CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 Conclusiones.

El presente trabajo presenta las características de los controles de nueva generación y los que hoy dominan el ámbito industrial y de taller, especialmente en México. Dichas diferencias marcan la pauta para que, una vez establecida la comparación, se establezcan objetivos de desempeño alcanzables para aquellos industriales poseedores de maquinaria no moderna.

El desarrollo de nuevas tecnologías, criterios de evaluación y complejidad de productos obligan a replantear el análisis del proceso de maquinado en forma integral. El estudio de la maquinabilidad aquí propuesto contempla algo más que las propiedades de maquinado de un material bajo un análisis ortogonal simple.

Se observó el proceso de corte de un aluminio comercial 6063, un acero 1018 y un acero 4140 recocido y estirado en frío bajo condiciones particulares y su influencia en los parámetros del proceso de maquinado como mejora del análisis convencional del proceso de maquinado.

Se ha demostrado que bajo condiciones de maquinado moderadas es posible determinar una relación proporcional a la temperatura y rugosidad en función del avance y velocidad de giro. El presente trabajo no considera experimentos exhaustivos que permitan relacionar completamente la morfología con la situación de corte ni las propiedades del material.

La interpretación del proceso de maquinado bajo el criterio establecido permite concluir que la temperatura generada durante el mismo permite evaluar condiciones

determinantes del proceso. Esto significa que la temperatura tiende a alcanzar un estado de estabilidad propio de la situación de maquinado, pero también que existe una proporcionalidad con respecto a la velocidad de avance.

Se estableció una relación entre la temperatura generada durante el proceso y la rugosidad superficial, para que de esta manera inferir mejores situaciones de maquinado.

En conclusión las condiciones óptimas de maquinado para el aluminio 6063 según el estudio realizado son: avance F50 mm/min y velocidad de giro S800 RPM porque se obtiene una menor temperatura y una mejor rugosidad comparado con los otros valores de avance y velocidad de giro.

De acuerdo con este estudio las condiciones de corte óptimas para el Acero 1018 son: avance F50 mm/min y velocidad de giro S800 RPM ya que se encontraron mejores valores de temperatura y rugosidad, que en los otros parámetros.

En base al estudio realizado se puede deducir que las condiciones adecuadas de maquinado para el acero 4140 son: avance F60 mm/min y velocidad de giro de S1000 RPM debido a una temperatura menor y mejor calidad superficial con respecto a los otros parámetros de avance y velocidad de giro.

8.2 Recomendaciones.

La experimentación fue realizada bajo condiciones específicas de velocidad de avance y velocidad de giro, y aunque los resultados arrojados en el desarrollo de las mediciones proporcionen una visión general del comportamiento de la temperatura y la rugosidad, esto no significa que siempre se presente el mismo comportamiento. Para esto se sugiere la realización posterior de experimentos, en los que se varíen más parámetros involucrados, como el tipo de herramienta, de maquinado, y lubricante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Procesos de Manufactura, versión SI, de B. H. Amstead. P Ostwald y M. Begeman. Editorial Continental. pp. 520 a 541

2. www.ing.puc.cl/icmcursos/procesos/apuntes/cap3

3. Fundamentos de Manufactura Moderna de Mikell P. Groover. Editorial Prentice Hall. pp. 544

4. Fundamentos de Manufactura Moderna de Mikell P. Groover. Editorial Prentice Hall. pp. 551

5. Materials and Processes in Manufacturing 7th ed. de DeGarmo, E. P., Black,J.T., and Kohser, R.A., Editorial Macmillan Publishing Co., New York 1988

6. Fundamentals of Metal Machining an Machine Tools of Boothroyd, G., and Knight, W. A., Editorial Marcek Dekker Inc. New York 1989

7. Tool Wear and Tool Life of Cook, N. Editorial J. Engrg. For Industry, Vol. 95 November 1973 pp 931-938

8. On the Analysis of Cutting Tool Temperatures of Loewen, E.G. and Shaw, M.C. ASME Transactions, Vol, 76 No. 2 February 1954 pp 217-225

9. An Analytical Evaluation of Metal Cutting Temperatures of Tigger, K. J., and Chao, B. T., Editorial ASME Transactions, Vol 73, No. 1 January 1951. pp 57-68

10. Tool-Chip Interface Temperatures of Tigger, K. J. ASME Transactions, Vol. 71, No.2, February 1949

11. Superabrasives: Grinding and Machining with CBN and Diamond, Krar, S. F. and Ratterman, E. Mc Graw Hill, Inc ., New York, 1990

