



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO
DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN EL
MECANIZADO DE UN ACERO AISI 1010
EN OPERACIONES DE FRESADO**

Autor:

Martínez H. Luis A.
C.I.: V- 22.414.444

Tutor:

Ing. Giovanni Pizzella P.
C.I.: V-4.455.859

Urb. Yuma II, Calle N.º 3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO DE RUGOSIDAD
SUPERFICIAL EN EL MECANIZADO DE UN ACERO AISI
1010 EN OPERACIONES DE FRESADO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:
INGENIERO MECÁNICO**

Autor:

Martínez H. Luis A.
C.I.: V- 22.414.444

Tutor:

Ing. Giovanni Pizzella P.
C.I.: V-4.455.859

San Diego, agosto de 2018.




REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Giovanni Pizzella P. portador de la cédula de identidad N° V-4.455.859, en mi carácter de tutor del Informe de Trabajo Especial de Grado presentado por el ciudadano Martínez H. Luis A., portador de la Cédula de Identidad V-22.414.444, titulado **"ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN EL MECANIZADO DE UN ACERO AISI 1010 EN OPERACIONES DE FRESADO"**. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los tres días del mes de abril del año dos mil dieciocho.


Ing. Giovanni Pizzella P.
C.I.: V-4455.859
Tutor Académico

San Diego, abril de 2018.



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-M-001-2018-1

Valencia, 30 de Mayo de 2018.

Ciudadano:
Martínez Luis
C.I: 22.414.444
Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 1-2018 de fecha 30/05/2018 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN EL MECANIZADO DE UN ACERO AISI 1010 EN OPERACIONES DE FRESADO" Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Ing. Giovanni Pizzella, C.I. 4.455.859 y la Ing. Alicia Yanez de Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



Prof. Zulay Salcedo
Decana de la Facultad de Ingeniería

c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

ZS/r



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA

San Diego, abril de 2018

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: titulado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN EL MECANIZADO DE UN ACERO AISI 1010 EN OPERACIONES DE FRESADO". ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Giovanni Pizzella P.
Tutor Académico


Firma

05/04/2018
Fecha

Ing. Alicia Yáñez de Pizzella
Tutor Metodológico


Firma

04/04/2018
Fecha

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios, por darme la oportunidad de seguir superándome integralmente como persona.

A mis padres Ana Hernández y Luis Martínez, por apoyarme en todo momento.

A mis padrinos Maitte Castillo y José Castillo, por la ayuda incondicional brindada.

A mis hermanos Ángel Martínez, Luis Marrero, Luis Hurtado, Alberto Martínez, José Martínez, Franchesca Martínez, Yorleydis Martínez, Alejandro Hernández, Genesis Hurtado, Luis Benites, Nicolas Benites, Luisana Martínez, Victoria Hernandez y Andrea Martínez, por toda su ayuda y apoyo.

A mi tutor académico Giovanni Pizzella, por ser un excelente profesor, por su ayuda y por guiarme en la elaboración de este proyecto.

A mi tutor metodológico Alicia Yáñez de Pizzella, por la colaboración en la redacción de este proyecto.

A todos mis compañeros de la Universidad José Antonio Páez.

Y a todas aquellas personas que de una y otra manera forma sirvieron de apoyo y ayuda en mi carrera como estudiante.

ÍNDICE

CONTENIDO	p.p
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO

I EL PROBLEMA

1.1	Planteamiento del Problema.....	2
1.2	Formulación del Problema.....	4
1.3	Objetivos.....	5
1.3.1	Objetivo General.....	5
1.3.2	Objetivos Específicos.....	5
1.4	Justificación.....	5
1.5	Limitaciones.....	6
1.6	Alcance.....	6

II MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes.....	7
2.2	Fundamentos teóricos	9
2.2.1	Concepto de acero	9
2.2.2	Diagrama Fe-C	9
2.2.2.1	Microconstituyentes	9
2.2.2.2	Transformación de Austenita	11
2.2.2.3	Otros microconstituyentes	13
2.2.3	Aceros de bajo carbono	14
2.2.4	Aceros medios en carbono	15
2.2.5	Aceros altos en carbono	15
2.2.5.1	Características del acero AISI 1010	15
2.2.5.2	Formas	16
2.2.6	Procesos de mecanizado	16
2.2.7	Proceso de fresado	17
2.2.7.1	Operaciones de fresado	19
2.2.8	Herramientas de corte en el fresado	23
2.2.8.1	Parámetros de corte en el fresado	24
2.2.8.2	Afilado de fresas	24
2.2.8.3	Parámetros de corte del fresado	27
2.2.9	Ecuaciones Básicas en el fresado	28
2.2.9.1	Velocidad de corte	28

2.2.9.2	Área de corte	28
2.2.9.3	Velocidad de avance lineal	28
2.2.9.4	Tasa de remoción de material	29
2.2.9.5	Tiempo de mecanizado	29
2.2.9.6	Fresado cilíndrico	29
2.2.9.7	Fresado frontal	31
2.2.10	Rugosidad superficial	32
2.2.10.1	Definición de rugosidad real y rugosidad natural	35
2.2.10.2	Grado de rugosidad generado por las distintas maquinas herramientas	38
2.2.10.3	Medida de la rugosidad: rugosímetros	40
2.2.10.4	Rugosímetro de palpador mecánico	40
2.2.10.5	Rugosímetro de palpador inductivo	41
2.2.10.6	Rugosímetro de palpador piezoeléctrico	41
 III MARCO METODOLÓGICO		
3.1	Tipo de Investigación.....	42
3.2	Nivel de la investigación.....	42
3.3	Diseño de la Investigación.....	43
3.4	Población y muestra.....	45
3.5	Fases de la investigación	45
 IV RESULTADOS		
4.1	Realizar pruebas piloto para definir los parámetros de corte a usar durante el mecanizado.....	48
4.2	Comparar el grado de rugosidad superficial (Ra) obtenido dependiendo de los parámetros de corte previamente seleccionados.	53
4.2.1	Velocidad de corte.	53
4.2.2	Cálculos teóricos de rugosidad superficial para la máquina 1 (Tos Kurim).....	55
4.2.3	Cálculos teóricos de rugosidad superficial para la máquina 2 (Induma).....	57
4.2.4	Rugosidad obtenida en el proceso de mecanizado.....	59
4.2.4.1	Resultados de rugosidad de la maquina 1 con fluido lubricante....	59
4.2.4.2	Resultados de rugosidad de la maquina 2 con fluido lubricante....	62
4.2.4.3	Resultados de rugosidad de la maquina 1 sin fluido lubricante....	66
4.2.4.4	Resultados de rugosidad de la maquina 2 sin fluido lubricante....	69
4.3	Comparar la rugosidad superficial (Ra) obtenida en el mecanizado con las diferentes maquinas, con valores ideales obtenidos mediante el uso de modelos matemáticos.....	73
4.3.1	Resultados obtenidos de la máquina 1.....	73

4.3.1.1	Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 1 usando la fresa de 1 filo.	73
4.3.1.2	Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 1 usando la fresa de tres filos de corte.	77
4.3.1.3	Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 1 usando la fresa de cuatro filos de corte.	81
4.3.2	Resultados obtenidos de la máquina 2.	85
4.3.2.1	Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 2 usando la fresa de un filo de corte.	85
4.3.2.2	Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 2 usando la fresa de tres filos de corte.	88
4.3.2.3	Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 2 usando la fresa de cuatro filos de corte.	91
4.4	Concluir cómo influyen en el mecanizado de un acero AISI 1010 los parámetros de corte, la herramienta de corte y el uso o no de fluido lubricante.	94
4.4.1	Análisis comparativo entre las herramientas de corte utilizadas...	94
4.4.1.1	Máquina 1.	94
4.4.1.2	Máquina 2.	100
4.4.2	Análisis comparativo entre máquinas.	106
4.4.2.1	Análisis comparativo para las dos maquinarias usando una fresa de 1 filo.	106
4.4.2.2	Análisis comparativo para las dos maquinarias usando una fresa de 3 filos.	110
4.4.2.3	Análisis comparativo para las dos maquinarias usando una fresa de 4 filos.	113

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.	118
5.2	Recomendaciones.	121

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía	122
--------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA

1	Diagrama Fe-C	10
2	Microestructura de la martensita	11
3	Presencia de Cementita (granos claros) y de Perlita (granos oscuros)	12
4	Presencia de Martensita	13
5	Presencia de Bainita	14

