b>Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra</b>											
<b>Medidas [<math>\mu</math>m]</b>											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 1	0.592	0.589	0.595	0.591	0.589	0.579	0.596	0.580	0.566	0.583	<b>0.586</b>
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											





Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-05-21											
Fecha de Finalización: 2019-05-21											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 2											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 2	0.851	0.852	0.857	0.836	0.826	0.795	0.803	0.815	0.800	0.804	<b>0.824</b>
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología Fecha de Ejecución: 2019-05-22 Fecha de Finalización: 2019-05-22 Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 3											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 3	0.788	0.783	0.809	0.812	0.797	0.789	0.782	0.783	0.821	0.817	<b>0.798</b>
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramirez Gangotena RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología Fecha de Ejecución: 2019-05-23 Fecha de Finalización: 2019-05-23 Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu\text{m}$	2.5 mm	X10								
Experimento 4											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu\text{m}$ ]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 4	0.799	0.871	0.803	0.794	0.782	0.794	0.766	0.754	0.771	0.775	0.791
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología Fecha de Ejecución: 2019-05-27 Fecha de Finalización: 2019-05-27 Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 5											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 5	11.253	11.239	11.156	11.198	10.636	10.538	11.113	11.090	11.196	10.736	11.016
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-05-28											
Fecha de Finalización: 2019-05-28											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 6											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 6	7.989	8.485	8.077	7.970	8.230	8.168	8.201	7.819	7.800	7.827	<b>8.057</b>
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-05-29											
Fecha de Finalización: 2019-05-29											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 7											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 7	8.392	8.678	8.453	8.503	8.309	8.809	8.773	9.142	9.120	9.110	<b>8.729</b>
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-05-30											
Fecha de Finalización: 2019-05-30											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 8											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 8	7.628	7.732	8.193	8.168	8.026	8.110	7.918	7.917	8.152	8.156	8.000
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-06-3											
Fecha de Finalización: 2019-06-3											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 9											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 9	0.777	0.839	0.862	0.750	0.600	0.613	0.613	0.695	0.670	0.679	0.710
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											





Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-06-4											
Fecha de Finalización: 2019-06-4											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 10											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 10	0.791	0.708	0.657	0.647	0.645	0.646	0.658	0.659	0.612	0.616	0.664
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-06-5											
Fecha de Finalización: 2019-06-5											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 11											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 11	0.827	0.807	0.833	0.807	0.786	0.751	0.748	0.742	0.734	0.711	0.775
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-06-6											
Fecha de Finalización: 2019-06-6											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 12											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 12	1.790	1.485	0.907	1.318	1.103	0.991	0.810	0.899	0.879	0.872	1.105
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología Fecha de Ejecución: 2019-06-10 Fecha de Finalización: 2019-06-10 Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu m$	2.5 mm	X10								
Experimento 13											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu m$ ]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 13	10.969	11.021	10.937	10.825	10.790	10.848	10.842	10.928	10.041	10.100	10.730
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología Fecha de Ejecución: 2019-06-11 Fecha de Finalización: 2019-06-11 Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 14											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 14	8.059	7.994	8.080	7.819	7.763	8.552	7.761	7.725	7.857	7.821	7.943
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

LABORATORIO DE METROLOGÍA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL											
DATOS INFORMATIVOS											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología Fecha de Ejecución: 2019-06-12 Fecha de Finalización: 2019-06-12 Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
Parámetros del Experimento											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 15											
Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra											
Medidas [ $\mu$ m]											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 15	9.290	9.434	9.400	9.408	9.830	9.823	9.375	9.359	9.333	9.419	<b>9.467</b>
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											



Anexo 4. Informes técnicos de rugosidad superficial. (Continuación).



CERTIFICATE OF INSPECTION

<b>LABORATORIO DE METROLOGÍA</b>											
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>											
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-06-13											
Fecha de Finalización: 2019-06-13											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
<b>Parámetros del Experimento</b>											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
<b>Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210</b>											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 16											
<b>Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra</b>											
<b>Medidas [<math>\mu</math>m]</b>											
PROBETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Promedio
Experimento 16	8.112	8.065	8.067	7.922	7.902	7.938	7.953	8.181	7.961	7.973	<b>8.007</b>
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											

Elaborado por  
  
 Ing. Esteban Ramírez  
 Analista Técnico Laboratorio de Metrología

Aprobado por  
  
 Ing. Vinicio Coque MSc.  
 Coordinador Laboratorio de Metrología



16/16

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte.





Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

**LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA**  
**REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO**

**DATOS INFORMATIVOS**

Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena  
 RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama  
 Teléfono: 0984346805

Tipo de estudio: Experimental  
 Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato  
 Fecha de Ejecución: 2019-10-01  
 Fecha de Finalización: 2019-10-14  
 Tipo de ensayo: Cuantitativo

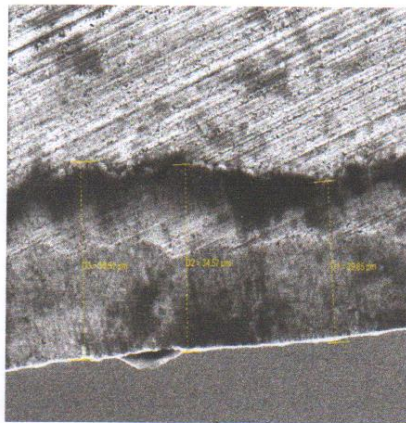
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero.	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas.
-----------------------	-------------------------	----------------------	--------------------------

**Parámetros del Experimento**

<b>Material:</b>	AA 7075 - T6.	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm].	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311

Desgaste del Flanco (Material Duro)

Experimento 1



VM	36.51	µm
VB	34.57	µm
VS	29.85	µm
Suma	100.93	µm
Promedio	33.64	µm

**Observaciones:**

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO			
DATOS INFORMATIVOS			
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena			
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama	
Teléfono: 0984346805			
Tipo de estudio: Experimental			
Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato			
Fecha de Ejecución: 2019-10-01			
Fecha de Finalización: 2019-10-14			
Tipo de ensayo: Cuantitativo			
Realizado por:	Ing. Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Parámetros del Experimento			
Material:	AA 7075 – T6	Tipo de Mecanizado:	Torneado / Cilindrado
Diámetro en bruto:	60 [mm]	Longitud a mecanizar:	300 [mm]
Portaherramientas:	SDJCR 2020 K11	Inserto:	DCGX 11T304-AL H10
Recubrimiento de Inserto	PVD	Tipo de Refrigerante:	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
Velocidad de Corte:	200 [m/min]	Avance:	0.1 [mm/rev]
Profundidad de Corte:	1.5 [mm]	Tiempo de Mecanizado:	5 [min]
Norma de Evaluación	ISO 3685	Orden:	311
Desgaste del Flanco (Material Duro)			
Experimento 2			
	VM	61.14	µm
	VB	82.14	µm
	VS	70.19	µm
	Suma	213.47	µm
	Promedio	71.15	µm
	Observaciones:		

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

**LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA**  
**REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO**

**DATOS INFORMATIVOS**

Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena  
 RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama  
 Teléfono: 0984346805  
 Tipo de estudio: Experimental  
 Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato  
 Fecha de Ejecución: 2019-10-01  
 Fecha de Finalización: 2019-10-14  
 Tipo de ensayo: Cuantitativo

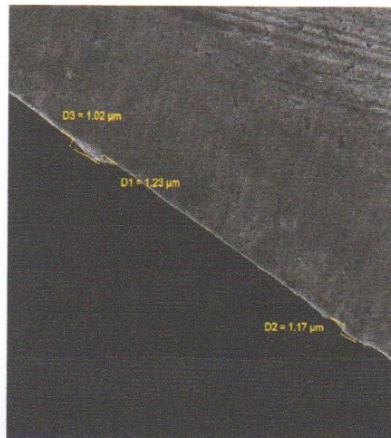
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas
-----------------------	------------------------	----------------------	-------------------------

**Parámetros del Experimento**

<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311

Desgaste del Flanco (Material Duro)

Experimento 3



VM	1.02	μm
VB	1.23	μm
VS	1.17	μm
Suma	3.42	μm
Promedio	1.14	μm

Observaciones:

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

**LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA**  
**REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO**

**DATOS INFORMATIVOS**

Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramirez Gangotena  
RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama  
Teléfono: 0984346805

Tipo de estudio: Experimental  
Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato  
Fecha de Ejecución: 2019-10-01  
Fecha de Finalización: 2019-10-14  
Tipo de ensayo: Cuantitativo

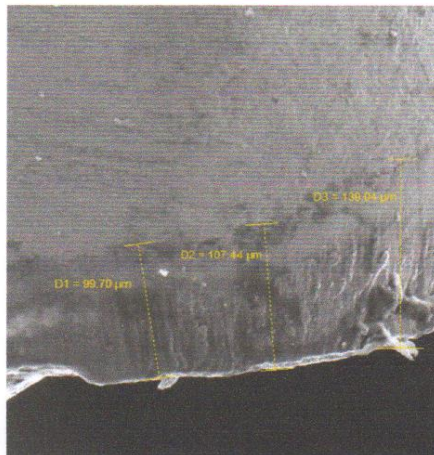
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas
-----------------------	------------------------	----------------------	-------------------------

**Parámetros del Experimento**

<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311

Desgaste del Flanco (Material Duro)

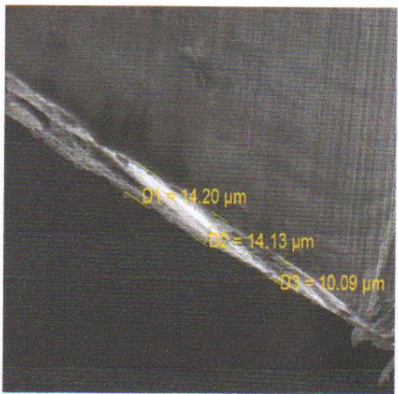
**Experimento 4**



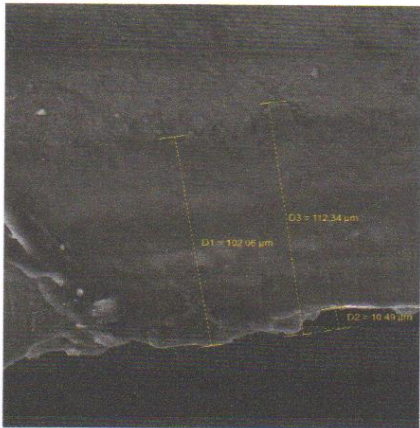
VM	99.70	μm
VB	107.44	μm
VS	139.04	μm
Suma	346.18	μm
Promedio	115.393	μm