12. The History if Tools. Liebhold, P. Cutting Tool Engineer, June 1989. pp 137-138

13. Machining Data Handbook 3rd ed, Vol. I and II. Metalcut Research Associates, Inc., Cincinnati, Ohio, 1980

14. www.ing.puc.cl/icmcursos/procesos/apuntes/cap2

15. Tool and Manufacturing Engineers Handbook, 4th ed. Drozda, T.J., and Wick, C. Society of Manufacturing Engineers, Dearborn Mich., 1983

16. Short History of Machine Tools. M.I.T. Press, Cambrige, Mass, 1965

17. History of Machine Tools. Steeds, W., A. Oxford University Press, London 1969

18. www.campus.fortunecity.com/duquensne/623/home/m.htlm

19. CNC Programming Handbook. Meter Smid. Industrial Press, Inc

20. Procesos básicos de manufactura, de H. C. Kazanas, genn E. Backer, Thomas Gregor. Editorial Mc Graw Hill. pp 195 – 203

21. Principios de Ingeniería de Manufactura, de Stewart C. Black, Vic Chiles editorial. de la Compañía Editorial Mexicana pp 102 - 177 y 226 – 260

22. Metrología Dimensional. Ramón Zeleny Vázquez y Carlos González González. Mc. Graw Hill. pp 156

23. Metrología Dimensional. Ramón Zeleny Vázquez y Carlos González González. Mc. Graw Hill. pp 160

24. Metrología Dimensional. Ramón Seleny Vázquez y Carlos González González., McGraw-Hill. pp. 436

25. Metrología Dimensional. Ramón Seleny Vázquez y Carlos González González., McGraw-Hill. pp 438

26. Techincal data RTW catalogo 448860

LISTADO DE FIGURAS

FIGURAS **PÁGINAS**

Figura 2.1 Rangos de velocidades de corte en función del material 4
Figura 2.2 Maquinado de contorno CNC 5
Figura 2.3 Maquinado de cara CNC 5
Figura 2.4 (a) Proceso de Torneado, (b) Herramienta de corte 7
Figura 2.5 Los tres procesos más comunes de maquinado 7
Figura 2.6 (a) Herramienta de punta sencilla, (b) Herramienta de múltiples filos cortantes 9
Figura 2.7 Condiciones de corte en el proceso de torneado 10
Figura 2.8 Corte Ortogonal: (a) Como un proceso tridimensional y (b) dos dimensiones en una vista lateral 13
Figura 2.9 Deformación cortante 14
Figura 2.10 Forma de la viruta 15
Figura 2.11 Tres tipos de formación de viruta en el corte de metales (a) discontinua, (b) continua y (c) continua con acumulación en el borde 16
Figura 2.12 Temperatura contra velocidad de corte para varios materiales de trabajo 18
Figura 3.1 Falla por fractura en las herramientas de corte 19
Figura 3.2 Falla por temperatura en una herramienta de corte 20
Figura 3.3 Falla por gradual de flanco (izquierdo) y de cráter (derecho) 20
Figura 3.4 Desgaste de la herramienta 21
Figura 3.5 Relación general de desgaste de la herramienta contra el tiempo de corte 27
Figura 3.6 Curvas de desgaste de la herramienta para varias velocidades de corte 28
Figura 3.7 Vida de la herramienta 29
Figura 3.8 Operaciones de mandrinado 34
Figura 3.9 Partes típicas hechas por mandrinado 34
Figura 3.10 Sierra cinta típica 35
Figura 3.11 Sierra de brazo superior 35
Figura 3.12 Sierra de corte 36
Figura 3.13 Cortador Sierra 36
Figura 3.14 a) Terminología para dientes de sierra, b) tipos de dientes de sierra, en "zig zag" para dar holgura y evitar dobladuras 37
Figura 3.15 Cortadores de fresadora 38
Figura 3.16 Herramientas de fresado 39