6	Presencia de Austenita	14
7	Composición química de la colada del acero AISI 1010	15
8	Clasificación de los procesos de remoción de material	18
9	Fresadora horizontal (izquierda) y fresadora vertical (derecha)...	20
10	Fresadora universal	20
11	Fresado cilíndrico, fresado frontal	21
12	Fresado ascendente y fresado descendente	21
13	Operaciones de fresado cilíndrico	22
14	Operaciones de fresado frontal	23
15	Clasificación de las fresas	25
16	Valores recomendados de velocidad de corte (m/min) para fresa..	26
17	Valores recomendados para velocidad de avance (f) para fresado.	27
18	Afilado de la fresa	27
19	Esquema de fresado cilíndrico	30
20	Esquema de fresado frontal cuando $D_f > w$	31
21	Esquema de fresado frontal cuando D_f	

39	Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 34,56$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.	86
40	Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 51,52$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.	87
41	Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 67,54$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.	89
42	Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 86,39$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.	89
43	Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 128,81$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.	90
44	Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 28,37$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.	92
45	Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 36,29$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.	92
46	Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 54,1$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.	93
47	Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 450 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.....	95
48	Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 560 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.....	97
49	Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 900 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.....	99
50	Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 430 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.....	101
51	Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 550 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.....	103
52	Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 820 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.....	105
53	Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 430 y 450 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 1 filo de corte.....	107
54	Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 550 y 560 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 1 filo de corte.....	108
55	Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 820 y 900 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 1 filo de corte.....	109
56	Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 430 y 450 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 3 filos de corte.....	110

57	Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 550 y 560 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 3 filos de corte.....	111
58	Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 820 y 900 RPM para la maquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 3 filos de corte.....	112
59	Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 430 y 450 RPM para la maquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 4 filos de corte.....	114
60	Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 550 y 560 RPM para la maquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 4 filos de corte.....	115
61	Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 820 y 900 RPM para la maquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 4 filos de corte.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS

1	Diseño del experimento para cada herramienta de corte (2, 4 y 6 filos) utilizada en las maquinas 1 y 2	44
2	Parámetros y características observadas en las pruebas piloto de la máquina 1.....	48
3	Parámetros y características observadas en las pruebas piloto de la máquina 2.....	50
4	Parámetros de corte seleccionados para la máquina 1.....	53
5	Parámetros de corte seleccionados para la máquina 2.....	53
6	Cálculos de velocidad de corte para la máquina 1.....	54
7	Cálculos de velocidad de corte para la máquina 2.....	54
8	Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 1 y herramienta de 1 filos.....	55
9	Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 1 y herramienta de 3 filos.....	56
10	Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 1 y herramienta de 4 filos.....	56
11	Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 2 y herramienta de 1 filo.....	57
12	Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 2 y herramienta de 3 filos.....	58
13	Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 2 y herramienta de 4 filos.....	58
14	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, con fluido lubricante en la maquina 1.....	59

15	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, con fluido lubricante en la maquina 1.....	60
16	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, con fluido lubricante en la maquina 1.....	62
17	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, con fluido lubricante en la maquina 2.....	63
18	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, con fluido lubricante en la maquina 2.....	64
19	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, con fluido lubricante en la maquina 2.....	65
20	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, sin fluido lubricante en la maquina 1.....	66
21	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, sin fluido lubricante en la maquina 1.....	67
22	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, sin fluido lubricante en la maquina 1.....	68
23	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, sin fluido lubricante en la maquina 2.....	70
24	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, sin fluido lubricante en la maquina 2.....	71
25	Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, sin fluido lubricante en la maquina 2.....	72

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS

Equipos fresadora.....	125
Rugosímetro.....	126
Probetas.....	127



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL GRADO DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN EL MECANIZADO DE UN ACERO AISI 1010 EN OPERACIONES DE FRESADO

Autor: Martínez Luis.

Tutor: Ing. Pizzella P., Giovanni

Fecha: Agosto 09 de 2018

RESUMEN

En los procesos de mecanizado, específicamente en el fresado, intervienen diversos factores que influyen directamente en el acabado superficial de un material y que, como consecuencia, afectan el factor de relación de rugosidad, el cual relaciona la rugosidad superficial real del material mecanizado con la rugosidad teórica del mismo. Estos factores son: la velocidad de corte, la profundidad de corte, la velocidad de avance de la herramienta, así como la presencia o no de fluidos destinados a la lubricación de las superficies a lo largo del proceso. En el presente trabajo se estudió mediante curvas, el comportamiento y la influencia de cada uno de dichos factores. Se utilizó para los ensayos un material comercial como lo es el acero AISI/SAE 1010, se emplearon para los mecanizados tres diferentes velocidades de corte en combinación con tres profundidades de corte, tres velocidades de avance y tres herramientas de corte, dos alternativas de lubricación, así como también dos máquinas de diferentes fabricantes con el fin de interrelacionar los resultados del acabado superficial en conjunto con las variables consideradas.

Descriptor: Análisis comparativo, mecanizado y operaciones de fresado.

INTRODUCCIÓN

La rugosidad superficial es una de las medidas críticas de calidad utilizada por excelencia en la mayoría de los productos mecánicos. Los consumidores de estas piezas están en la búsqueda de una mejor calidad superficial y a un costo cada vez más bajo. La relación de rugosidad superficial no es más que un factor que relaciona la rugosidad superficial real, la cual es una medida directamente de la superficie de la pieza o material a estudiar, empleando un dispositivo denominado rugosímetro, y la rugosidad superficial ideal, la cual es determinada por un modelo matemático el cual se presenta en función de ciertas variables de acuerdo al tipo de operación que se realice, para este caso fresado (planeado). Esta investigación se centra en determinar la influencia que tienen los parámetros de corte utilizados para operaciones de fresado (planeado) mediante curvas de rugosidad vs. velocidad de avance en combinación con las diferentes profundidades de corte, utilizando además diferentes herramientas, como también el uso o no de un fluido. Dicho trabajo de investigación se divide en cuatro fases o capítulos para así facilitar la comprensión de toda la información presentada. Dicha división se presenta de la siguiente manera: En el primer capítulo donde se presenta el planteamiento del problema, formulación, justificación, objetivo general y específicos, limitaciones y alcance de la investigación. En el segundo capítulo se encuentran todas las bases teóricas que sustentan la investigación y que permiten alcanzar una mejor comprensión de la misma. Para el tercer capítulo se detalla la metodología empleada para el desarrollo del trabajo de investigación y la obtención y análisis de los resultados. El cuarto capítulo muestra los análisis de los resultados obtenidos, luego de realizar todos los ensayos pertinentes, además se presentan las conclusiones y recomendaciones de todo lo elaborado, donde se refleja el alcance de la totalidad de los objetivos planteados.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Este capítulo está dedicado a detallar las razones que motivaran la realización de este proyecto de grado, los objetivos que se plantearan al comienzo de la investigación, su justificación y las limitaciones que condicionaran este proyecto.

1.1. Planteamiento del problema.

A lo largo de la historia, las sociedades han estado íntimamente atadas a la capacidad de originar y conformar los materiales necesarios para satisfacer sus necesidades. Con el paso del tiempo, el conocimiento acumulado y la necesidad de progresar, el hombre se ha visto en la necesidad de producir materiales con propiedades y exigencias superiores a los disponibles en la naturaleza, entre ellos se encuentran los materiales metálicos. Actualmente el aumento de la demanda de producción en las industrias, ha llevado a las grandes empresas encargadas del mecanizado de piezas metálicas a incrementar la calidad de los procesos de fabricación de los elementos que constituyen dichos equipos. Esto ha llevado a la búsqueda constante de una armonía entre los costos que ello implica, los tiempos de elaboración y la aptitud de las piezas elaboradas, especialmente cuando se habla de resistencia mecánica, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión, dureza superficial, tolerancias, entre otras. Por tal exigencia, un alto porcentaje de los componentes mecánicos se fabrican mediante procesos de transformación física, siendo los más utilizados los de maquinado por arranque de viruta, por consiguiente, es fundamental tener en cuenta la influencia del proceso de fabricación sobre las condiciones de servicio de la pieza, según Posada, J. (2009).

Según Núñez, P.J (2.001). el estado superficial es importante al momento de definir la capacidad de desgaste, lubricación, fatiga y aspecto externo de una pieza o material, por lo que la rugosidad es un factor muy significativo a tener en cuenta, tanto en aplicaciones industriales como en la vida diaria, ya que no siempre el acabado

superficial con menos rugosidad es el óptimo o el más beneficioso, esto dependerá de la función que vaya a realizar la pieza o el material mecanizado.