**Observaciones:**

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO																		
DATOS INFORMATIVOS																		
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramirez Gangotena																		
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama																
Teléfono: 0984346805																		
Tipo de estudio: Experimental																		
Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato																		
Fecha de Ejecución: 2019-10-01																		
Fecha de Finalización: 2019-10-14																		
Tipo de ensayo: Cuantitativo																		
Realizado por:	Ing. Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas															
Parámetros del Experimento																		
Material:	AA 7075 – T6	Tipo de Mecanizado:	Torneado / Cilindrado															
Diámetro en bruto:	60 [mm]	Longitud a mecanizar:	300 [mm]															
Portaherramientas:	SDJCR 2020 K11	Inserto:	DCGX 11T304-AL H10															
Recubrimiento de Inserto	CVD	Tipo de Refrigerante:	Aceite soluble / Agua (Taladrina)															
Velocidad de Corte:	200 [m/min]	Avance:	0.3 [mm/rev]															
Profundidad de Corte:	1.5 [mm]	Tiempo de Mecanizado:	5 [min]															
Norma de Evaluación	ISO 3685	Orden:	311															
Desgaste del Flanco (Material Duro)																		
Experimento 5																		
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>14.20</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>14.13</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>10.09</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>38.42</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>12.80</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	14.20	μm	VB	14.13	μm	VS	10.09	μm	Suma	38.42	μm	Promedio	12.80	μm
VM	14.20	μm																
VB	14.13	μm																
VS	10.09	μm																
Suma	38.42	μm																
Promedio	12.80	μm																
Observaciones:																		

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA																		
REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO																		
DATOS INFORMATIVOS																		
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena																		
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama																
Teléfono: 0984346805																		
Tipo de estudio: Experimental																		
Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato																		
Fecha de Ejecución: 2019-10-01																		
Fecha de Finalización: 2019-10-14																		
Tipo de ensayo: Cuantitativo																		
Realizado por:	Ing. Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas															
Parámetros del Experimento																		
Material:	AA 7075 - T6	Tipo de Mecanizado:	Torneado / Cilindrado															
Diámetro en bruto:	60 [mm]	Longitud a mecanizar:	300 [mm]															
Portaherramientas:	SDJCR 2020 K11	Inserto:	DCGX 11T304-AL H10															
Recubrimiento de Inserto:	PVD	Tipo de Refrigerante:	Aceite soluble / Agua (Taladrina)															
Velocidad de Corte:	200 [m/min]	Avance:	0.3 [mm/rev]															
Profundidad de Corte:	1.5 [mm]	Tiempo de Mecanizado:	5 [min]															
Norma de Evaluación	ISO 3685	Orden:	311															
Desgaste del Flanco (Material Duro)																		
Experimento 6																		
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>102.06</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>112.34</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>10.49</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>224.89</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>74.96</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	102.06	µm	VB	112.34	µm	VS	10.49	µm	Suma	224.89	µm	Promedio	74.96	µm
VM	102.06	µm																
VB	112.34	µm																
VS	10.49	µm																
Suma	224.89	µm																
Promedio	74.96	µm																
Observaciones:																		

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

**LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA**  
**REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO**

**DATOS INFORMATIVOS**

Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena  
 RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama  
 Teléfono: 0984346805  
 Tipo de estudio: Experimental  
 Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato  
 Fecha de Ejecución: 2019-10-01  
 Fecha de Finalización: 2019-10-14  
 Tipo de ensayo: Cuantitativo

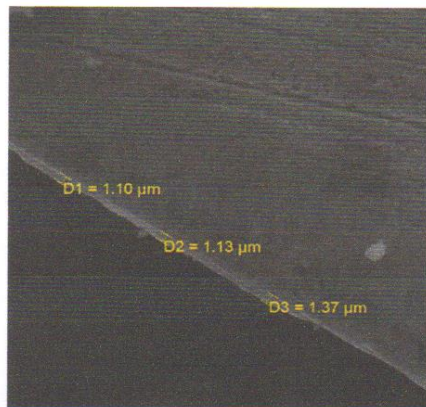
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas
-----------------------	------------------------	----------------------	-------------------------

**Parámetros del Experimento**

<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311

Desgaste del Flanco (Material Duro)

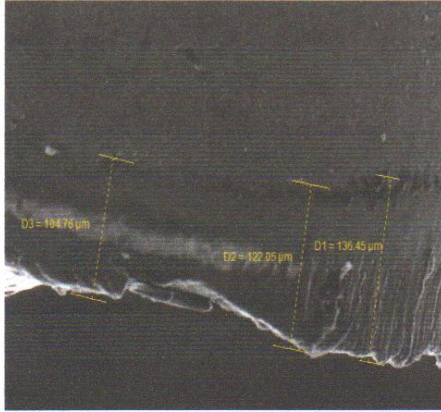

Experimento 7



VM	1.1	μm
VB	1.13	μm
VS	1.37	μm
Suma	3.6	μm
Promedio	1.2	μm

Observaciones:

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA																		
REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO																		
DATOS INFORMATIVOS																		
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama Teléfono: 0984346805																		
Tipo de estudio: Experimental Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato Fecha de Ejecución: 2019-10-01 Fecha de Finalización: 2019-10-14 Tipo de ensayo: Cuantitativo																		
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas															
Parámetros del Experimento																		
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado															
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]															
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10															
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)															
<b>Velocidad de Corte:</b>	200 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]															
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]															
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311															
Desgaste del Flanco (Material Duro)																		
Experimento 8																		
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>104.76</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>122.05</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>136.45</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>362.86</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>120.95</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	104.76	μm	VB	122.05	μm	VS	136.45	μm	Suma	362.86	μm	Promedio	120.95	μm
		VM	104.76	μm														
VB	122.05	μm																
VS	136.45	μm																
Suma	362.86	μm																
Promedio	120.95	μm																
<p>Observaciones:</p>																		



Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

**LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA**  
**REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO**

**DATOS INFORMATIVOS**

Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena  
 RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama  
 Teléfono: 0984346805  
 Tipo de estudio: Experimental  
 Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato  
 Fecha de Ejecución: 2019-10-01  
 Fecha de Finalización: 2019-10-14  
 Tipo de ensayo: Cuantitativo

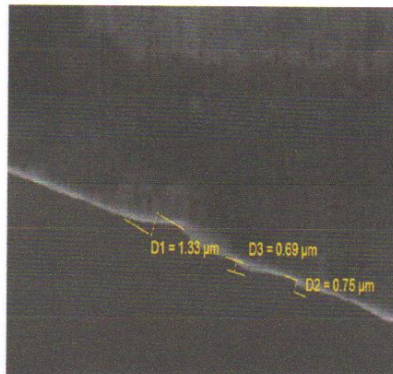
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas
-----------------------	------------------------	----------------------	-------------------------

**Parámetros del Experimento**

<b>Material:</b>	AA 7075 - T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311

Desgaste del Flanco (Material Duro)

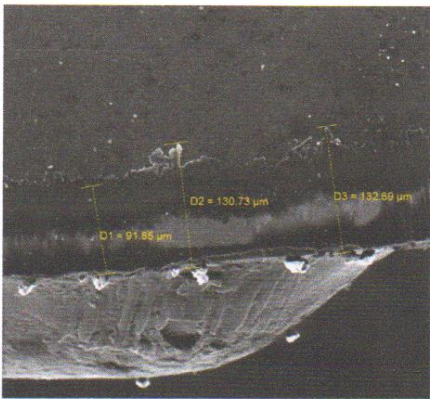
Experimento 9



VM	1.33	µm
VB	0.69	µm
VS	0.75	µm
Suma	2.77	µm
Promedio	0.92	µm

Observaciones:

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA																		
REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO																		
DATOS INFORMATIVOS																		
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama Teléfono: 0984346805																		
Tipo de estudio: Experimental Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato Fecha de Ejecución: 2019-10-01 Fecha de Finalización: 2019-10-14 Tipo de ensayo: Cuantitativo																		
Realizado por:	Ing. Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas															
Parámetros del Experimento																		
Material:	AA 7075 – T6	Tipo de Mecanizado:	Torneado / Cilindrado															
Diámetro en bruto:	60 [mm]	Longitud a mecanizar:	300 [mm]															
Portaherramientas:	SDJCR 2020 K11	Inserto:	DCGX 11T304-AL H10															
Recubrimiento de Inserto	PVD	Tipo de Refrigerante:	Aceite soluble / Agua (Taladrina)															
Velocidad de Corte:	400 [m/min]	Avance:	0.1 [mm/rev]															
Profundidad de Corte:	1.5 [mm]	Tiempo de Mecanizado:	5 [min]															
Norma de Evaluación	ISO 3685	Orden:	311															
Desgaste del Flanco (Material Duro)																		
Experimento 10																		
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>91.85</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>130.73</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>132.69</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>355.27</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>118.42</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	91.85	μm	VB	130.73	μm	VS	132.69	μm	Suma	355.27	μm	Promedio	118.42	μm
VM	91.85	μm																
VB	130.73	μm																
VS	132.69	μm																
Suma	355.27	μm																
Promedio	118.42	μm																
Observaciones:																		

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

**LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA**  
**REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO**

**DATOS INFORMATIVOS**

Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena  
 RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama  
 Teléfono: 0984346805

Tipo de estudio: Experimental  
 Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato  
 Fecha de Ejecución: 2019-10-01  
 Fecha de Finalización: 2019-10-14  
 Tipo de ensayo: Cuantitativo

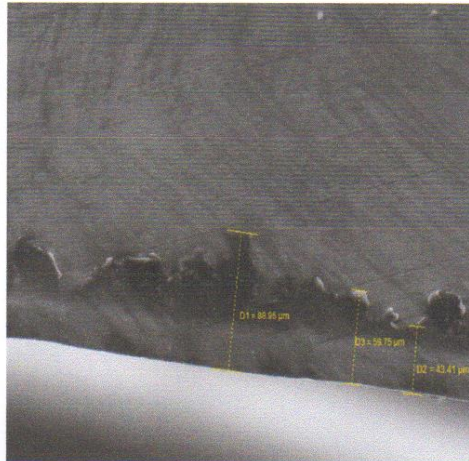
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas
-----------------------	------------------------	----------------------	-------------------------

**Parámetros del Experimento**

<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.1 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311

Desgaste del Flanco (Material Duro)