Figura 3.17 Clasificación del fresado según la posición de la herramienta 40
Figura 3.18 Fresado con rotación a favor del avance 41
Figura 3.19 Fresado con rotación en contra del avance 41
Figura 3.20 Operaciones del fresado horizontal 42
Figura 3.21 Fresado horizontal 43
Figura 3.22 Desplazamiento de la herramienta 45
Figura 3.23 Desplazamiento de la herramienta 46
Figura 3.24 Proceso de la pieza al fresar 47
Figura 3.25 Ángulos de corte en los filos de la fresadora 47
Figura 3.26 Ángulos de corte y paso entre dientes para trabajo de diferentes materiales 49
Figura 3.27 Disposición de los filos 49
Figura 3.28 Dirección del corte y dirección del filo 50
Figura 3.29 Fresas cilíndricas y fresas frontales cilíndricas 50
Figura 3.30 Las fresas en forma de disco se utilizan para fresar entalladuras estrechas 51
Figura 3.31 Fresa con vástago 51
Figura 3.32 Fresas de forma 52
Figura 3.33 Plato de cuchillas 52
Figura 3.34 Forma de los filos en una fresa con despulla 53
Figura 3.35 Fresa de forma con despulla 53
Figura 3.36 Fresa compuesta, formada a base de una fresa de disco de dientes cruzados, de una fresa cilíndrica y de una fresa de forma de despulla 53
Figura 3.37 Fresa compuesta formada por dos fresas de disco, una fresa cilíndrica con hélice a la izquierda y otra con hélice a la derecha, para neutralizar el empuje axial 54
Figura 4.1 Fresado vertical indicando el ancho de la herramienta 60
Figura 4.2 Dos tipos básicos de la operación de fresado 63
Figura 4.3 Fresado periférico 63
Figura 4.4 Dos formas de fresado con una fresa de 20 dientes 64
Figura 4.5 Operaciones de fresado 65
Figura 4.6 Elementos de la geometría de una fresa plana de 18 dientes 66
Figura 4.7 Elementos de la geometría de una fresa frontal de 4 dientes 66
Figura 4.8 Cortador para acabado o fresa terminal 67
Figura 4.9 Fresado de una plancha 68
Figura 4.10 Fresa centrada sobre la pieza de trabajo 69
Figura 4.11 Fresadora sobresaliente a uno de los lados de la pieza de trabajo 69
Figura 4.12 Centro de maquinado de control numérico EMCO PC MILL 125 70
Figura 4.13 Ejemplos de piezas de trabajo en máquinas-herramientas CNC 77
Figura 4.14 Clasificación de tipos de control para desplazamientos 77

Figura 4.15 Para mantener una velocidad constante de avance al fresar una curva, se necesita variar la velocidad del carro en X y Y, es decir, X a X_2; Y a Y_2 78
Figura 4.16 Ejemplos de señales de entrada y condiciones reales de respuesta 79
Figura 4.17 a)Tipos de sistemas de impulsión para desplazar carros de máquinas-herramientas, b) Ejemplos de métodos analógicos y digitales para obtener alimentación en la Posición del carro 80
Figura 4.18 Secciones de lazo abierto y cerrado para controles de carro de máquina-herramienta 80
Figura 4.19 Tiempo de ciclo de la pieza en relación con la velocidad de corte 85
Figura 4.20 Costo de la pieza en relación con la velocidad de corte 86
Figura 5.1 Rangos de rugosidad superficial que pueden obtenerse mediante métodos comunes de producción 88
Figura 5.2 Lamina con diferentes acabados superficiales 88
Figura 5.3 Longitud que recorre el palpador durante la medición 89
Figura 5.4 Ilustra la superficie de una pieza en la que se observan marcas originadas por el maquinado, también se muestra la amplificación de la superficie donde se observan las irregularidades más claramente 90
Figura 5.5 Curva P (perfil de rugosidad sin filtrar) 91
Figura 5.6 Curva R (perfil de rugosidad) 91
Figura 5.7 Muestra la línea media 92
Figura 5.8 Forma en la que se mide la rugosidad Ra 93
Figura 5.9 Picos y valles medidos de acuerdo a las normas JIS e ISO 94
Figura 5.10 Muestra la manera de calcular Rz de acuerdo con la norma DIN 94
Figura 5.11 Muestra la manera de calcular Ry 95
Figura 5.12 Muestra el símbolo básico de rugosidad con las definiciones de cada parámetro 98
Figura 5.13 Símbolo de rugosidad mas comúnmente utilizado 98
Figura 6.1 Termómetro infrarrojo RAYMX4PE 100
Figura 6.2 Rugosímetro Mitutoyo SJ-301 100
Figura 6.3 Herramientas usadas para el maquinado 101
Figura 6.4 Centro de maquinado EMCO PC MILL 125 101
Figura 6.5 Acero 1018 102
Figura 6.6 Aluminio 6063 102
Figura 6.7 Acero 4041 Recocido y Estirado en Frío 102
Figura 6.8 Ensamble del pirómetro en la máquina 102
Figura 6.9 Rayo láser emitido por el pirómetro 104
Figura 6.10 Medición de la rugosidad en las piezas terminadas 104
Figura 7.1 Medición de la temperatura 105
Figura 7.2 Resultados de temperatura para un avance de 50 mm/min 106