Según Groover, M. (2007), el óptimo estado de una superficie es considerado como un indicador de calidad y precisión de un proceso de fabricación de piezas, dicha condición es muy importante en el aspecto comercial por varias razones, por ejemplo, el hecho de que la fricción y el desgaste dependen de las características superficiales, así como la influencia que tienen sobre las propiedades físicas y mecánicas del material.

Así mismo según Hernández, L. y Quesada, A.M. (2010), en los procesos de mecanizado intervienen diversas variables, como lo son: la velocidad de corte, la profundidad, el avance y geometría de la herramienta, así como la presencia o no de fluidos destinados a la lubricación y refrigeración de las superficies a lo largo del proceso. La combinación de estas variables influye directamente sobre la rugosidad superficial de la pieza y por lo tanto se hace fundamental estudiar de qué forma se relacionan estas variables como resultado final. Durante los procesos de fabricación de metales cabe destacar que se genera calor y éste puede disminuir las propiedades cortantes de la herramienta, por lo tanto, el uso de fluidos es considerado un factor muy significativo, ya que permite expulsar con mayor velocidad el calor generado durante el proceso. Este periodo de lubricación dependerá principalmente de las características del mecanizado, específicamente de la velocidad de trabajo. También, dependiendo del tipo de material y de dichas velocidades, la falta de una lubricación adecuada puede influir, ya que se requerirá una excesiva fuerza de corte, se elevará la temperatura o incluso habrá un gran desgaste en la herramienta, y sobre todo podría conllevar a obtener una mala calidad superficial.

También Neto, O. y Fernández, A., Barreiro, J. (2013), en la industria existen variedad de metales utilizados, como lo son el acero y el aluminio. El acero es el material más manipulado en la mayoría de los sectores industriales dedicados al mecanizado de piezas, por otra parte, el aluminio, debido a su ligereza, alta conductividad térmica, resistencia a la corrosión y bajo punto de fusión es calificado un material apto para diversas aplicaciones.

Los procesos de fabricación por arranque de viruta están muy desarrollados en la industria, por lo cual, el progreso de proyectos o investigaciones que permitan seleccionar los parámetros más ajustados para la fabricación de elementos mecanizados constituye una contribución importante al tener por esencia conseguir elaborar piezas con bajos costos y excelente calidad, cumpliendo principalmente las expectativas requeridas por el cliente. El taller de metalmecánica “Genelec C.A ubicado en la zona industrial castillito, san diego, Edo. Carabobo, realiza trabajos de conformado de piezas de diferentes materiales por arranque de viruta entre ellos: torneado, fresado, taladrado, rectificado, etc. Los cuales requieren un acabado superficial de buena calidad. Específicamente para operaciones de fresado (planeado) se dispone de una Fresadora Universal TOS KURIM de la cual se desea conocer si el grado de rugosidad superficial (Ra) obtenido mediante el uso de ésta se encuentra acorde a lo esperado usando como referencia los valores de rugosidad obtenidos mediante el empleo de modelos matemáticos capaces de predecir dichos valores teóricamente. Además, se incluirá en el estudio, la maquinaria disponible en el taller de procesos de fabricación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

Debido a esto, se puede definir que el propósito de esta investigación es conocer la influencia que podría tener en el fresado, con el uso de dos máquinas con la misma función pero de fabricantes diferentes, el empleo de diversas condiciones de corte durante el proceso de mecanizado de un acero AISI 1010, a fin de determinar cómo es el comportamiento de dichas condiciones en el acabado superficial obtenido en el material; y a su vez, determinar si el uso de cada máquina arroja valores de rugosidad superficial (Ra) acordes a lo esperado teóricamente. Conocer esta información es de suma importancia en procesos de producción con gran demanda, ya que se pueden elegir con certeza las condiciones de corte a usar para el desarrollo óptimo de un mecanizado con un excelente acabado superficial.

1.2. Formulación del problema.

Mediante esta investigación se procura responder la siguiente interrogante: ¿Cómo se puede medir el grado de rugosidad superficial si se realiza el proceso de mecanizado

en dos fresadoras de diferentes fabricantes, utilizando los mismos parámetros de corte a un acero AISI 1010?

1.3. Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general

Analizar de forma comparativa el grado de rugosidad superficial en el mecanizado de un acero comercial en procesos de fresado (planeado).

1.3.2 Objetivos específicos.

1. Realizar pruebas piloto para definir los parámetros de corte a usar durante el mecanizado.
2. Comparar el grado de rugosidad superficial (Ra) obtenido dependiendo de los parámetros de corte previamente seleccionados.
3. Comparar la rugosidad superficial (Ra) obtenida en el mecanizado con las diferentes máquinas, con valores ideales obtenidos mediante el uso de modelos matemáticos.
4. Concluir cómo influyen en el mecanizado de un acero AISI 1010 los parámetros de corte, la herramienta de corte y el uso o no de fluido lubricante.

1.4 Justificación.

Al momento de juzgar una superficie, se estudia la misma bajo criterios específicos que indican si está o no en condiciones aceptables, básicamente con esta investigación se desarrolló bajo un análisis de comparación la influencia que puede tener el mecanizado de algunas superficies del mismo material sometidas a parámetros de corte variables, como también el uso de maquinarias con la misma función, pero con características físicas disímiles. Dicho aporte ayudó a la evolución en cuanto a la fabricación de piezas con mejores resultados en cuanto acabado superficial debido a la optimización en las condiciones de corte en operaciones de fresado (planeado). Además, se busca obtener datos de referencia que permitan determinar cuáles son los parámetros de mecanizado de aceros para una buena rugosidad superficial ya que, en la actualidad, los aceros son empleados en la fabricación de muchos componentes y elementos mecánicos.

1.6. Limitaciones.

Una de las limitantes principales del desarrollo de esta investigación es la de carácter económico, debido principalmente a los costos de material y herramientas; así como también la disponibilidad de las máquinas y el tiempo de utilización de éstas, ya que, por pertenecer a la universidad, y a una empresa particular tienen un tiempo programado para ser usadas en actividades de docencia.

1.7 Alcance.

Para este estudio se hará uso de dos máquinas fresadoras de distintos fabricantes (máquina 1: Fresadora Tos Kurim, máquina 2: Fresadora Universal de cabezal vertical, Induma), así como de tres herramientas de corte (fresas de vástago de 1, 3 y 4 filos), tres velocidades de avance de la herramienta, tres velocidades de corte, tres profundidades de corte, además del uso o no de fluido lubricante, obteniendo así un arreglo factorial de $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 2 \times 2$, donde se realizó el mecanizado de 324 probetas de un acero AISI 1010 de $\frac{3}{4}$ de pulg (19,05mm) de diámetro y 3 cm de longitud, a las cuales se les midió la rugosidad superficial (Ra) 3 veces para determinar la media aritmética, teniendo una totalidad de ensayos de 972, los cuales se efectuaron con un rugosímetro facilitado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad José Antonio Páez.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.

Massoud Jani y Ruiz Rubén (2006), presentaron un trabajo especial de grado ante la Universidad de Carabobo (U.C), en el cual se realizó un estudio basado en la **Influencia de la máquina herramienta y los factores geométricos sobre la rugosidad superficial obtenida en operaciones de torneado de materiales metálicos no férreos**. El objetivo principal fue determinar la influencia de la herramienta, la velocidad de corte y la influencia de la geometría de la herramienta de corte (radio de punta) en el acabado superficial. Finalmente, el estudio permitió concluir que al aumentar el radio de punta de la herramienta se mejora la rugosidad superficial, para los casos planteados; para avances bajos, se obtienen mejores rugosidades que para avances superiores, los valores de rugosidad obtenidos a diferentes profundidades de corte no variaron muchos entre ellos y a mayor velocidad de corte mejor rugosidad superficial se obtiene.

Por otra parte, Sebastián Pérez (2.006), presentó un artículo en la Universidad de Cádiz, España, basado en un **Estudio de los parámetros de acabado superficial en el mecanizado de aleación de Al – Cu AA2024, Aplicando la UNE-EN ISO 4288 y UNE – EN ISO 1302**. El objetivo principal de dicha investigación fue presentar un estudio de las desviaciones microgeométricas (Acabado Superficial) del torneado en seco de barras cilíndricas, sometidas a valores moderados de velocidad de corte y avance. Finalmente, el estudio permitió concluir que al disminuir la velocidad y aumentar el avance, se tiene una pérdida de precisión del grado de acabado. Los datos obtenidos permiten establecer modelos paramétricos y superficiales que predicen los valores de estas desviaciones, para el rango de velocidad de corte y avance considerado.