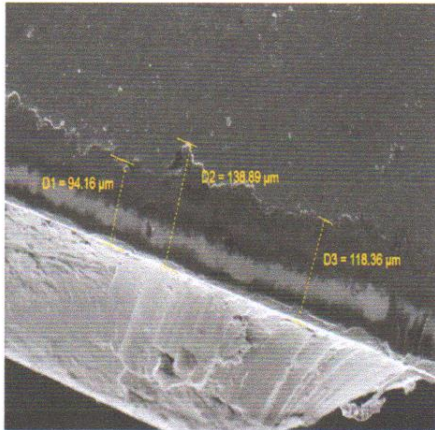
**Experimento 11**



VM	88.96	μm
VB	59.75	μm
VS	43.41	μm
Suma	192.12	μm
Promedio	64.04	μm

**Observaciones:**

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO			
DATOS INFORMATIVOS			
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena			
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama	
Teléfono: 0984346805			
Tipo de estudio: Experimental			
Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato			
Fecha de Ejecución: 2019-10-01			
Fecha de Finalización: 2019-10-14			
Tipo de ensayo: Cuantitativo			
Realizado por:	Ing. Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Parámetros del Experimento			
Material:	AA 7075 - T6	Tipo de Mecanizado:	Torneado / Cilindrado
Diámetro en bruto:	60 [mm]	Longitud a mecanizar:	300 [mm]
Portaherramientas:	SDJCR 2020 K11	Inserto:	DCGX 11T304-AL H10
Recubrimiento de Inserto	PVD	Tipo de Refrigerante:	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
Velocidad de Corte:	400 [m/min]	Avance:	0.1 [mm/rev]
Profundidad de Corte:	3 [mm]	Tiempo de Mecanizado:	5 [min]
Norma de Evaluación	ISO 3685	Orden:	311
Desgaste del Flanco (Material Duro)			
Experimento 12			
	VM	94.16	μm
	VB	138.89	μm
	VS	116	μm
	Suma	349.05	μm
	Promedio	116.35	μm
	Observaciones:		

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

**LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA**  
**REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO**

**DATOS INFORMATIVOS**

Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena  
 RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama  
 Teléfono: 0984346805  
 Tipo de estudio: Experimental  
 Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato  
 Fecha de Ejecución: 2019-10-01  
 Fecha de Finalización: 2019-10-14  
 Tipo de ensayo: Cuantitativo

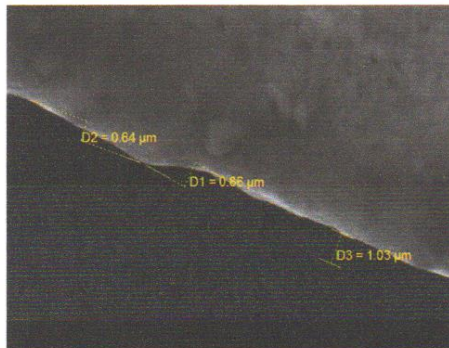
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas
-----------------------	------------------------	----------------------	-------------------------

**Parámetros del Experimento**

<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	1.5 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311

Desgaste del Flanco (Material Duro)

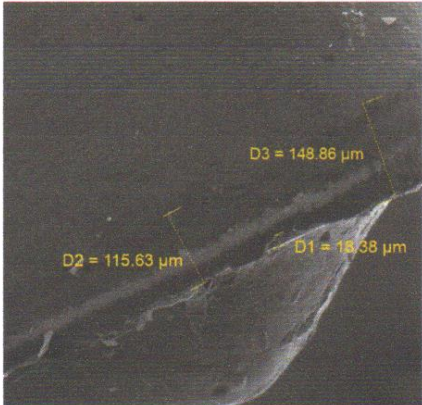
**Experimento 13**



VM	0.64	μm
VB	0.86	μm
VS	1.03	μm
Suma	2.63	μm
Promedio	0.84	μm

**Observaciones:**

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).

LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA																		
REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO																		
DATOS INFORMATIVOS																		
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena																		
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama																
Teléfono: 0984346805																		
Tipo de estudio: Experimental																		
Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato																		
Fecha de Ejecución: 2019-10-01																		
Fecha de Finalización: 2019-10-14																		
Tipo de ensayo: Cuantitativo																		
Realizado por:	Ing. Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas															
Parámetros del Experimento																		
Material:	AA 7075 – T6	Tipo de Mecanizado:	Torneado / Cilindrado															
Diámetro en bruto:	60 [mm]	Longitud a mecanizar:	300 [mm]															
Portaherramientas:	SDJCR 2020 K11	Inserto:	DCGX 11T304-AL H10															
Recubrimiento de Inserto	PVD	Tipo de Refrigerante:	Aceite soluble / Agua (Taladrina)															
Velocidad de Corte:	400 [m/min]	Avance:	0.3 [mm/rev]															
Profundidad de Corte:	1.5 [mm]	Tiempo de Mecanizado:	5 [min]															
Norma de Evaluación	ISO 3685	Orden:	311															
Desgaste del Flanco (Material Duro)																		
Experimento 14																		
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>115.83</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>18.38</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>148.86</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>283.07</td> <td>μm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>94.36</td> <td>μm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	115.83	μm	VB	18.38	μm	VS	148.86	μm	Suma	283.07	μm	Promedio	94.36	μm
VM	115.83	μm																
VB	18.38	μm																
VS	148.86	μm																
Suma	283.07	μm																
Promedio	94.36	μm																
Observaciones:																		

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO																		
DATOS INFORMATIVOS																		
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama Teléfono: 0984346805																		
Tipo de estudio: Experimental Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato Fecha de Ejecución: 2019-10-01 Fecha de Finalización: 2019-10-14 Tipo de ensayo: Cuantitativo																		
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas															
Parámetros del Experimento																		
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado															
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]															
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10															
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	CVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)															
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]															
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]															
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311															
Desgaste del Flanco (Material Duro)																		
Experimento 15																		
		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>VM</td> <td>4.5</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VB</td> <td>10.43</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>VS</td> <td>45.84</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>60.77</td> <td>µm</td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>20.25</td> <td>µm</td> </tr> </tbody> </table>		VM	4.5	µm	VB	10.43	µm	VS	45.84	µm	Suma	60.77	µm	Promedio	20.25	µm
VM	4.5	µm																
VB	10.43	µm																
VS	45.84	µm																
Suma	60.77	µm																
Promedio	20.25	µm																
<b>Observaciones:</b>																		

15/16

Anexo 5. Informes técnicos de desgaste de la herramienta de corte. (Continuación).



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA			
REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO			
DATOS INFORMATIVOS			
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramirez Gangotena		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama	
RUC/CI: 1717176356		Teléfono: 0984346805	
Tipo de estudio: Experimental			
Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato			
Fecha de Ejecución: 2019-10-01			
Fecha de Finalización: 2019-10-14			
Tipo de ensayo: Cuantitativo			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas
Parámetros del Experimento			
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	400 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.3 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	3 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311
Desgaste del Flanco (Material Duro)			
Experimento 16			
	VM	102.57	µm
	VB	119.49	µm
	VS	140.09	µm
	Suma	342.15	µm
	Promedio	120.72	µm
	Observaciones:		

Ing. Gustavo Pomaquero  
TÉCNICO LABORATORISTA

Ing. Sebastián Villegas  
JEFE DE LABORATORIO

Ing. Santiago Medina  
COORDINADOR DE CTT



Anexo 6. Valores de rugosidad obtenida en 16 experimentos en redes neuronales.

<b>Rugosidades obtenidas por medio de la herramienta <i>nntool</i></b>																
<b>Original</b>	0,5860	0,8240	0,7980	0,7910	11,0160	8,0570	8,7290	8,0000	0,7100	0,6640	0,7750	1,1050	10,7300	7,9430	9,4670	8,0070
<b>Exp1</b>	0,7711	0,6281	0,7360	0,6200	10,2396	8,2626	10,0712	7,8078	0,7467	0,6225	0,7161	0,6155	10,1298	7,9617	9,9402	7,4800
<b>Exp2</b>	0,7711	0,6281	0,7360	0,6200	10,2396	8,2626	10,0712	7,8078	0,7467	0,6225	0,7161	0,6155	10,1298	7,9617	9,9402	7,4800
<b>Exp3</b>	0,7711	0,6281	0,7360	0,6200	10,2396	8,2626	10,0712	7,8078	0,7467	0,6225	0,7161	0,6155	10,1298	7,9617	9,9402	7,4800
<b>Exp4</b>	0,7711	0,6281	0,7360	0,6200	10,2396	8,2626	10,0712	7,8078	0,7467	0,6225	0,7161	0,6155	10,1298	7,9617	9,9402	7,4800
<b>Exp5</b>	0,9402	0,6873	0,8615	0,6643	10,0588	8,2419	9,8084	7,6835	0,9633	0,6941	0,8796	0,6696	10,1143	8,3734	9,8767	7,8304
<b>Exp6</b>	0,7893	0,6482	0,7350	0,6314	10,0265	8,3263	9,7051	7,6497	0,7971	0,6506	0,7408	0,6332	10,0607	8,4030	9,7490	7,7375
<b>Exp7</b>	0,7772	0,6539	0,7349	0,6387	9,8835	8,3292	9,5996	7,7908	0,7700	0,6514	0,7292	0,6367	9,8433	8,2504	9,5509	7,7030
<b>Exp8</b>	0,8154	0,6789	0,7706	0,6605	9,6261	8,1175	9,3363	7,6310	0,8531	0,6944	0,8010	0,6730	9,8031	8,4318	9,5443	7,9767
<b>Exp9</b>	0,6678	0,9184	0,5936	0,6175	4,4418	7,9873	1,1196	2,4992	4,0468	7,6175	1,0413	2,2528	10,7405	10,9485	8,6392	10,3261
<b>Exp10</b>	0,8133	0,7114	0,8066	0,7077	9,0203	7,8637	8,9702	7,7957	0,8420	0,7274	0,8344	0,7232	9,2092	8,1247	9,1629	8,0600
<b>Exp11</b>	2,0317	0,7998	0,9358	0,6329	10,8580	9,9124	10,3214	7,3205	1,7868	0,7595	0,8707	0,6239	10,8212	9,6844	10,1702	6,7992
<b>Exp12</b>	0,8772	0,6827	0,8073	0,6591	10,0203	8,4636	9,7364	7,8831	0,8638	0,6781	0,7970	0,6557	9,9758	8,3690	9,6809	7,7758
<b>Exp13</b>	0,7300	0,6518	0,6822	0,6299	9,6297	8,3825	9,0617	7,5020	0,7898	0,6795	0,7224	0,6484	10,0023	9,0162	9,5624	8,2730
<b>Exp14</b>	0,6952	0,6197	0,6706	0,6121	10,0331	8,3727	9,7782	7,8324	0,6916	0,6186	0,6678	0,6112	10,0018	8,3037	9,7399	7,7552
<b>Exp15</b>	1,1599	0,7747	0,9653	0,7091	9,9086	8,1696	9,4004	7,1907	1,2597	0,8090	1,0327	0,7316	10,0664	8,5085	9,6197	7,5936
<b>Exp16</b>	0,7790	0,6613	0,7449	0,6479	9,6350	8,0591	9,3806	7,6232	0,8110	0,6740	0,7714	0,6583	9,8123	8,3797	9,5854	7,9718

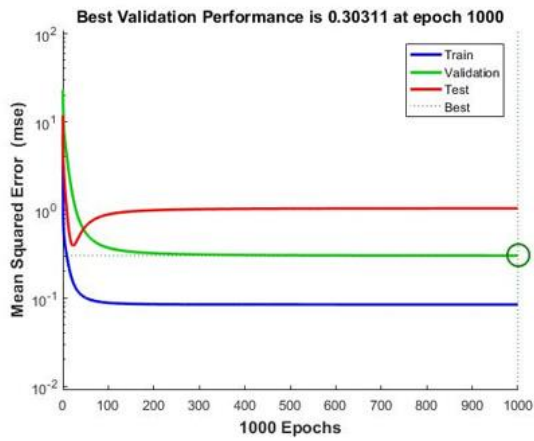
Fuente: Autor

Anexo 7. Valores de errores de rugosidad entre valores de Output y target.