Figura 7.3 Resultados de temperatura para un avance de 60 mm/min 106
Figura 7.4 Resultados de temperatura para un avance de 70 mm/min 107
Figura 7.5 Resultados de temperatura para un avance de 80 mm/min 107
Figura 7.6 Resultados de temperatura para un avance de 90 mm/min 108
Figura 7.7 Resultados de temperatura para un avance de 100 mm/min 108
Figura 7.8 Resultados de temperatura para un avance de 110 mm/min 109
Figura 7.9 Resultados de temperatura para un avance de 50 mm/min 109
Figura 7.10 Resultados de temperatura para un avance de 60 mm/min 110
Figura 7.11 Resultados de temperatura para un avance de 70 mm/min 110
Figura 7.12 Resultados de temperatura para un avance de 80 mm/min 111
Figura 7.13 Resultados de temperatura para un avance de 90 mm/min 111
Figura 7.14 Resultados de temperatura para un avance de 100 mm/min 112
Figura 7.15 Resultados de temperatura para un avance de 110 mm/min 112
Figura 7.16 Resultados de temperatura para un avance de 50 mm/min 113
Figura 7.17 Resultados de temperatura para un avance de 60 mm/min 113
Figura 7.18 Resultados de temperatura para un avance de 70 mm/min 114
Figura 7.19 Resultados de temperatura para un avance de 80 mm/min 114
Figura 7.20 Resultados de temperatura para un avance de 90 mm/min 115
Figura 7.21 Resultados de temperatura para un avance de 100 mm/min 115
Figura 7.22 Resultados de temperatura para un avance de 110 mm/min 116
Figura 7.23 Resultados de temperatura para un avance de 50 mm/min 116
Figura 7.24 Resultados de temperatura para un avance de 60 mm/min 117
Figura 7.25 Resultados de temperatura para un avance de 70 mm/min 117
Figura 7.26 Resultados de temperatura para un avance de 80 mm/min 118
Figura 7.27 Resultados de temperatura para un avance de 90 mm/min 118
Figura 7.28 Resultados de temperatura para un avance de 100 mm/min 119
Figura 7.29 Resultados de temperatura para un avance de 110 mm/min 119
Figura 7.30 Resultados de temperatura para un avance de 50 mm/min 120
Figura 7.31 Resultados de temperatura para un avance de 60 mm/min 120
Figura 7.32 Resultados de temperatura para un avance de 70 mm/min 121
Figura 7.33 Resultados de temperatura para un avance de 80 mm/min 121
Figura 7.34 Resultados de temperatura para un avance de 90 mm/min 122
Figura 7.35 Resultados de temperatura para un avance de 100 mm/min 122
Figura 7.36 Resultados de temperatura para un avance de 110 mm/min 123
Figura 7.37 Resultados de temperatura para un avance de 50 mm/min 123
Figura 7.38 Resultados de temperatura para un avance de 60 mm/min 124
Figura 7.39 Resultados de temperatura para un avance de 70 mm/min 124
Figura 7.40 Resultados de temperatura para un avance de 80 mm/min 125
Figura 7.41 Resultados de temperatura para un avance de 90 mm/min 125
Figura 7.42 Resultados de temperatura para un avance de 100 mm/min 126
Figura 7.43 Resultados de temperatura para un avance de 110 mm/min 126
Figura 7.44 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 50 mm/min 128

Figura 7.45 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 60 mm/min 128
Figura 7.46 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 70 mm/min 129
Figura 7.47 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 80 mm/min 129
Figura 7.48 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 90 mm/min 129
Figura 7.49 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 100 mm/min 129
Figura 7.50 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 110 mm/min 129
Figura 7.51 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 50 mm/min 130
Figura 7.52 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 60 mm/min 130
Figura 7.53 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 70 mm/min 130
Figura 7.54 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 80 mm/min 130
Figura 7.55 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 90 mm/min 130
Figura 7.56 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 100 mm/min 131
Figura 7.57 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 110 mm/min 131
Figura 7.58 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 50 mm/min 131
Figura 7.59 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 60 mm/min 131
Figura 7.60 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 70 mm/min 131
Figura 7.61 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 80 mm/min 132
Figura 7.62 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 90 mm/min 132
Figura 7.63 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 100 mm/min 132
Figura 7.64 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 110 mm/min 132
Figura 7.65 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 50 mm/min 132
Figura 7.66 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 60 mm/min 133

Figura 7.67 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 70 mm/min 133
Figura 7.68 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 80 mm/min 133
Figura 7.69 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 90 mm/min 133
Figura 7.70 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 100 mm/min 133
Figura 7.71 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 110 mm/min 134
Figura 7.72 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 50 mm/min 134
Figura 7.73 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 60 mm/min 134
Figura 7.74 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 70 mm/min 134
Figura 7.75 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 80 mm/min 134
Figura 7.76 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 90 mm/min 135
Figura 7.77 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 100 mm/min 135
Figura 7.78 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 110 mm/min 135
Figura 7.79 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 50 mm/min 135
Figura 7.80 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 60 mm/min 135
Figura 7.81 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 70 mm/min 136
Figura 7.82 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 80 mm/min 136
Figura 7.83 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 90 mm/min 136
Figura 7.84 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 100 mm/min 136
Figura 7.85 Perfil de rugosidad en la pieza maquinada para un avance de 110 mm/min 136
Figura 7.86 Rugosidad para Aluminio 6063 S800 137
Figura 7.87 Rugosidad para Aluminio 6063 S1000 138
Figura 7.88 Rugosidad para Acero 1018 S800 139
Figura 7.89 Rugosidad para Acero 1018 S1000 139
Figura 7.90 Rugosidad para Acero 4140 S800 140
Figura 7.91 Rugosidad para Acero 4140 S1000 141