Así mismo, Manuel Correa (2.015), presentó un artículo en el Instituto de Automática Industrial, en Madrid, España, basado en **Factores que afectan el acabado**

superficial en los procesos de mecanizados: Técnicas y análisis. El objeto principal de dicha investigación fue realizar una revisión general de las variables que afectan al acabado superficial, técnicas y análisis y los modelos de predicción de rugosidad superficial desarrollados por los diferentes grupos de investigaciones. Finalmente se encontró que entre los aspectos más relevantes de la predicción de la rugosidad superficial se encuentran las variables de velocidad de avance, velocidad de giro y profundidad de corte. Para las mediciones, los sensores más utilizados son areómetro, dinamómetros de emisión acústica. Como técnicas de análisis utilizaron la regresión lineal y las redes neuronales artificiales.

Por último, Martínez F., Sánchez T., Frías G., y Pinilla A (2006), en su trabajo titulado **Comportamiento del acabado superficial de la pieza y el desgaste de la herramienta al fresar aluminio con altas velocidades de corte en fresadoras CNC convencionales**, desarrollado en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Ciudad de La Habana, Cuba, estudiaron el comportamiento de la rugosidad superficial de piezas de aluminio D16B (Norma Rusa semejante al AU4G o Thyral 1325) en el proceso de mecanizado, con el uso de fresadoras CNC convencionales, además de estudiar el desgaste de la herramienta usada. La herramienta es una fresa de 100mm de diámetro con placas de metal duro P10-20 si recubrir. Velocidad de trabajo de 800m/min. Avance por diente de 0.08mm/diente, corresponde una velocidad de rotación de 2500 r.p.m. Se utilizó una fresadora CNC Dekel con rango de velocidades 10-6300 r.p.m. Para los ensayos de desgaste se trabajó con todos los parámetros fijos. También se procedió a medir la rugosidad superficial bajo las siguientes condiciones: Velocidad de corte desde 188m/min., hasta 989m/min., velocidad de rotación desde 600 hasta 3150 r.p.m., avance 0,08mm/diente y profundidad de corte 3mm. Con los experimentos realizados hasta el momento, se puede afirmar que es posible aumentar al menos en 5 veces las velocidades de corte de uso común para la elaboración del aluminio, sin que se produzca un aumento importante del desgaste de la herramienta. Para los valores de velocidad utilizados, la rugosidad superficial se mantuvo en valores

bajos, menores que los obtenidos con las velocidades que tradicionalmente se trabajaba en el centro de referencia (160m/min.).

2.2 Fundamentos teóricos.

2.2.1 Concepto de Acero.

Es una aleación o combinación de Hierro y Carbono alrededor de 0,05% hasta menos de un 2%. Algunas veces otros elementos de aleaciones específicas tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados, por lo cual es básicamente Hierro altamente refinado de más de 98%, comenzando su fabricación con la reducción de Hierro o producción de Arrabio, que más tarde es convertido en acero. Desde el punto de vista de su composición los aceros se pueden clasificar en dos grandes grupos: aceros aleados y aceros al Carbono (de bajo, medio y alto contenido en carbono). Los aceros al carbono constituyen la mayor parte de todo el acero fabricado. Contienen al menos del 0,25% del peso de C. La microestructura consiste en Ferrita y Perlita. Por tanto, son relativamente blandos y pocos resistentes, pero con extraordinaria ductilidad y tenacidad. Son de fácil mecanizado, soldables y económicos. Se utilizan para fabricar vigas, carrocerías de automóviles y láminas para tuberías de edificios y puentes.

2.2.2. Diagrama de Fe-C

En el diagrama de equilibrio o de fases hierro-carbono (Fe-C) [ver figura 1] se representan las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura, admitiendo que el calentamiento (o enfriamiento) de la mezcla se realiza muy lentamente de modo que los procesos de difusión (homogeneización) tienen tiempo para completarse. Dicho diagrama se obtiene experimentalmente identificando los puntos críticos (temperaturas a las que se producen las sucesivas transformaciones) por métodos diversos.

2.2.2.1. Microconstituyentes.

El hierro puro está presente en tres estados alotrópicos a medida que se incrementa la temperatura desde la temperatura ambiente hasta los 911 °C (temperatura crítica

AC3), el hierro ordinario cristaliza en el sistema cúbico de cuerpo centrado y recibe la

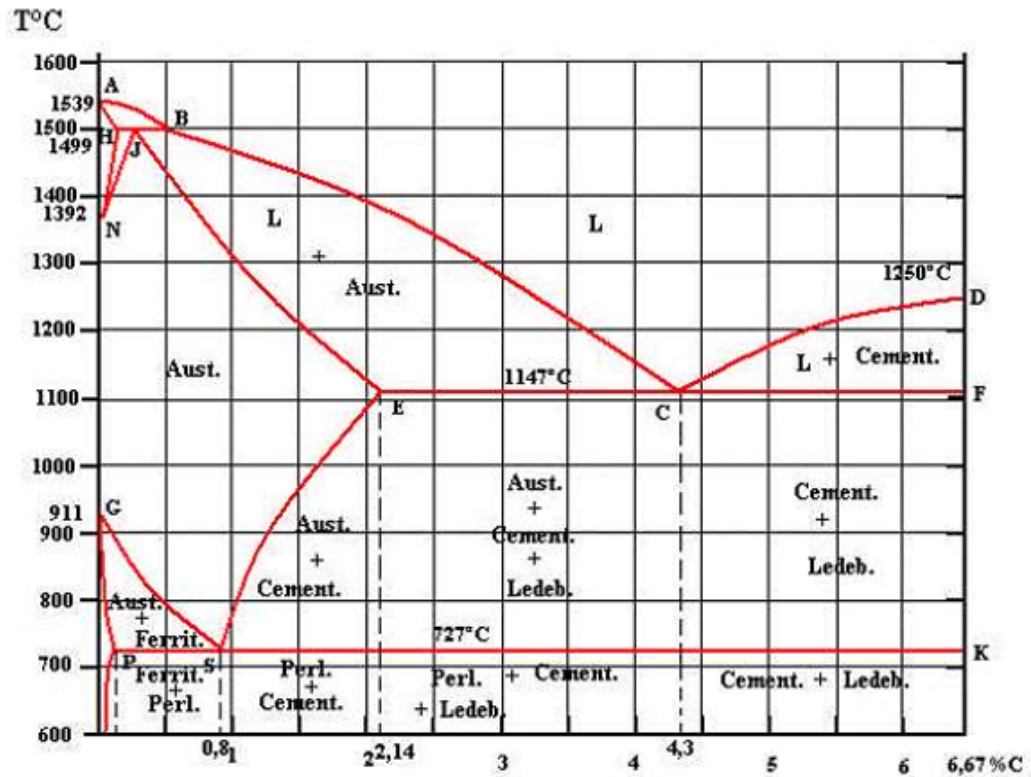


Figura 1: Diagrama de Fe-C.

Fuente: Askeland, Donald R. and Phule, Pradeep P. (2004).

Es un material dúctil y maleable responsable de la buena forjabilidad de las aleaciones con bajo contenido en carbono y es ferromagnético hasta los 770 °C (temperatura de Curie a la que pierde dicha cualidad; se suele llamar también AC2). La ferrita puede disolver pequeñas cantidades de carbono.

Entre 911 y 1400 °C cristaliza en el sistema cúbico de caras centradas y recibe la Austenita se deforma con mayor facilidad y es paramagnética.

Entre 1400 y 1538 °C cristaliza de nuevo en el sistema cúbico de cuerpo centrado y alfa, pero con parámetro de red mayor por efecto de la temperatura. A mayor temperatura el hierro se encuentra en estado líquido.

Si se añade carbono al hierro, aumenta su grado de acidez y sus átomos podrían situarse simplemente en los intersticios de la red cristalina de este último; sin embargo, en los aceros aparece combinado formando carburo de hierro (Fe_3C), es decir, un compuesto químico definido y que recibe la denominación de Cementita de modo que los aceros aleados al carbono están constituidos realmente por ferrita y Cementita.