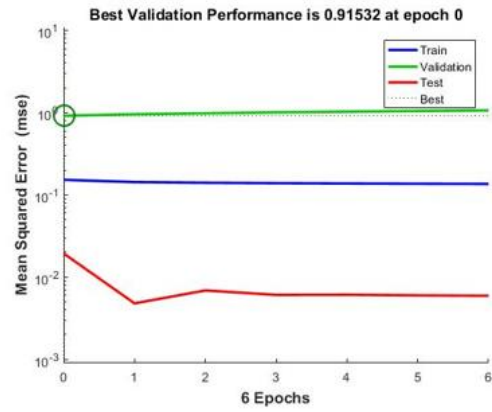
<b>Error de las rugosidades obtenidas por medio de la herramienta <i>nntool</i></b>																
<b>Original</b>	0,5860	0,8240	0,7980	0,7910	11,0160	8,0570	8,7290	8,0000	0,7100	0,6640	0,7750	1,1050	10,7300	7,9430	9,4670	8,0070
<b>errexp1</b>	-0,1851	0,1959	0,0620	0,1710	0,7764	-0,2056	-1,3422	0,1922	-0,0367	0,0415	0,0589	0,4895	0,6002	-0,0187	-0,4732	0,5270
<b>errexp2</b>	-0,1851	0,1959	0,0620	0,1710	0,7764	-0,2056	-1,3422	0,1922	-0,0367	0,0415	0,0589	0,4895	0,6002	-0,0187	-0,4732	0,5270
<b>errexp3</b>	-0,1851	0,1959	0,0620	0,1710	0,7764	-0,2056	-1,3422	0,1922	-0,0367	0,0415	0,0589	0,4895	0,6002	-0,0187	-0,4732	0,5270
<b>errexp4</b>	-0,1851	0,1959	0,0620	0,1710	0,7764	-0,2056	-1,3422	0,1922	-0,0367	0,0415	0,0589	0,4895	0,6002	-0,0187	-0,4732	0,5270
<b>errexp5</b>	-0,3542	0,1367	-0,0635	0,1267	0,9572	-0,1849	-1,0794	0,3165	-0,2533	-0,0301	-0,1046	0,4354	0,6157	-0,4304	-0,4097	0,1766
<b>errexp6</b>	-0,2033	0,1758	0,0630	0,1596	0,9895	-0,2693	-0,9761	0,3503	-0,0871	0,0134	0,0342	0,4718	0,6693	-0,4600	-0,2820	0,2695
<b>errexp7</b>	-0,1912	0,1701	0,0631	0,1523	1,1325	-0,2722	-0,8706	0,2092	-0,0600	0,0126	0,0458	0,4683	0,8867	-0,3074	-0,0839	0,3040
<b>errexp8</b>	-0,2294	0,1451	0,0274	0,1305	1,3899	-0,0605	-0,6073	0,3690	-0,1431	-0,0304	-0,0260	0,4320	0,9269	-0,4888	-0,0773	0,0303
<b>errexp9</b>	-0,0818	-0,0944	0,2044	0,1735	6,5742	0,0697	7,6094	5,5008	-3,3368	-6,9535	-0,2663	-1,1478	-0,0105	-3,0055	0,8278	-2,3191
<b>errexp10</b>	-0,2273	0,1126	-0,0086	0,0833	1,9957	0,1933	-0,2412	0,2043	-0,1320	-0,0634	-0,0594	0,3818	1,5208	-0,1817	0,3041	-0,0530
<b>errexp11</b>	-1,4457	0,0242	-0,1378	0,1582	0,1580	-1,8554	-1,5924	0,6795	-1,0768	-0,0955	-0,0957	0,4811	-0,0912	-1,7414	-0,7032	1,2078
<b>errexp12</b>	-0,2912	0,1413	-0,0093	0,1319	0,9957	-0,4066	-1,0074	0,1169	-0,1538	-0,0141	-0,0220	0,4493	0,7542	-0,4260	-0,2139	0,2312
<b>errexp13</b>	-0,1440	0,1722	0,1158	0,1611	1,3863	-0,3255	-0,3327	0,4980	-0,0798	-0,0155	0,0526	0,4566	0,7277	-1,0732	-0,0954	-0,2660
<b>errexp14</b>	-0,1092	0,2043	0,1274	0,1789	0,9829	-0,3157	-1,0492	0,1676	0,0184	0,0454	0,1073	0,4938	0,7282	-0,3607	-0,2729	0,2518
<b>errexp15</b>	-0,5739	0,0493	-0,1673	0,0819	1,1074	-0,1126	-0,6714	0,8093	-0,5497	-0,1450	-0,2577	0,3734	0,6636	-0,5655	-0,1527	0,4134
<b>errexp16</b>	-0,1930	0,1627	0,0531	0,1431	1,3810	-0,0021	-0,6516	0,3768	-0,1010	-0,0100	0,0036	0,4467	0,9177	-0,4367	-0,1184	0,0352

Fuente: Autor

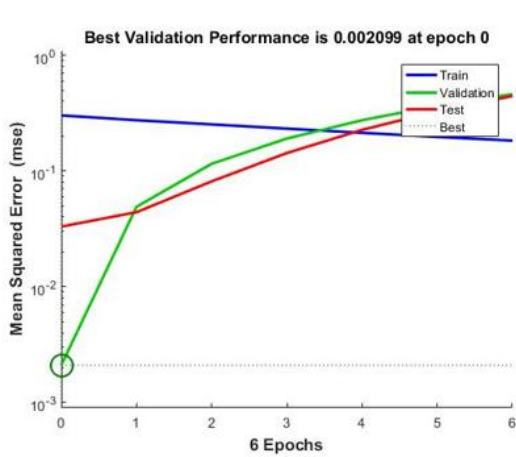
## Anexo 8. Entrenamiento de la neurona para la rugosidad superficial.



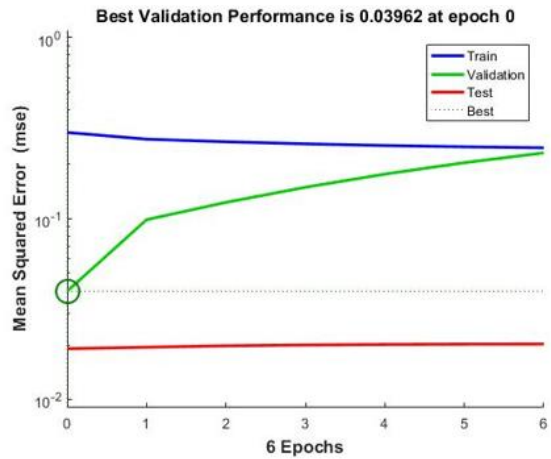
Aprendizaje de 1000 iteraciones en la iteración 1000 del experimento 1.



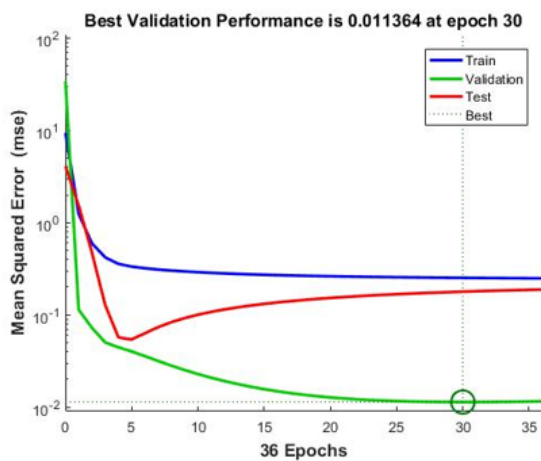
Aprendizaje de 6 iteraciones en la iteración 0 del experimento 2.



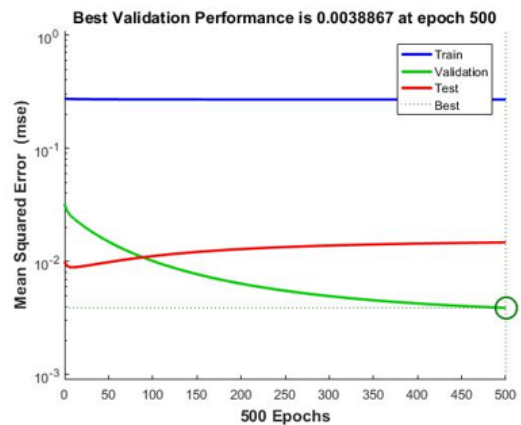
Aprendizaje de 6 iteraciones en la iteración 0 del experimento 3.



Aprendizaje de 6 iteraciones en la iteración 0 del experimento 4.

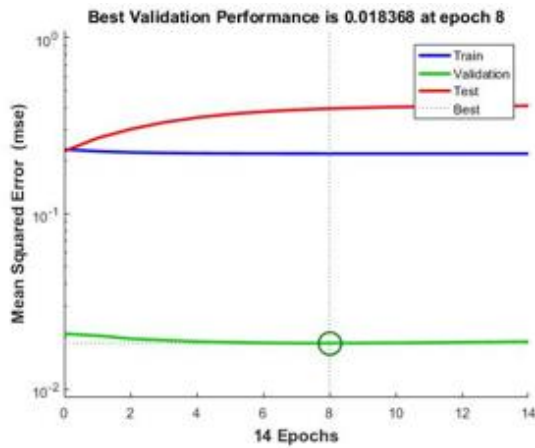


Aprendizaje de 36 iteraciones en la iteración 30 del experimento 5.