Figura 7.92 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el aluminio 6063 a una velocidad de giro de 800 RPM 142
Figura 7.93 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el aluminio 6063 a una velocidad de giro de 1000 RPM 143
Figura 7.94 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 1018 a una velocidad de giro de 800 RPM 144
Figura 7.95 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 1018 a una velocidad de giro de 1000 RPM 144
Figura 7.96 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 4140 a una velocidad de giro de 800 RPM 146
Figura 7.97 Relación de temperatura y rugosidad en cada avance, para el acero 4140 a una velocidad de giro de 1000 RPM 146

LISTADO DE TABLAS

TABLA		PÁGINAS
Tabla # 1	Máquinas-herramientas convencionales usadas para las tres operaciones comunes de maquinado	12
Tabla # 2	Elementos de cada aleación con sus propiedades	31
Tabla # 3	Las herramientas y su utilización	32
Tabla # 4	Algunas herramientas y como se agrupan para su clasificación	33
Tabla # 5	Ángulos de corte, clase de materiales y tipos de fresas	48
Tabla # 6	Diferentes herramientas y la temperatura de trabajo según diseño	55
Tabla # 7	Fluidos para corte	56
Tabla # 8	Fluidos de corte y su efecto refrigerante o lubricante	57
Tabla # 9	Tabla para obtener la velocidad óptima de maquinado para cada material	59
Tabla # 10	Viruta admisible en una fresadora	61
Tabla # 11	Parámetros de rugosidades utilizados en diferentes países	93
Tabla # 12	Muestra las direcciones de marca producidas por el proceso de maquinado	96
Tabla # 13	Símbolos de rugosidades sin indicación adicional	97
Tabla # 14	Símbolos de rugosidad con indicación del principal criterio de rugosidad Ra	97
Tabla # 15	Símbolos de rugosidad con indicación adicional	97
Tabla # 16	Grado de rugosidad contra valor numérico	99

LISTADO DE ECUACIONES

ECUACIÓN		PÁGINAS
Ecuación # 1	Velocidad de remoción de material	10
Ecuación # 2	Potencia de corte	16
Ecuación # 3	Temperatura media en la interfase herramienta-viruta	17
Ecuación # 4	Temperatura medida en la interfase herramienta viruta	18
Ecuación # 5	Avance en el fresado Horizontal	42
Ecuación # 6	Encaje de avance	42
Ecuación # 7	Espesor máximo de viruta no deformada	43
Ecuación # 8	Encaje axial	43
Ecuación # 9	Diámetro exterior	43
Ecuación # 10	Ángulo de inclinación	44
Ecuación # 11	Encaje axial máximo	44
Ecuación # 12	Encaje axial máximo	44
Ecuación # 13	Tiempo maquinado	44
Ecuación # 14	Material removido por unidad de tiempo	45
Ecuación # 15	Potencia para la operación de maquinado	45
Ecuación # 16	Espesor máximo de viruta (fresado vertical)	45
Ecuación # 17	Tiempo de maquinado (fresado vertical)	45
Ecuación # 18	Tiempo de maquinado (fresado vertical)	46
Ecuación # 19	Número de revoluciones de operación	58
Ecuación # 20	Cantidad máxima de viruta posible de una fresadora	60
Ecuación # 21	Cantidad máxima de viruta posible de una fresadora	61
Ecuación # 22	Velocidad de avance	61
Ecuación # 23	Tiempo Principal	61
Ecuación # 24	Longitud total de recorrido sobre la pieza	62
Ecuación # 25	Velocidad de rotación del husillo	67
Ecuación # 26	Velocidad de avance (pulg./min.)	67
Ecuación # 27	Velocidad de remoción de material	67
Ecuación # 28	Distancia de aproximación para alcanzar la velocidad de corte completo	68
Ecuación # 29	Tiempo para fresar la pieza de trabajo	68
Ecuación # 30	Profundidad de devaste inicial	69
Ecuación # 31	Profundidad de devaste inicial	69
Ecuación # 32	Tiempo de maquinado de los casos	70
Ecuación # 33	Tiempo de ciclo de producción por pieza	84
Ecuación # 34	Tiempo de maquinado	85
Ecuación # 35	Promedio de los picos mas altos y valles mas bajos (JIS, ISO)	94
Ecuación # 36	Promedio del pico mas alto y valle mas bajo (DIN)	94

ANEXO A

EQUIPO UTILIZADO

A.1 Termómetro infrarrojo RAYMX4PE marca Raytek.