2.2.2.2 Transformación de Austenita

El diagrama de fases Fe-C (ver figura 1) muestra dos composiciones singulares:

Un eutéctico (composición para la cual el punto de fusión es mínimo) que se denomina Ledeburita (ver figura 2) y contiene un 4,3% de carbono (64,5 % de Cementita). La Ledeburita aparece entre los constituyentes de la aleación cuando el contenido en carbono supera el 2% (región del diagrama no mostrada) y es la responsable de la mala forjabilidad de la aleación marcando la frontera entre los aceros con menos del 2% de C (forjables) y las fundiciones con porcentajes de carbono superiores (no forjables y fabricadas por moldeo). De este modo se observa que por encima de la temperatura crítica A31, los aceros están constituidos sólo por

condiciones de enfriamiento lento dependerá por tanto de las transformaciones que sufra ésta.



Figura 2: Microestructura de la Martensita.

Fuente: López A. Tierno. (2017).

Un Eutectoide en la zona de los aceros, equivalente al eutéctico, pero en el estado sólido, donde la temperatura de transformación de la Austenita es mínima. El Eutectoide contiene un 0,80 %C (13,5% de Cementita) y se denomina perlita. Está constituido por capas alternas de ferrita y Cementita, siendo sus propiedades mecánicas intermedias entre las de la Ferrita y la Cementita. (Ver figura 3).

La existencia del Eutectoide permite distinguir dos tipos de aleaciones de acero:

Aceros Hipoeutectoides (menor a 0,80% C). Al enfriarse por debajo de la temperatura crítica A3 comienza a precipitar la ferrita entre los granos de Austenita y al alcanzar la temperatura crítica A1 la Austenita restante se transforma en perlita. Se obtiene por tanto a temperatura ambiente una estructura de cristales de perlita embebidos en una matriz de ferrita.

Aceros Hipereutectoides (mayor a 0,80% C). Al enfriarse por debajo de la temperatura crítica se precipita el carburo de hierro resultando a temperatura ambiente cristales de perlita embebidos en una matriz de Cementita.

Pues ya que este es un tratamiento térmico y su temperatura se eleva hasta dicha temperatura.

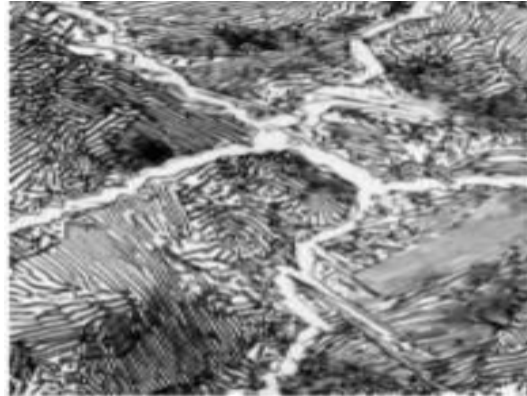


Figura 3: Presencia de Cementita (granos claros) y de Perlita (granos oscuros)

Fuente: López A. Tierno. (2017).

2.2.2.3 Otros Microconstituyentes.

Las texturas básicas descritas (Perlíticas) son las obtenidas enfriando lentamente aceros al carbono, sin embargo, modificando las condiciones de enfriamiento (base de los tratamientos térmicos) es posible obtener estructuras cristalinas diferentes:

La Martensita es el constituyente típico de los aceros templados y se obtiene de forma casi instantánea al enfriar rápidamente la Austenita. Es una solución sobresaturada de carbono en hierro alfa con tendencia, cuanto mayor es el carbono, a la sustitución de la estructura cúbica centrada en el cuerpo por tetragonal centrada en el cuerpo. Tras la Cementita (y los carburos de otros metales) es el constituyente más duro de los aceros. (Ver la figura 4)

Velocidades intermedias de enfriamiento dan lugar a la Bainita, estructura similar a la Perlita formada por agujas de Ferrita y Cementita, pero de mayor ductilidad y resistencia que aquella. (Ver la Figura 5).

. También se puede obtener Austenita por enfriamiento rápido de aleaciones con elementos (que favorece el austenitamiento) como el níquel y el manganeso, tal es el caso por ejemplo de los aceros inoxidable Austeníticos. (Ver la Figura 6)

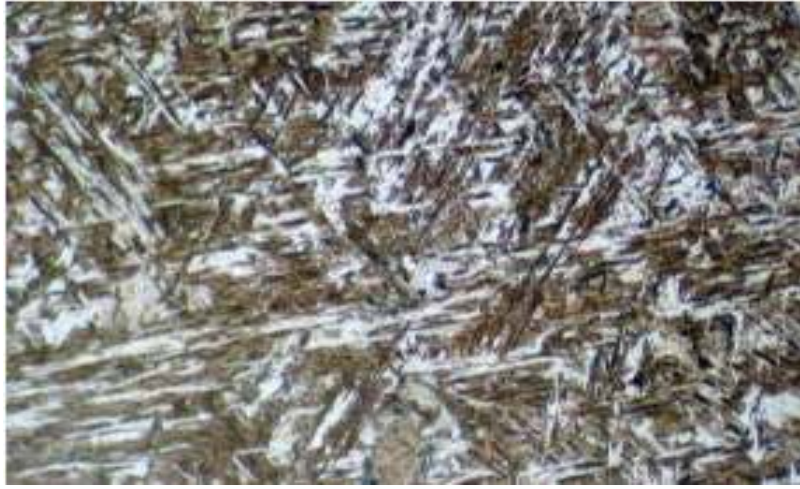


Figura 4: Presencia de Martensita
Fuente: Osmond R. (1902).

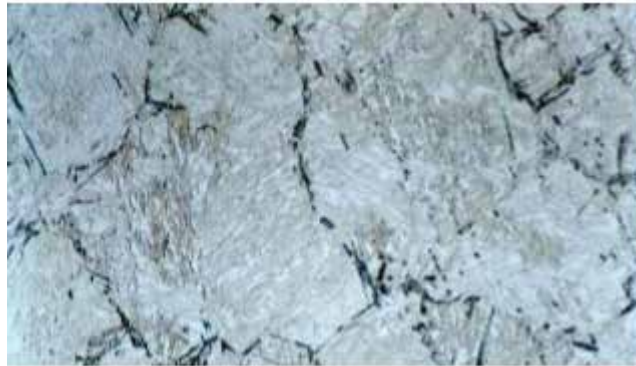


Figura 5: Presencia de Bainita
Fuente: López A. Tierno (2.015).



Figura 6: Presencia de Austenita.
Fuente: <http://throwate.blogspot.com/2014/02/los-aceros.html> (2.017)

Antaño se identificaron también la Sorbita y la Troostita que han resultado ser en realidad perlitas de muy pequeña distancia interlaminar por lo que dichas denominaciones ya no están en uso.

http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4910/html/6_diagrama_fec.html. (2.009).

2.2.3. Aceros de bajo carbono.

Contienen hasta 0,30% de C. la presentación más amplia de estos aceros son los productos planos, usualmente láminas en frío y recocido. Para láminas y secciones estructurales láminas, el contenido de carbono puede ser incrementando con porcentaje Manganeso hasta 1,5%. Este grupo pertenece el acero al carbono AISI 1010.

2.2.4. Aceros medios en carbono.

Contiene entre 0,25 y 0,60% en peso de C. Estos aceros pueden ser tratados térmicamente mediante temple y revenido para mejorar las propiedades mecánicas. La microestructura generalmente es Martensita revenida. Las adiciones de Cr, Ni, Mo facilitan el tratamiento térmico que en su ausencia es difícil y útil solo para las secciones de piezas relativamente delgadas. Son más resistentes que los aceros bajos en carbono, pero menos dúctiles y maleables. Se suelen utilizar para fabricar cinceles, martillos, cigüeñales, pernos, entre otros.

http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4910/html/6_diagrama_fec.html. (2.009).

2.2.5. Aceros altos en carbono.

Generalmente contiene entre el 0,60 y 1,4% en peso de C. Son más duros y resistentes (menos dúctiles) que los otros aceros al Carbono. Casi siempre se utiliza con tratamientos de templado y revenido que los hacen muy resistentes al desgaste y capaces de adquirir la forma de herramienta de corte. Generalmente contienen Cr, V, Wolframio (W) y Mo. Los cuales dan carburos muy duros. Se utilizan como herramienta de corte y matrices para fabricar herramientas de herrería y carpintería. Ramírez A, Cerpa S, Mejías G, León J, y Quintero A. (2.006).