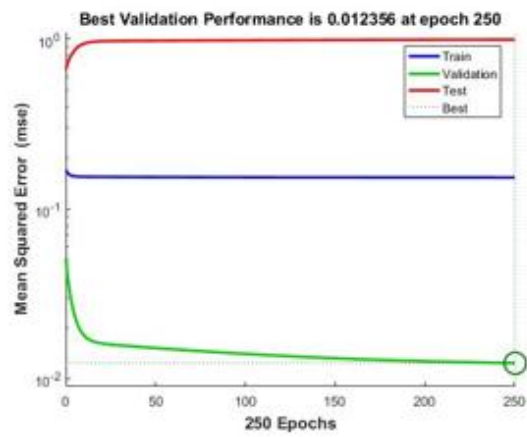


Aprendizaje de 500 iteraciones en la iteración 500 del experimento 6.

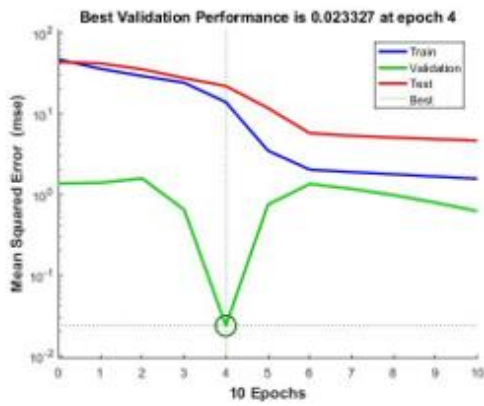
Anexo 8. Entrenamiento de la neurona para la rugosidad superficial. (Continuación).



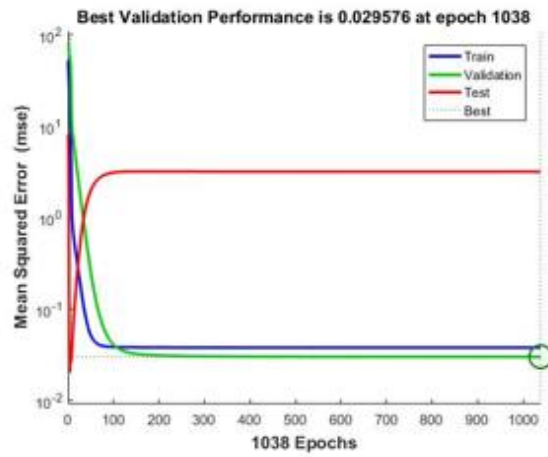
Aprendizaje de 14 iteraciones en la iteración 8 del experimento 7.



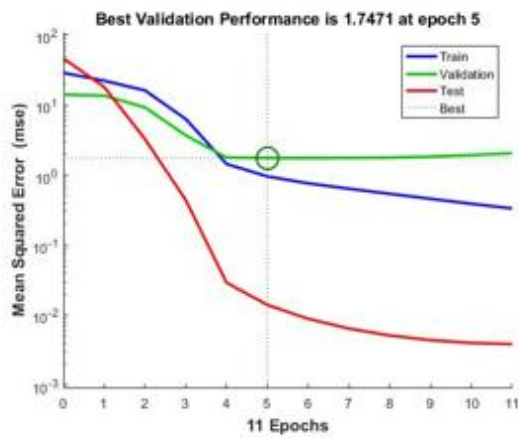
Aprendizaje de 250 iteraciones en la iteración 250 del experimento 8.



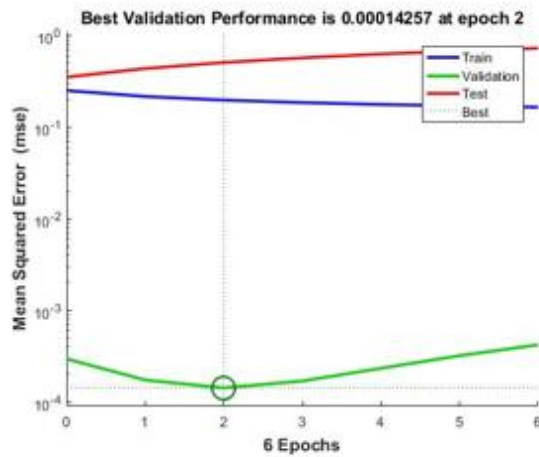
Aprendizaje de 10 iteraciones en la iteración 4 del experimento 9.



Aprendizaje de 1038 iteraciones en la iteración 1038 del experimento 10.

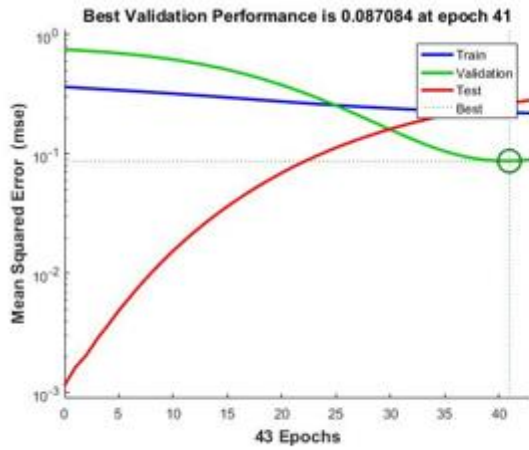


Aprendizaje de 11 iteraciones en la iteración 5 del experimento 11.

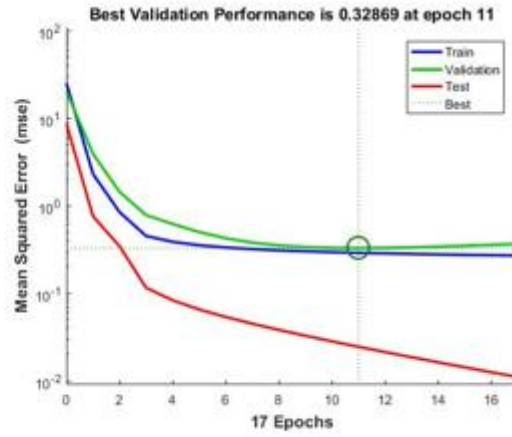


Aprendizaje de 6 iteraciones en la iteración 2 del experimento 12.

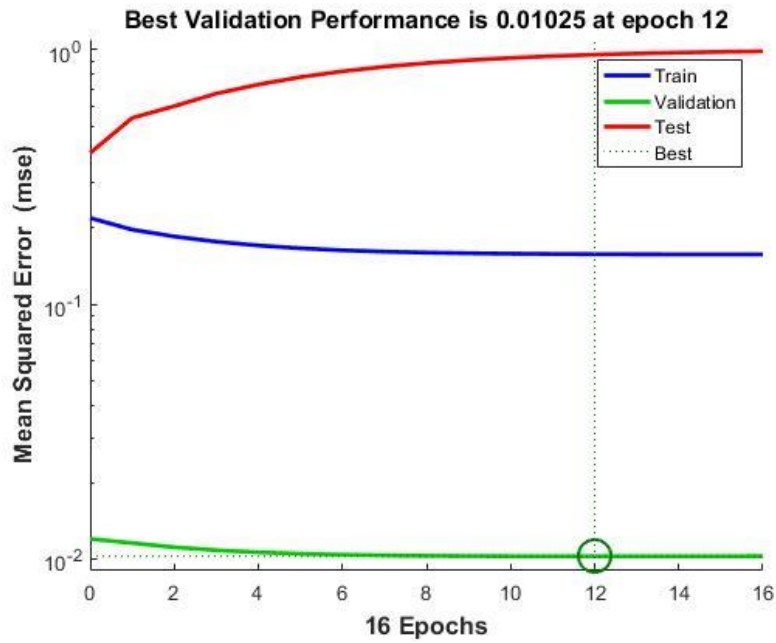
Anexo 8. Entrenamiento de la neurona para la rugosidad superficial. (Continuación).



Aprendizaje de 43 iteraciones en la iteración 41 del experimento 14.



Aprendizaje de 17 iteraciones en la iteración 11 del experimento 15.



Aprendizaje de 16 iteraciones en la iteración 12 del experimento 16.

Anexo 9. Desgaste en 16 experimentos por redes neuronales.

Desgastes obtenidos por medio de la herramienta <i>nnstart</i>																
<b>Original</b>	33,64	71,15	1,14	115,39	12,80	74,96	1,20	120,95	0,92	118,42	64,04	116,35	0,84	94,36	20,25	120,72
<b>Exp1</b>	8,56	100,07	26,47	114,88	3,73	76,56	11,50	105,44	19,19	112,04	50,82	118,56	8,14	99,04	25,31	114,53
<b>Exp2</b>	0,86	70,76	2,47	119,82	0,87	75,11	2,73	119,98	2,54	119,87	63,39	120,94	2,81	120,02	67,89	120,94
<b>Exp3</b>	0,85	71,28	2,74	120,47	0,84	25,49	1,19	118,37	1,58	119,71	63,54	120,94	0,98	114,46	20,77	120,91
<b>Exp4</b>	13,99	13,14	46,07	44,00	24,91	23,52	67,13	64,93	12,67	11,91	42,81	40,81	22,73	21,44	63,63	61,40
<b>Exp5</b>	33,30	71,42	1,14	115,41	12,92	75,27	1,42	111,22	1,40	118,68	63,31	117,10	20,43	67,59	20,09	153,55
<b>Exp6</b>	11,58	87,22	-4,29	126,86	12,92	17,09	8,58	116,32	2,46	116,88	63,43	114,75	1,66	94,07	2,81	120,80
<b>Exp7</b>	36,12	77,13	4,55	95,77	10,20	113,17	0,37	113,08	-3,92	118,17	51,47	129,78	-2,18	96,23	16,46	130,29
<b>Exp8</b>	21,01	92,01	-8,63	110,60	19,31	70,07	5,95	107,52	10,45	105,96	3,53	113,47	33,05	84,83	37,28	127,61
<b>Exp9</b>	33,64	71,15	1,14	115,39	12,80	74,96	1,20	120,95	63,72	71,79	64,04	116,35	33,40	94,36	78,91	128,85
<b>Exp10</b>	33,64	92,03	-43,24	115,39	12,80	102,87	1,20	120,95	0,92	134,91	64,04	116,35	0,84	94,36	-26,52	120,72
<b>Exp11</b>	33,64	71,15	1,14	115,39	12,80	74,96	1,20	120,95	0,92	118,42	64,04	116,35	0,84	94,36	17,17	106,24
<b>Exp12</b>	34,60	71,68	-2,51	113,78	12,45	78,53	0,21	18,08	1,47	118,11	56,88	113,34	1,09	95,18	100,34	120,16
<b>Exp13</b>	39,54	93,32	1,14	115,39	12,80	74,96	1,20	120,95	76,69	97,23	64,04	93,66	28,30	94,36	20,25	120,72
<b>Exp14</b>	28,51	71,15	1,14	124,30	29,16	74,96	36,19	120,95	0,92	118,42	64,04	116,35	0,84	94,36	12,34	110,59
<b>Exp15</b>	33,64	71,15	20,72	115,39	48,35	155,49	1,20	120,95	0,92	118,42	-16,61	116,35	0,84	94,36	20,25	120,72
<b>Exp16</b>	33,64	71,15	1,14	115,39	12,80	122,02	2,59	120,95	0,92	155,75	64,04	116,35	0,84	94,36	20,25	120,72

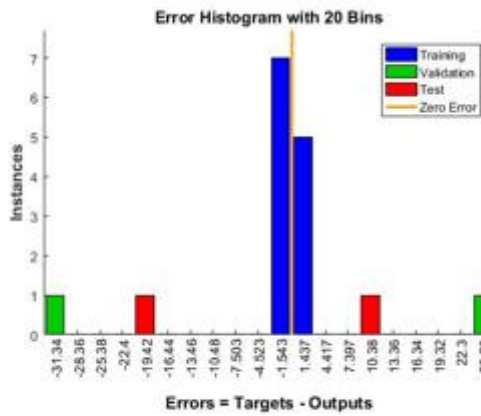
Fuente: Autor

Anexo 10. Errores de desgaste obteniendo mejor resultado que la función *nntoo*.