El aparato mide la cantidad de la radiación infrarroja emitida por el objeto a medir en cuestión y partiendo de ello calcula la temperatura de su superficie. Las características técnicas del termómetro infrarrojo RAYMX4PE se muestran en las siguientes tablas:

ESPECIFICACIONES TECNICAS	VALORES
Rango de temperatura	-30 a 900°C (-25 a 1600°F)
Resolución de la lectura	0.1°C (0.2°F)
Precisión	±1% del valor de la lectura o ± 1°C (±1.5°F), lo que sea mayor , a 23°C ambiente. ± 2°C (± 4°F) para temp. Debajo de 0°C (32°F)
Repetibilidad	±0.5% de la lectura o ±1°C (1.5°F) lo que sea mayor
Tiempo de respuesta (95%)	250 mseg.
Respuesta espectral	8 a 14 micras
Resolución óptica	60:1 en el punto focal hasta 35:1 campo lejano
Temp. Ambiente de operación	0 a 50°C (32 a 122°F)
Temperatura Ambiente Láser máximo	45°C (113°F)
Temp. Almacenaje s/baterías	-30 a 50°C (-25 a 122°F)
Salida Analógica	1mV/°C (°F)
Alimentación	Batería alcalina. 2x1.5V, tipo AA
Dimensiones	200x170x50mm (7.9x6.7x2plg)
Montaje en triple	¼" 20UNC

AJUSTES DE FÁBRICA	AJUSTE	RANGO
Emisividad / Ganancia	0.95	0.10 a 1.50 en incrementos de 0.01
Tabla de emisividad	Libre	30 materiales
Modo	Normal	
Alarma alta	50°C (100°F)	-30 a 900°C (-25 a 1600°F)
Alarma baja	0°C (32°F)	-30 a 900°C (-25 a 1600°F)
Ajuste de compensación	0°C (0°F)	-10 a 10°C (-18 a 18°F)
Pantalla gráfica	Auto rango	Auto Rango / Rango Manual
Ciclo	0.5 seg.	0.1 seg. a 300 seg.
Modo de impresión	Registro de datos	3 modos, seleccionables por software
Salida impresora	ASCII 8 bit 1 bit de paro Sin paridad Velocidad de transmisión: 9600bd	
Almacenamiento de datos	100 puntos Preasignado con Emisividad de 0.95 Alarma baja: 0°C Alarma alta: 50°C Ajustable solo por software	

A.2 Medidor de rugosidad superficial (Rugosímetro) SJ-301.

El Rugosímetro SJ-301 es un instrumento del tipo estilógrafo que mide la rugosidad superficial, el cual ha sido desarrollado para ser usado en superficies lisas.

El SJ-301 es capaz de evaluar la textura de superficies con una variedad de parámetros de acuerdo a varias normas nacionales e internacionales. Los resultados de la medición son mostrados digital y gráficamente en la pantalla sensible al tacto y pueden ser impresos en la impresora integrada.

A.2.1 Principio de medición del Rugosímetro SJ-301.

El estilógrafo de la unidad detectora del SJ-301 traza las más mínimas irregularidades de la superficie de la pieza de trabajo. La rugosidad de la superficie es determinada por el desplazamiento vertical del estilógrafo producido durante el movimiento recorrido del detector sobre las irregularidades de la superficie. Los resultados de la medición son mostrados digital y gráficamente en la pantalla sensible al tacto y pueden ser impresos en la impresora integrada.

A.2.2 Especificaciones del SJ-301 marca Mitutoyo.

Modelo	SJ-301.	
Calibración	178-953-2 (para mm).	178-952-2 (para mm).
	178-954-2 (para in/mm).	178-955-2 (para in/mm).
Método de detección	Método de inductancia diferencial.	
Rango de medición	350 μm (-200 a +150μm).	
Material del estilógrafo	Diamante.	
Radio de la punta	5μm.	2μm.
Fuerza de medición	4mN (0.4g_f).	0.75mN (0.075g_f).
Radio del estilógrafo	40mm (1.57in).	

A.2.3 Unidad conductora.

Modelo	SJ-301
Rango de manejo del detector	21mm.
Velocidad del recorrido	Avance: 0.25mm/s, 0.5 mm/s. Regreso: 1mm/s.
Función de retracción del detector	Estilógrafo UP
Configuración baja	V-way

A.2.4 Unidad de despliegue.