2.2.5.1 Características del Acero AISI 1010

El Acero AISI 1010 es un acero estructural al carbono, de alta ductilidad y buena soldabilidad, utilizado en construcción de estructuras metálicas, tuberías, construcción de maquinarias cuando es endurecido superficialmente mediante tratamiento de cementación o carbonitrurado seguido de temple y revenido. La composición química de una colada de acero AISI 1010 (ver la figura 7).

TABLE 1 Chemical Composition Requirements, %^A

UNS Designation ^B	Type	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Silicon	Chromium	Nickel	Molybdenum	Nitrogen	Other Elements
S41003	...	0.030	1.50	0.040	0.030	1.00	10.5-12.5	1.50	...	0.030	...

^A Maximum, unless range or minimum is indicated.

^B Designation established in accordance with Practice E 527 and SAE J 1086.

Figura 7: Composición química de la colada del acero AISI 1010.

Fuente: ASTM international standards Worldwide (2.016).

Como la mayoría de los aceros, el AISI 1010 tiene una densidad de $7,87 \text{ gr cm}^3$ ($0,284 \text{ lb pulg}^3$), el acero AISI 1010 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores a 20,32 cm (8 pulg) tiene un límite de fluencia mínimo de 300 MPa (44 ksi), un límite de rotura mínimo de 370 MPa (53 ksi) y con una dureza Brinell de 105 HB.

2.2.5.2 Formas

El acero AISI 1010 se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen: Planchas, Perfiles estructurales, Tubos, Láminas y barras.

2.2.6 Procesos de mecanizado.

Según Groover, M. (2.007) los procesos de remoción de material son una familia de operaciones en las que el material sobrante es removido mecánicamente de una pieza de trabajo inicial para obtener la forma final que se desea conseguir. La rama más importante de esta familia de operaciones es el maquinado convencional, en el que una herramienta aguda de corte se utiliza para cortar el material y alcanzar de esta manera la forma deseada. El material de partida para las operaciones de mecanizado es cualquier forma regular obtenida mediante otros procesos de fabricación, como por

ejemplo la fundición o deformación plástica, o piezas prácticamente terminadas a falta de realizar alguna superficie concreta.

De acuerdo a Montes, J., Martínez, L. y del Real Romero, J. (2.006) los tres procesos principales de maquinado son el torneado, el taladrado y el fresado. En el maquinado, la acción predominante del corte involucra la deformación cortante del material para formar la viruta; al removerse la viruta de la pieza inicial de trabajo, queda expuesta una nueva superficie. Para realizar la operación, se requiere de un movimiento relativo entre la herramienta y el material de trabajo que se desea mecanizar. En la mayoría de las operaciones de maquinado, esto se logra por medio de un movimiento primario, llamado la velocidad de corte, y un movimiento secundario, conocido como el avance.

La combinación de estos dos tipos diferentes de movimiento permite obtener ese movimiento relativo entre la pieza inicial de trabajo y la herramienta de corte utilizada, lo cual, en conjunto con otra serie de parámetros también importantes en este tipo de procesos, hace posible obtener la forma final deseada.

En la figura 8 se presenta un esquema de clasificación de los procesos de remoción de material, en el cual, se realiza una primera división de estos procesos en tres grupos diferentes: los procesos de maquinado convencional, los procesos abrasivos y los procesos de maquinado no convencional. Cada grupo presenta los tipos de operaciones de remoción de material utilizados con mayor frecuencia en la actualidad.

2.2.7 Proceso de fresado.

El Fresado es una operación de mecanizado en la cual una herramienta de corte cilíndrica de múltiples filos cortantes y rotatorios remueve material de una pieza de trabajo. El eje de rotación de la herramienta de corte es perpendicular a la dirección de avance, ésta es la principal diferencia con la operación de taladrado en la cual el eje de rotación de la herramienta siempre es paralelo a la dirección de avance.

La herramienta de corte en fresado se llama fresa o cortador para fresadora y los bordes cortantes de la misma se llaman dientes. La fresa gira dando el movimiento principal de corte, los dientes de fresa entran y salen del material de trabajo durante cada revolución o vuelta, esto interrumpe la acción de corte y sujeta los dientes a un

ciclo de fuerzas de impacto y choque térmico en cada rotación. El material de la herramienta y la geometría de la misma deben diseñarse para soportar estas condiciones. Los otros movimientos de la fresadora son el movimiento de avance (horizontal y rectilíneo), el cual lo lleva la pieza de trabajo y el movimiento de penetración o de profundidad de pasada (es vertical y rectilíneo) que también lo lleva la pieza de trabajo. La máquina – herramienta que ejecuta la operación de fresado se denomina fresadora, estas máquinas tienen un husillo rotatorio para la fresa y una mesa para sujetar, poner en posición y avanzar la pieza de trabajo.

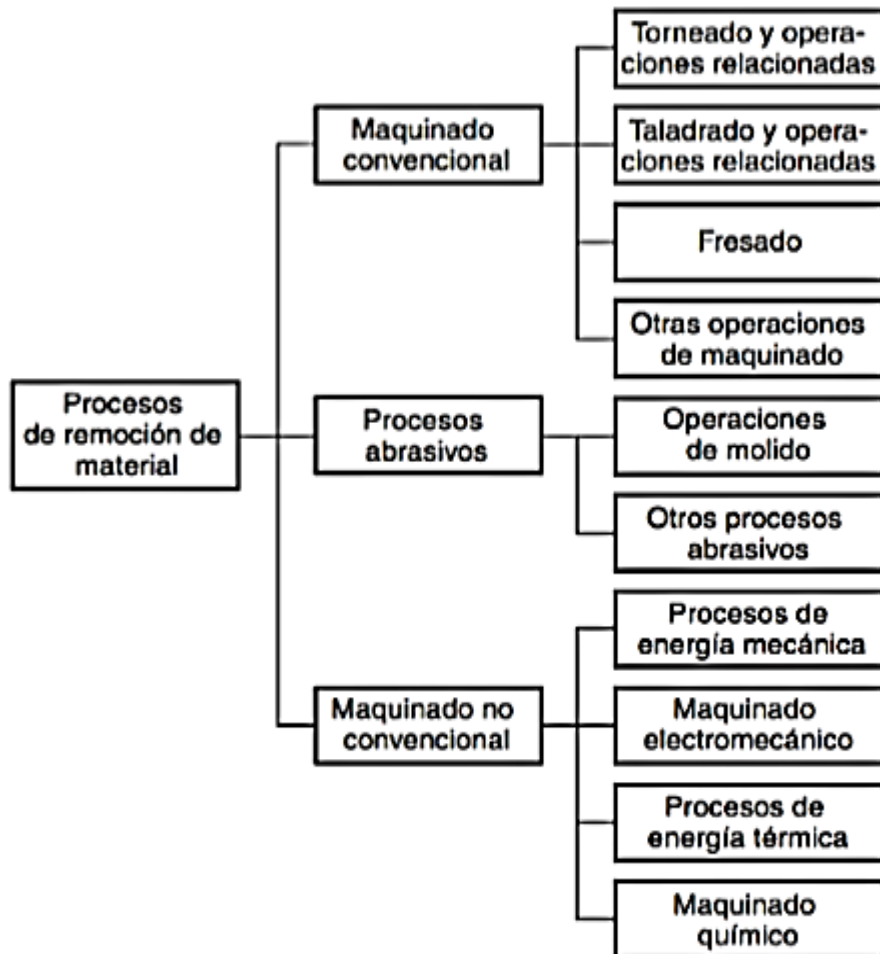


Figura 8: Clasificación de los procesos de remoción de material

Fuente: Groover, M. (2.007).

De acuerdo a la disposición de la herramienta de corte en la fresadora y de acuerdo a su principio de funcionamiento las fresadoras se clasifican en:

Fresadora Horizontal.

Fresadora Vertical.

Fresadora Universal.

Fresadora Copiadora.

Fresadora CNC.

Fresadoras Especiales.

Las figuras 9 y 10 representan los movimientos respectivos que efectúa cada una de las fresadoras: vertical, horizontal y universal, siendo ésta última una combinación de una fresadora vertical y una fresadora horizontal.