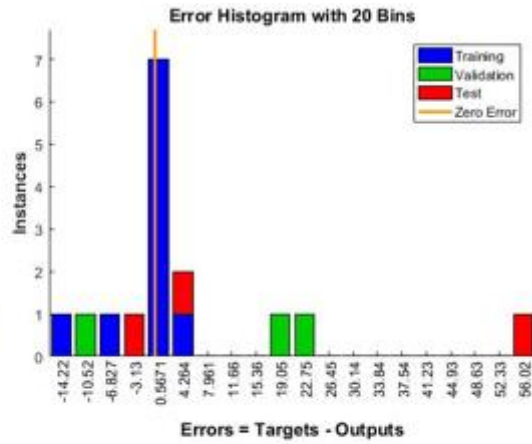
Errores de desgastes obtenidos por medio de la herramienta <i>nnstart</i>																
<b>Original</b>	33,64	71,15	1,14	115,39	12,80	74,96	1,20	120,95	0,92	118,42	64,04	116,35	0,84	94,36	20,25	120,72
<b>errex1</b>	25,08	-28,92	-25,33	0,52	9,07	-1,60	-10,30	15,51	-18,27	6,38	13,22	-2,21	-7,30	-4,68	-5,06	6,19
<b>errex2</b>	32,78	0,39	-1,33	-4,43	11,93	-0,15	-1,53	0,97	-1,62	-1,45	0,65	-4,59	-1,97	-25,66	-47,64	-0,22
<b>errex3</b>	32,79	-0,13	-1,60	-5,08	11,96	49,47	0,01	2,58	-0,66	-1,29	0,50	-4,59	-0,14	-20,10	-0,52	-0,19
<b>errex4</b>	19,65	58,01	-44,93	71,39	-12,11	51,44	-65,93	56,02	-11,75	106,51	21,23	75,54	-21,89	72,92	-43,38	59,32
<b>errex5</b>	0,34	-0,27	0,00	-0,01	-0,12	-0,31	-0,22	9,73	-0,48	-0,26	0,73	-0,75	-19,59	26,77	0,16	-32,83
<b>errex6</b>	22,06	-16,07	5,43	-11,47	-0,12	57,87	-7,38	4,63	-1,54	1,54	0,61	1,60	-0,82	0,29	17,44	-0,08
<b>errex7</b>	-2,48	-5,98	-3,41	19,62	2,60	-38,21	0,83	7,87	4,84	0,25	12,57	-13,43	3,02	-1,87	3,79	-9,57
<b>errex8</b>	12,63	-20,86	9,77	4,79	-6,51	4,89	-4,75	13,43	-9,53	12,46	60,51	2,88	-32,21	9,53	-17,03	-6,89
<b>errex9</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-62,80	46,63	0,00	0,00	-32,56	0,00	-58,66	-8,13
<b>errex10</b>	0,00	-20,88	44,38	0,00	0,00	-27,91	0,00	0,00	0,00	-16,49	0,00	0,00	0,00	0,00	46,77	0,00
<b>errex11</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08	14,48
<b>errex12</b>	-0,96	-0,53	3,65	1,61	0,35	-3,57	0,99	102,87	-0,55	0,31	7,16	3,01	-0,25	-0,82	-80,09	0,56
<b>errex13</b>	-5,90	-22,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-75,77	21,19	0,00	22,69	-27,46	0,00	0,00	0,00
<b>errex14</b>	5,13	0,00	0,00	-8,91	-16,36	0,00	-34,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,91	10,13
<b>errex15</b>	0,00	0,00	-19,58	0,00	-35,55	-80,53	0,00	0,00	0,00	0,00	80,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>errex16</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-47,06	-1,39	0,00	0,00	-37,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Autor

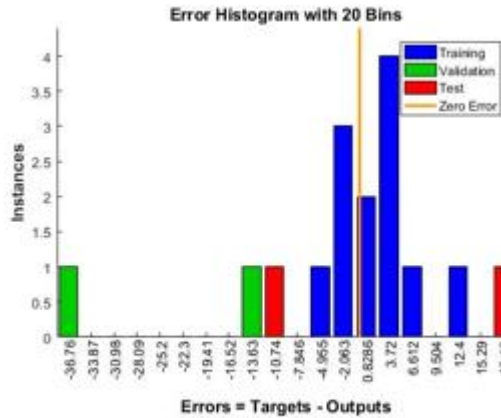
## Anexo 11. Errores del desgaste.



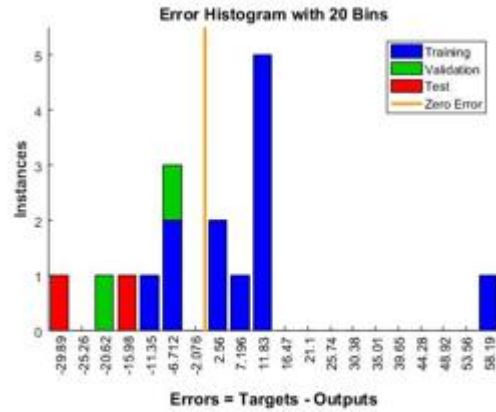
Error en el experimento 5.



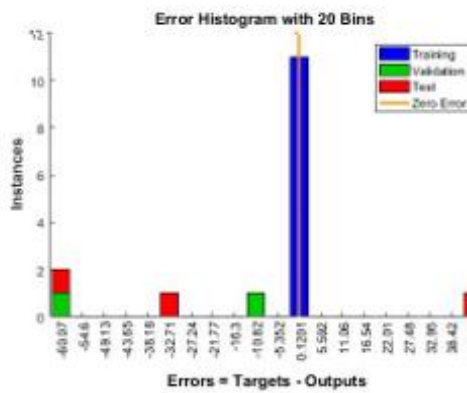
Error en el experimento 6.



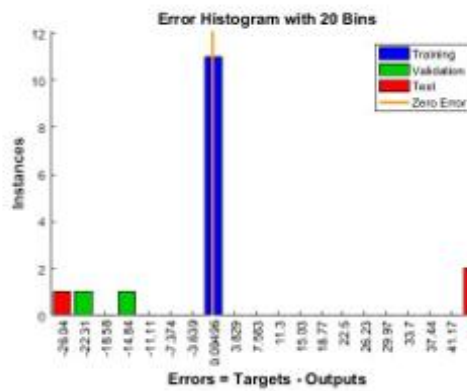
Error en el experimento 7.



Error en el experimento 8.



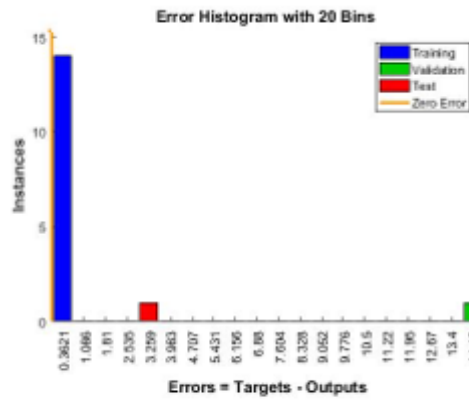
Error en el experimento 9.



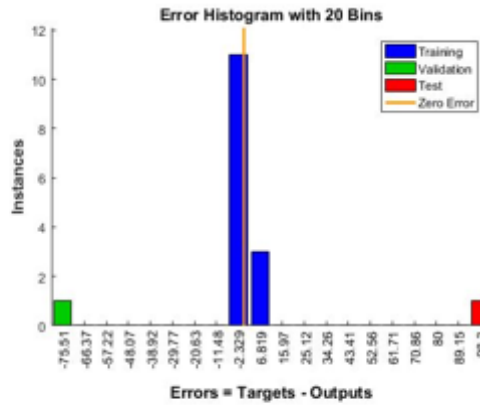
Error en el experimento 10.



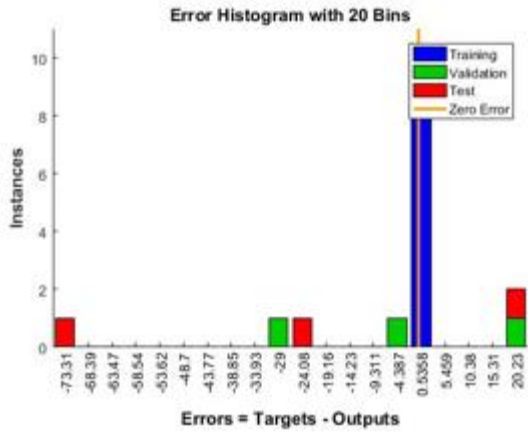
Anexo 11. Errores del desgaste. (Continuación).



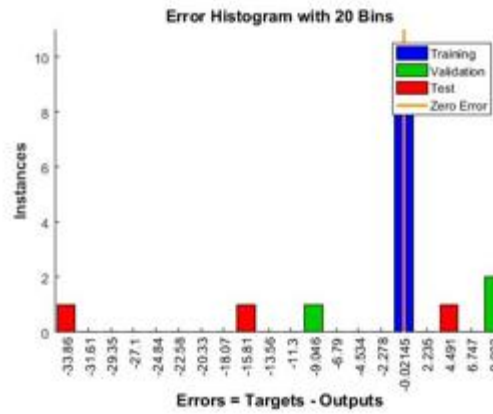
Error en el experimento 11.