Normas compatibles de textura de superficies:

- JIS (B 0601-1994, B 0601-1982)
- DIN
- ISO
- ANSI

A.2.5 Perfiles medidos y filtros aplicables.

Perfil medido	Filtro
Perfil R DIN4776	GAUSS PC75 2RC (sin corrección de fase)
Perfil P	-
Perfil MOTIF.R	-
Perfil MOTIF.W	-

Longitud de corte/longitud de muestreo, número de longitudes de muestreo e intervalos de muestreo.

Longitud de corte (λ_c)	Longitud del muestreo (l)	λ_s	Intervalo de muestreo	Número de muestras por longitud	Número de longitudes de muestreo
0.08 mm.	0.08 mm.	2.5 μm.	0.25 μm.	320	1,3,5
0.25 mm.	0.25 mm.	2.5 μm.	0.25 μm.	1000	1,3,5
0.8 mm.	0.8 mm.	2.5 μm.	0.5 μm.	1600	1,3,5
2.5 mm.	2.5 mm.	8 μm.	1.5 μm.	1666	1,3,5
8 mm.	8 mm.	25 μm.	5 μm.	1600	1

Longitud de evaluación arbitraria (L)	Longitud de corte (λ_c)	λ_s	Intervalo de muestreo	Número de muestras
0.3 mm.≤L<1.2 mm.	0.25 mm.	2.5 μm.	0.25 μm.	1000-4800
1.2 mm.≤L<4 mm.	0.8 mm.	2.5 μm.	0.5 μm.	2400-8000
4 mm.≤L≤12.5 mm.	2.5 mm.	8 μm.	1.5 μm.	2666-8333

Longitud límite inferior (A)	Longitud límite superior (A)	Longitud de evaluación (L)	Longitud de corte (λ_c)	Intervalo de muestreo
0.02 mm.	0.1 mm.	0.3 mm.≤L≤0.64 mm.	2.5 μm.	0.25 μm.
0.1 mm.	0.5 mm.	0.7 mm.≤L≤3.2 mm.	2.5 μm.	0.5 μm.
0.5 mm.	2.5 mm.	3.3 mm.≤L≤16 mm.	8 μm.	1.5 μm.

A.2.6 Parámetros de rugosidad y rango de despliegue.

Parámetro	Rango de despliegue
R_a R_q	0.01 a 100 μm.
R_y R_z R_p R_k R_x W_x W_{te}	0.02 a 350 μm.
AR AW	2 a 350 μm.
P_c HSC	2.5 a 5000 cm^{-1}
S_m S	2 a 4000 μm.
m_r M_{r1} M_{r2}	0% a 100%
δ_c	-350 a 350 μm.
L_0	0.1 a 99.999 mm.
A_1 A_2	0 a 15000
Δ_a Δ_q	0.01 a 100
S_k	-99.99 a 99.99
V_0	0 a 999.99

A.2.7 Longitud de evaluación.

Perfil	Longitud de evaluación
Perfil R	Longitud de corte (λ_c) x número de longitudes de muestreo (1, 3, 5)
Perfil P	Longitud del muestreo (l) x número de longitudes de muestreo (1, 3, 5)
Perfil MOTIF.R	0.64, 3.2, 16mm
Perfil MOTIF.W	0.64, 3.2, 16mm

A.2.8 Rango y resolución de la medición.

Rango de medición	Resolución
Automático	0.01 μm dependiendo del rango
350μm (14000μin)	0.4 μm.
100μm (4000μin)	0.1 μm.
50μm (2000μin)	0.05 μm.
10μm (400μin)	0.01 μm.

A.3 Centro de maquinado EMCO PC MILL 125.

A.3.1 Características técnicas.

Área de trabajo	
Recorrido longitudinal del carro (eje x)	185 mm.
Recorrido transversal del carro (eje y)	125 mm.
Recorrido vertical del carro (eje z)	200 mm.
Carrera vertical útil (z)	100 mm.
Distancia entre el cabezal y la superficie de mesa	95 -195 mm.
Mesa de fresado	
Superficie de fijación (l x t)	520 x 125 mm.
Carga máxima de la mesa	10 Kg.
2 ranuras en T	11 mm.
Distancia entre las ranuras en T	90 mm.
Husillo de la fresa	
Cojinete del husillo	40 mm. ϕ
Tipo de cojinete	De rodamiento.
Recepción de herramienta: como DIN 2079	SK 30.
Amarre de herramienta	Automático.
Accionamiento del husillo de la fresa	
Motor de corriente alterna	
Potencia a 100%/60% ED	640/700 W.
Revoluciones del motor	5,000 rpm.
Gamma de revoluciones (infinitamente variable)	150-5,000 rpm.
Par de giro máximo del husillo de la pieza (60% DC)	3.5 Nm.
Diámetro máximo de fresa para trabajos de fresado de acero	25 mm.
Capacidad de taladrar en aluminio (Torradur B)	16 mm.
Capacidad de roscar en aluminio (Torradur B)	M8 mm.
Motores de avance	
Resolución de paso/precisión	0.00125 mm.
Avance de trabajo en x/y/z (infinitamente variable)	0-4,000 mm/min.
Marcha rápida en x/y/z	4,500 mm/min.
Fuerza máxima de avance en x/y/z	2,000/2,000/2,400 mm/min.