2.2.7.1 Operaciones de Fresado.

Existen dos tipos de fresado según la orientación del eje de rotación de la fresa, como se muestra en la figura 11, el fresado cilíndrico o tangencial cuando el eje de rotación de la fresa es paralelo a la superficie de trabajo que se está mecanizando y la operación se realiza por los bordes cortantes en la periferia exterior de la herramienta de corte, y el fresado frontal cuando el eje de la fresa es perpendicular a la superficie de la pieza y el mecanizado se ejecuta por los filos cortantes del extremo y la periferia de la fresa.

En el fresado cilíndrico hay dos direcciones opuestas de rotación que puede tener la fresa con respecto a la pieza de trabajo. En el fresado ascendente o convencional la dirección de la velocidad tangencial de los dientes de la fresa es opuesta a la dirección de avance de la pieza, mientras que el fresado descendente la dirección de la velocidad tangencial de los dientes de la fresa es igual a la dirección de avance de la pieza. En el fresado ascendente o contra dirección, la viruta formada por cada diente del cortador comienza muy delgada y aumenta su espesor durante el paso del diente. En el fresado descendente o paralelo, cada viruta empieza gruesa y se reduce a través del corte. La longitud de la viruta en el fresado descendente es menor que en el fresado ascendente, esto significa una reducción del tiempo de trabajo por volumen de material cortado, lo

que tiende a incrementar la vida de la herramienta en el fresado descendente, en la figura 12 se muestra ambas formas de fresado cilíndrico.



Figura 9: Fresadora horizontal (izquierda) y fresadora vertical (derecha).
Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).



Figura 10: Fresadora universal
Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

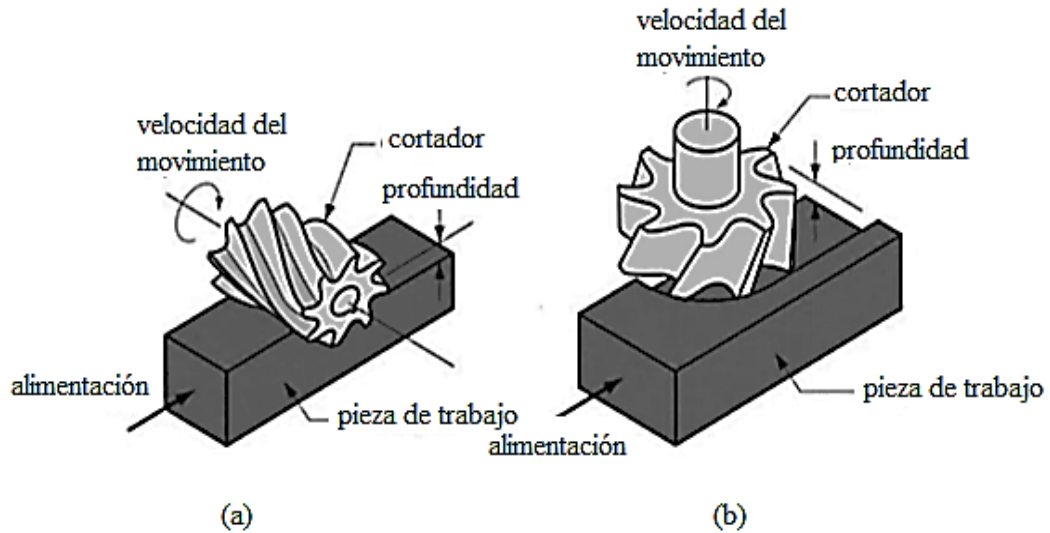


Figura 11: a) Fresado Cilíndrico, b) Fresado Frontal.

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

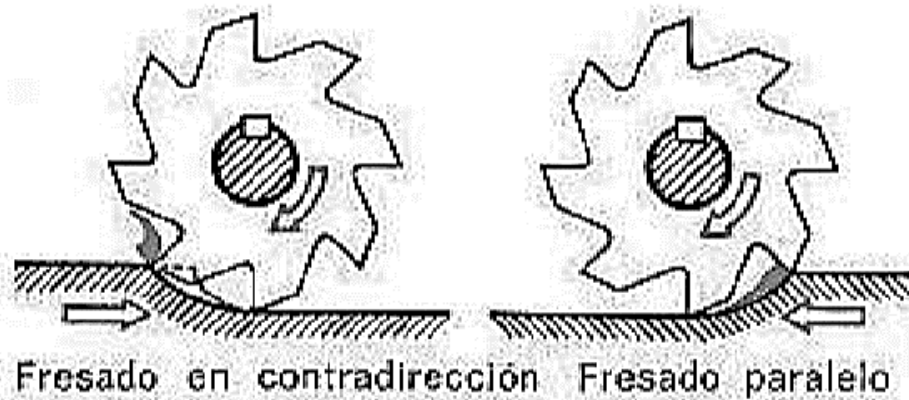


Figura 12: Fresado ascendente y fresado descendente

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

Con el fresado cilíndrico, se pueden realizar distintas operaciones de fresado que a continuación se describen y están representadas en la figura 13:

a) Fresado de placa: es la forma básica del fresado periférico en la cual el ancho de la fresa se extiende más allá de la pieza de trabajo en ambos lados.

- b) Ranurado: en este caso el ancho de la fresa es menos que el ancho de la pieza de trabajo (con esta operación se puede cortar el material con una fresa muy angosta, en este caso se denomina aserrado).
- c) Fresado Lateral: en este caso la fresa mecaniza el lateral de la pieza de trabajo.
- d) Fresado Paralelo: es similar al fresado lateral, solo que el corte tiene lugar en ambos lados de la pieza de trabajo al mismo tiempo (dos fresas en el árbol).

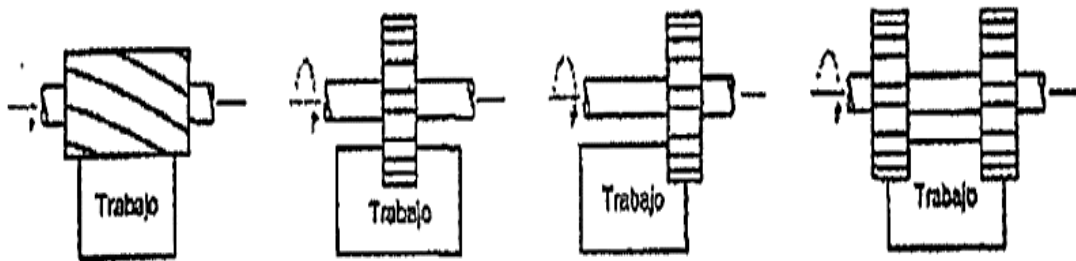


Figura 13: Operaciones en el fresado cilíndrico.
Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

Con el fresado frontal también se pueden realizar distintas operaciones de fresado que a continuación se describen y están representadas en la figura 14:

- a) Fresado frontal: es la forma básica de fresado frontal en la cual el ancho de la fresa se extiende más allá de la pieza de trabajo y se remueve material de la superficie de la misma.
- b) Fresado parcial: en este caso la fresa sobrepasa a la pieza de trabajo solamente de un lado con la finalidad de generar un escalón.
- c) Fresado terminal: en el cual la fresa es menor que el ancho de la pieza de trabajo, de manera que se genera una ranura dentro de la pieza de trabajo.
- d) Fresado de perfiles: es una forma de fresado terminal en el cual se corta una parte plana de la periferia de la pieza de trabajo.
- e) Fresado de cavidades: es otra forma de fresado terminal usado para fresar cavidades poco profundas en partes planas.

f) Fresado de contornos: en este caso una fresa con punta redondeada para mecanizar superficies curvilíneas creando una superficie tridimensional.

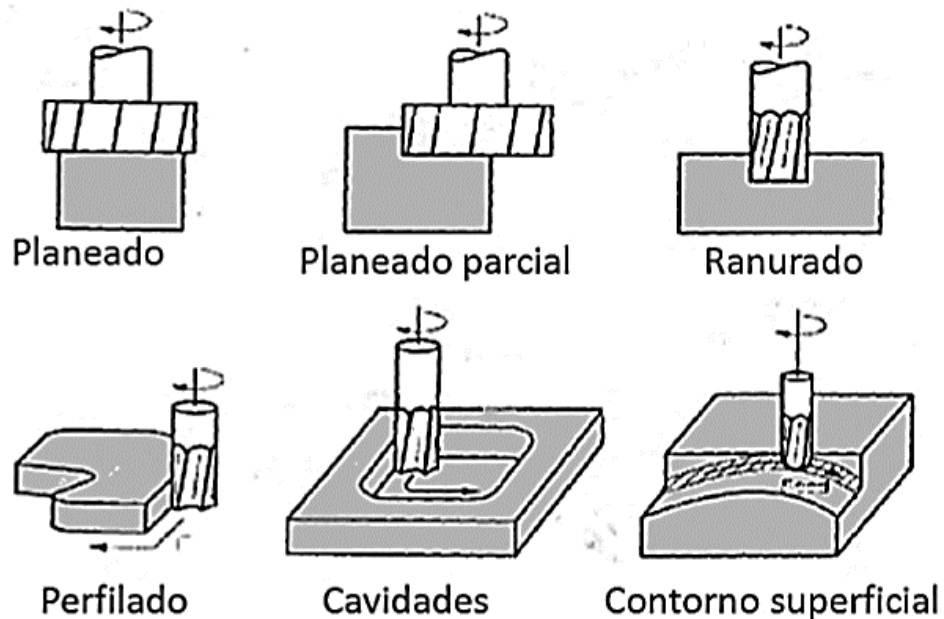


Figura 14: Operaciones en el fresado frontal.