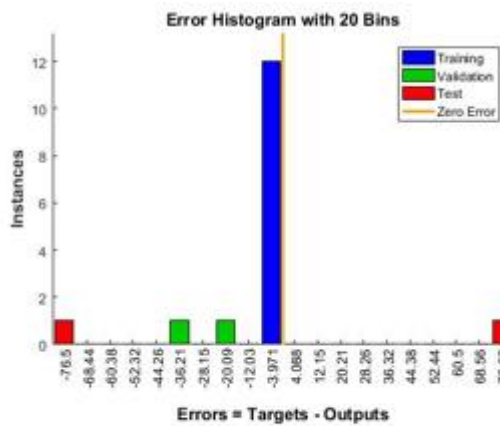
Error en el experimento 12.



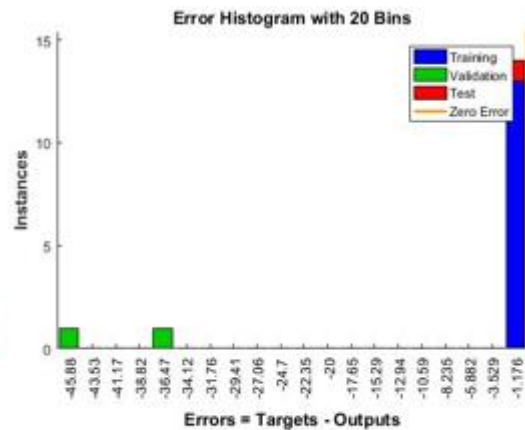
Error en el experimento 13.



Error en el experimento 14.

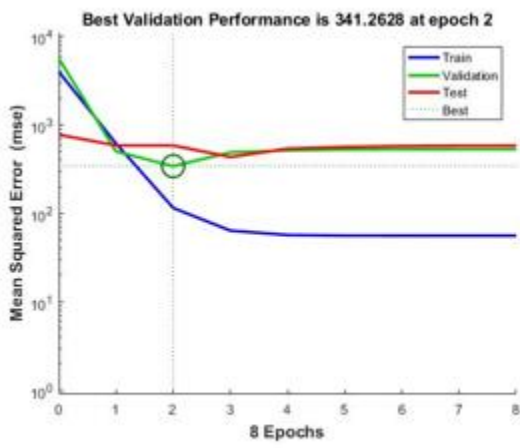


Error en el experimento 15.

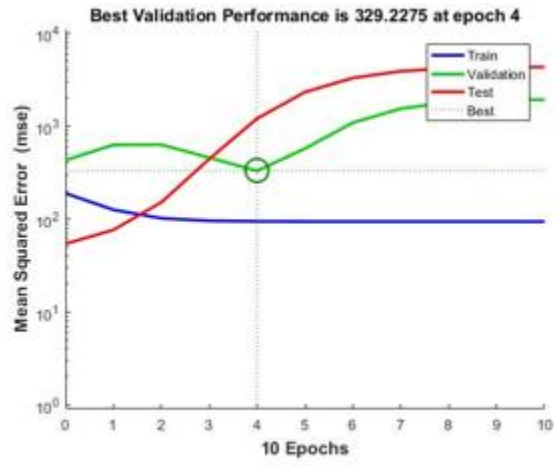


Error en el experimento 16.

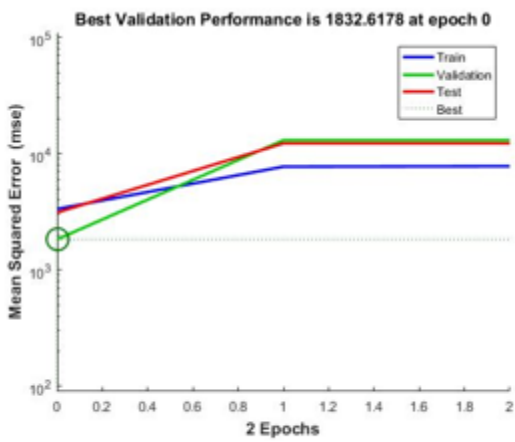
Anexo 12. Entrenamiento de la neurona para el desgaste.



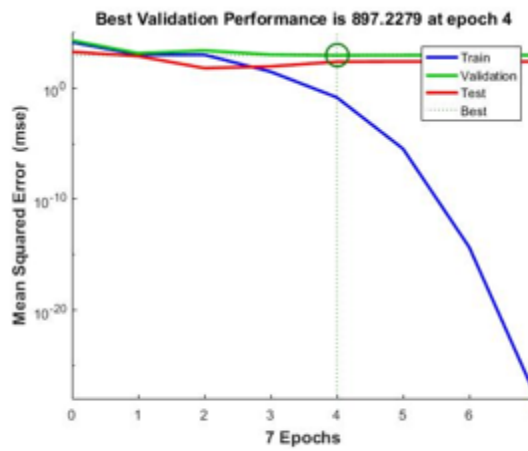
Aprendizaje de 8 iteraciones en la iteración 2 del experimento 1.



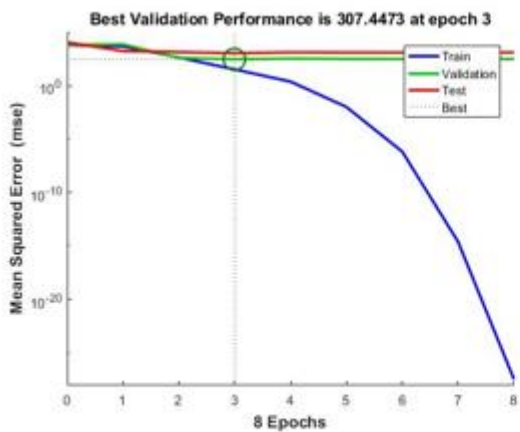
Aprendizaje de 10 iteraciones en la iteración 4 del experimento 2.



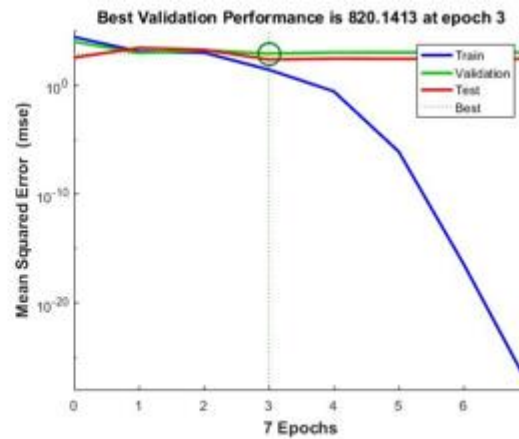
Aprendizaje de 2 iteraciones en la iteración 0 del experimento 4.



Aprendizaje de 7 iteraciones en la iteración 4 del experimento 5.

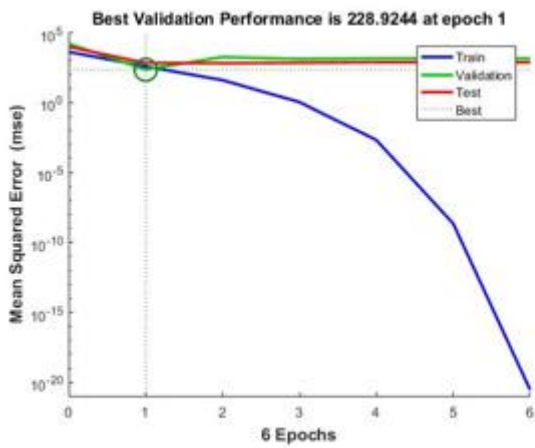


Aprendizaje de 8 iteraciones en la iteración 3 del experimento 6.

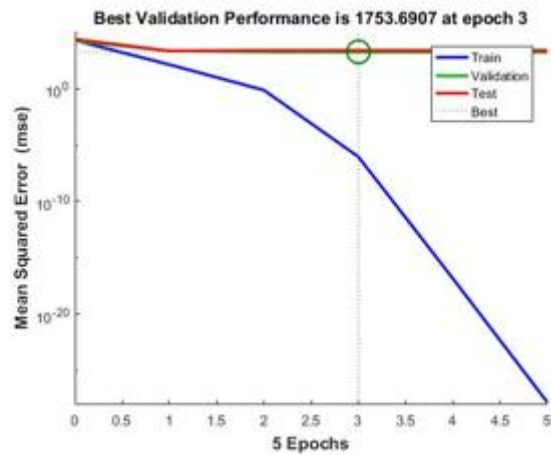


Aprendizaje de 7 iteraciones en la iteración 3 del experimento 7.

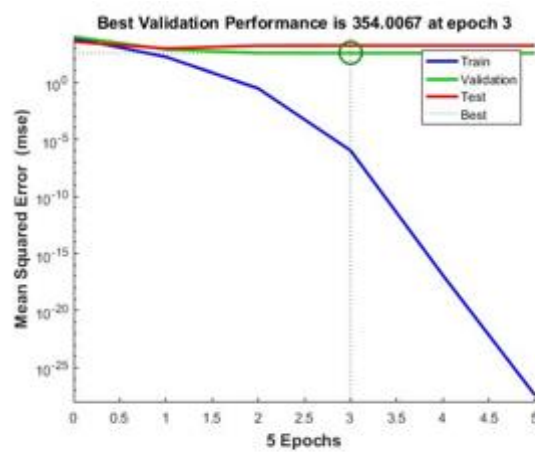
Anexo 12. Entrenamiento de la neurona para el desgaste. (Continuación).



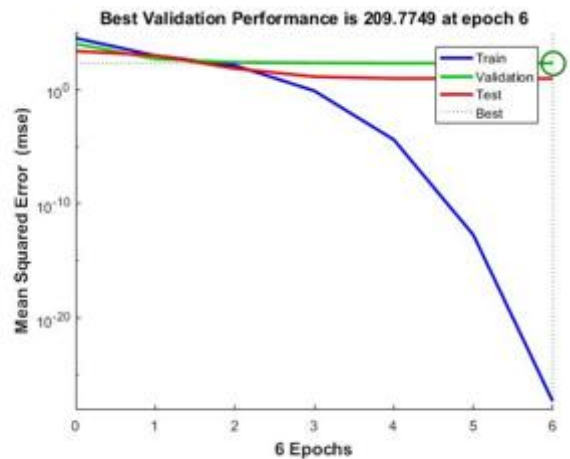
Aprendizaje de 6 iteraciones en la iteración 1 del experimento 8.