GLOSARIO

CNC	Control Numérico Computarizado.
CONACyT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
MAV	Maquinado a Alta Velocidad.
HRC	Escala de Dureza Rockwell C.
RPM	Revoluciones por minuto.
CAD	Diseño Asistido por Computadora.
CAM	Manufactura Asistida por Computadora.
Maquinado	Proceso de manufactura en el cual se usa una herramienta de corte para remover el exceso de material de una parte de trabajo, de tal manera que el material remanente sea la forma de la parte deseada.
Torneado	Se utiliza una herramienta de corte con un borde cortante simple destinado a remover material de una pieza de trabajo giratoria para dar forma a un cilindro.
Taladrado	Se usa para crear un agujero redondo. Esto se realiza generalmente con una herramienta rotatoria que tiene dos filos cortantes.
Fresado	Se utiliza una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes se mueve lentamente sobre el material para generar un plano o superficie recta.
MRR	Velocidad de remoción de material.
to	Espesor de la viruta antes del corte.
v	Velocidad de corte.
Qc	Calor específico volumétrico del material de trabajo.
K	Difusividad térmica del material de trabajo.
WC	Carburo de tungsteno.
TiC	Carburo de titanio.
TaC	Carburo de tantalio.
NbC	Carburo de niobio.
Co	Cobalto.
TiN	Nitruro de titanio.
Al_2O_3	Oxido de aluminio.
TiCN	Nitruro de titanio carbono.
TiAlN	Nitruro de titanio y aluminio.
CDV	Deposición química por vapor.
PVD	Deposición física por vapor.
MTCVD	Deposición química por vapor a temperatura media.
Si_3N_4	Nitruro de silicio.
CBN	Nitruro de Boro Cúbico.
PCD	Diamante policristalino.
WS	Acero de herramientas no aleado o acero al carbono.
SS	Acero de herramientas aleado o acero rápido.
HS	Acero duro aleado.

CN	Control Numérico.
CNA	Control Numérico Adaptativo.
ROM	Unidad de memoria fija.
RAM	Unidad de memoria volátil.
2D	Dos dimensiones.
2L, 3L, 4L	Designación para control lineal de dos, tres o cuatro ejes.
3D	Tres dimensiones.
IM	Indice de maquinabilidad.
cut-off	En los rugosímetros es el valor que se le da a la longitud de muestreo, se varía por medio de filtros que modifican la frecuencia de respuesta del amplificador y, por lo tanto, la forma de onda del perfil.
Avance	Movimiento que tiene la pieza de trabajo, en una operación de fresado; y lo tiene la herramienta para el torneado y el taladrado.
Velocidad de Corte	Es la velocidad con la que gira la herramienta de corte, para el fresado o el taladrado; y es con la que gira la pieza de trabajo, para el torneado.
Profundidad de Corte	Es la cantidad de material que penetra o corta la herramienta sobre la pieza de trabajo.

AUTOBIOGRAFÍA

Nacido el 21 de Octubre de 1973 en Ciudad Victoria, Tamaulipas, hijo del Lic. Sergio González González y la Sra. Juliana Ortíz de González. El primer hijo de 3 en su familia, Bernardo González Ortíz cursó el C.B.T.I.S. # 103 en especialidad Técnica en Electromecánica e Ingeniero Mecánico Administrador en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Su tesis para la obtención de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería de Manufactura con especialidad en Automatización, lleva por nombre "Optimización de las variables envueltas en el maquinado en un Centro de Maquinado de Control Numérico Computarizado".

Su experiencia profesional comenzó en Sistemas Distribuidos de Comunicación (SIDICOM) desarrollándose en el departamento de Proyectos y Administración, de ahí pasó a la Compañía Tecnología Electrónica Avanzada de México (TEAM) como Ingeniero de Servicio, y a la par ingreso a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, como Catedrático; en el 2000 ingresó a Equipos y Servicios de Monterrey como Ingeniero de mantenimiento, en esa fecha continuaba como catedrático en FIME, puesto que desempeña actualmente impartiendo las clases de Taller Mecánico y Eléctrico, Máquinas-Herramientas y su laboratorio, Metrología y su laboratorio, Dibujo Asistido por Computadora (AutoCad) y Diplomado en Maquinabilidad.