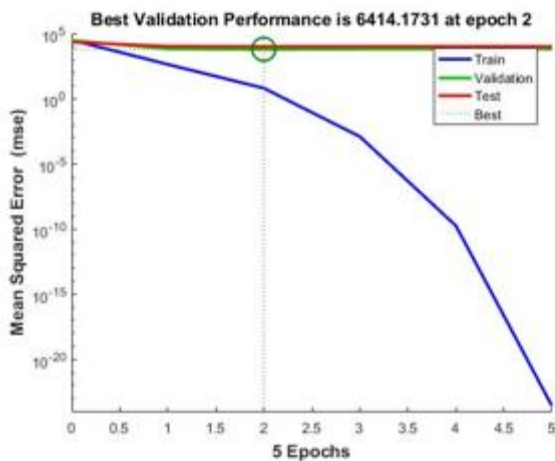
Aprendizaje de 5 iteraciones en la iteración 3 del experimento 9.



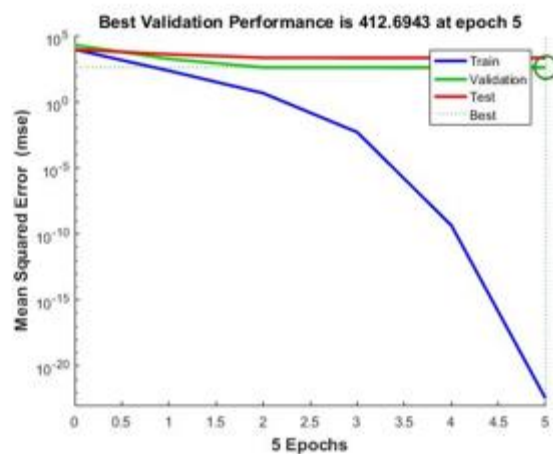
Aprendizaje de 5 iteraciones en la iteración 3 del experimento 10.



Aprendizaje de 6 iteraciones en la iteración 6 del experimento 11.

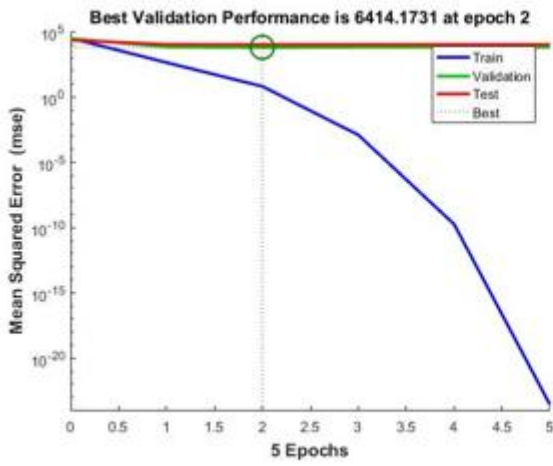


Aprendizaje de 5 iteraciones en la iteración 2 del experimento 12.

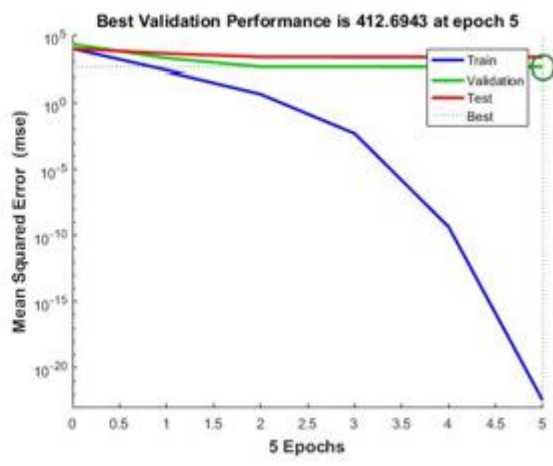


Aprendizaje de 5 iteraciones en la iteración 5 del experimento 13.

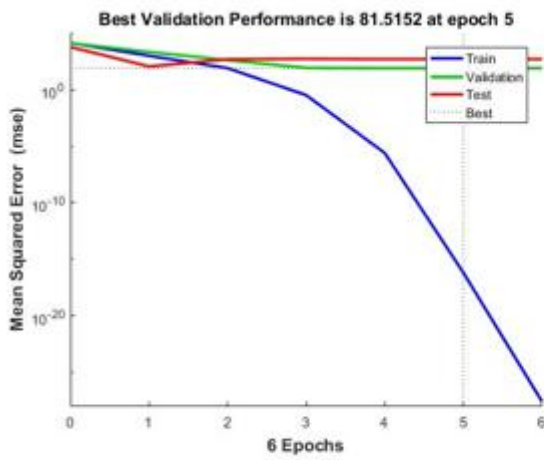
Anexo 12. Entrenamiento de la neurona para el desgaste. (Continuación).



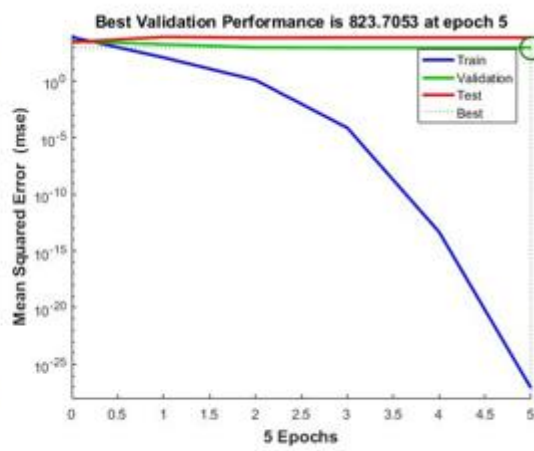
Aprendizaje de 5 iteraciones en la iteración 2 del experimento 12.



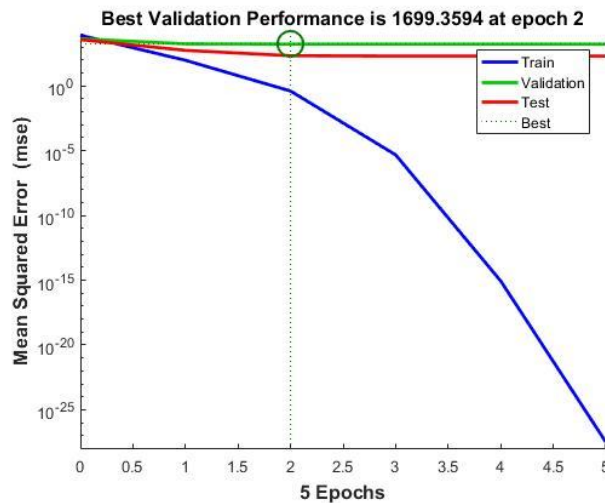
Aprendizaje de 5 iteraciones en la iteración 5 del experimento 13.



Aprendizaje de 6 iteraciones en la iteración 5 del experimento 14.



Aprendizaje de 5 iteraciones en la iteración 5 del experimento 15.



Aprendizaje de 5 iteraciones en la iteración 2 del experimento 16.

Anexo 13. Informe técnico validación de rugosidad superficial.

<b>LABORATORIO DE METROLOGÍA</b>											
<b>REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL</b>											
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>											
Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena											
RUC/CI: 1717176356		Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama									
Teléfono: 0984346805											
Tipo de estudio: Experimental											
Lugar de Ejecución: Laboratorio de Metrología											
Fecha de Ejecución: 2019-12-16											
Fecha de Finalización: 2019-12-16											
Tipo de ensayo: Cuantitativo											
<b>Realizado por:</b>	Ing. Esteban Ramírez	<b>Revisado por:</b>	Ing. Vinicio Coque M.Sc.								
<b>Parámetros del Experimento</b>											
<b>Material:</b>	AA 7075 – T6	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado								
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm]	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]								
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto: Marca-Código</b>	ZCC CT - YD101								
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)								
<b>Velocidad de Corte:</b>	300 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.15 [mm/rev]								
<b>Profundidad de Corte:</b>	2 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]								
<b>Parámetros de medición del rugosímetro MITUTOYO SJ-210</b>											
<b>Norma</b>	$\lambda_c$	$\lambda_s$	<b>Mediciones</b>								
ISO 1997	0.8 $\mu$ m	2.5 mm	X10								
Experimento 1											
<b>Registro de Mediciones de Rugosidad Superficial Ra</b>											
<b>Medidas [<math>\mu</math>m]</b>											
<b>PROBETA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>Promedio</b>
Validación	2,682	2,329	2,363	2,424	2,165	2,459	2,502	2,476	2,213	2,776	<b>2,4389</b>
<b>Observaciones:</b> La fabricación de las probetas y su configuración están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.											

Elaborado por

Ing. Esteban Ramírez

Analista Técnico Laboratorio de Metrología



Aprobado por

Ing. Vinicio Coque MSc.

Coordinador Laboratorio de Metrología

1/1

Anexo 14. Informe técnico validación de desgaste de herramienta.

**LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA**  
**REPORTE DE MEDICIÓN DE DESGASTE DEL FLANCO**

**DATOS INFORMATIVOS**

Usuario: Ing. Leonidas Esteban Ramírez Gangotena  
 RUC/CI: 1717176356 Dirección: Pasaje Mirador E8-86 y Jama  
 Teléfono: 0984346805  
 Tipo de estudio: Experimental  
 Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato  
 Fecha de Ejecución: 2019-12-17  
 Fecha de Finalización: 2019-12-17  
 Tipo de ensayo: Cuantitativo

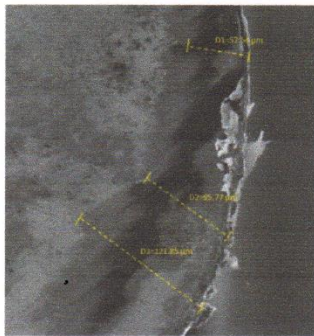
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero.	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas.
-----------------------	-------------------------	----------------------	--------------------------

**Parámetros del Experimento**

<b>Material:</b>	AA 7075 - T6.	<b>Tipo de Mecanizado:</b>	Torneado / Cilindrado
<b>Diámetro en bruto:</b>	60 [mm].	<b>Longitud a mecanizar:</b>	300 [mm]
<b>Portaherramientas:</b>	SDJCR 2020 K11	<b>Inserto:</b>	DCGX 11T304-AL H10
<b>Recubrimiento de Inserto</b>	PVD	<b>Tipo de Refrigerante:</b>	Aceite soluble / Agua (Taladrina)
<b>Velocidad de Corte:</b>	300 [m/min]	<b>Avance:</b>	0.15 [mm/rev]
<b>Profundidad de Corte:</b>	2 [mm]	<b>Tiempo de Mecanizado:</b>	5 [min]
<b>Norma de Evaluación</b>	ISO 3685	<b>Orden:</b>	311

**Desgaste del Flanco (Material Duro)**

Experimento Validación



VM	57.54	μm
VB	95.77	μm
VS	121.85	μm
Suma	275.16	μm
Promedio	91.72	μm

**Observaciones:**