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

2.2.8 Herramientas de corte en el fresado.

Las fresas son fabricadas de acero rápido (SS), de acero extra rápido (HSS) y acero de herramientas (WS), estas últimas trabajan con velocidades de corte reducidas mientras que las de acero rápido pueden emplearse a velocidades de corte mayores. En el caso de fresas de gran tamaño se fabrica el cuerpo a base de acero de construcción y se le insertan filos de acero rápido. Las características más importantes en la descripción de una fresa son el diámetro, el número de dientes, el ancho, el material con que está construida y el diámetro del mango o del agujero interno para la instalación en la fresadora.

Los labios cortantes de las fresas de acero rápido (HSS) pueden ser rectilíneos o helicoidales, y las fresas que montan plaquitas intercambiables son de carburo metálico como el carburo de tungsteno, conocido como widia, de metalcerámica o, en casos

especiales, de nitruro de boro cúbico (CBN) o de diamante policristalino (PDC). En general, los materiales más duros en los filos de corte permiten utilizar mayores velocidades de corte, pero al ser menos tenaces, exigen una velocidad de avance menor. El número de labios o plaquitas de las fresas depende de su diámetro, de la cantidad de viruta que debe arrancar, de la dureza del material y del tipo de fresa.

La clasificación de las fresas es un tanto extensa, en la figura 15 se muestra una clasificación de las fresas de acuerdo a su forma y aplicación.

2.2.8.1 Parámetros de corte en el fresado.

Los parámetros de corte en una operación de fresado son la velocidad de corte que, en este caso, está representada por la velocidad tangencial de la fresa y el avance, que por lo general se expresa como el avance por cada diente cortante de la fresa (llamada también carga de viruta) o la velocidad de avance lineal del material. La selección de estos parámetros se hace de acuerdo a las características del material al cortar, tipo de operación y con el material de la herramienta a utilizar. La figura 16 muestra los valores recomendados de velocidad de corte para fresas y la figura 17 muestra los valores recomendados para la velocidad de avance en procesos de fresado. Estos valores recomendados se obtienen mediante ensayos experimentales y pueden ser suministrados de acuerdo al modelo de la fresa por el fabricante de las mismas.

En operaciones de fresado se toma como referencia que un fresado con una profundidad de corte de un mm (1 mm) o más es un mecanizado de desbaste, mientras que cuando la profundidad de corte es menor a un mm (1 mm), entonces es un mecanizado de afinado.

2.2.8.2 Afilado de fresas.

La forma constructiva de las fresas de acero rápido permite que cuando los filos de corte están desgastados puedan ser afilados nuevamente mediante unas máquinas de afilar diseñadas para esta tarea. Hay un tipo de máquina, denominada afiladora universal que, con los accesorios adecuados y las muelas adecuadas, permite realizar


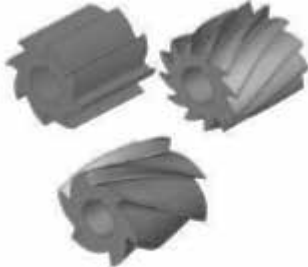



	Tipo de fresa	Aplicación
Cilíndrica de corte tangencial		Para desbaste y afinado de superficies planas (planeado).
Cilíndrica de corte tangencial y frontal		Para desbaste y afinado en superficies planas (planeado) y para ranurados
De vástago		Para fresado frontal de ranuras, perfiles, cavidades y contornos. Existen fresas de vástago en forma de V para ranurados.
Fresas limas		Se utilizan para ajuste, desbarbado y pulido de las superficies.
Fresas de forma		Se utilizan para el mecanizado de superficies con formas definidas, la más común es la fresa de forma para engranajes (modular).

Figura 15: Clasificación de las fresas.

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

el afilado de brocas, escariadores y fresas frontales y cilíndricas mediante el rectificado con discos de esmeril. (Ver figura 18).

Material de trabajo	HSS		Punta de carburo	
	Desbaste	Afinado	Desbaste	Afinado
Acero SAE X-1315	55	65	135	200
Acero SAE 1020	20	28	90	120
Acero SAE 1035	25	32	75	140
ACERO SAE 1050	21	30	60	90
Acero SAE 2315	30	40	90	120
Acero SAE 3150	16	25	60	90
Acero SAE 4150	13	25	60	90
Acero SAE 4340	13	25	60	90
Acero Inoxidable	21	32	82	116
Acero colado	16	24	50	68
Semiacero	13	23	45	83
Hierro colado	16	24	50	68
Cobre	38	50	180	300
Laton	76	80	240	280
Bronce	38	50	180	300
Aluminio	120	200	240	300
Magnesio	200	380	380	450

Figura 16: Valores recomendados de velocidad de corte (m/min) para fresas.

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

Tipo de fresado	Avance (mm/min)	
	Acero al carbono	HSS
Acero dulce	28	60
Acero semiduro	20	30
Acero duro	13	25
Acero muy duro	12	20
Funcion gris	10	45
Aluminio y cobre	50	100
Bronce	40	80

Figura 17: Valores recomendados para velocidad de avance (f) para fresado.

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).



Figura 18: Afilado de la fresa.

Fuente: Montes, J., Martínez, L. y del Real Romero, J. (2.006).

2.2.8.3 Parámetros de corte del fresado

Los parámetros tecnológicos fundamentales que hay que considerar en el proceso de fresado son los siguientes:

Elección del tipo de máquina, accesorios y sistemas de fijación de pieza y herramienta más adecuados.

Elección del tipo de fresado: frontal, tangencial en concordancia o tangencial en oposición.

Elección de los parámetros de corte: velocidad de corte (V_c), velocidad de giro de la herramienta (N), velocidad de avance (V_a), profundidad de pasada (p), anchura de corte (A_c), etc.)

2.2.9 Ecuaciones básicas en el fresado.

A continuación, se muestran las ecuaciones básicas que se utilizan en procesos de fresado, tomado del Pereira, Juan C. (2.004).

2.2.9.1. Velocidad de Corte:

$$V_c = \frac{D \times \pi \times N}{1000} \quad \text{Ec. 1}$$

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_c} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

V_c : Velocidad de corte (m/min).

N : Velocidad angular de la fresa (rpm).

D_c : Diámetro exterior de la fresa (mm).

2.2.9.2. Área de corte:

$$A = w \times d \quad \text{Ec. 3}$$

Siendo:

A : Área de corte (mm^2).

w : Ancho de trabajo (depende del tipo de operación) (mm).

d : Profundidad de pasada. (mm).

2.2.9.3. Velocidad de Avance Lineal:

$$F = N \times nd \times f \quad \text{Ec. 4}$$

En la que:

F : Avance lineal (mm/min).

N : Velocidad de rotación (rev/min).

nd : Número de dientes de la fresa (dientes/rev).

f : Carga de viruta (mm/diente).

2.2.9.4. Tasa de remoción de material:

$$V = A \times F = w \times d \times N \times nd \times f \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

V : Tasa de remoción de material (mm³/min) (por cada revolución).

f : Avance (mm/min). d : Profundidad de pasada (mm).

N : Velocidad angular de la fresa (rev/min).

nd : Número de dientes de la fresa (dientes/rev).

f : Carga de viruta (mm/diente).

2.2.9.5. Tiempo de mecanizado:

$$tc = L N \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

tc : Tiempo de corte (min).

L : Longitud mínima que recorre la fresa para mecanizar la superficie (mm).

N : Velocidad de rotación de la fresa.

La longitud mínima que debe recorrer la fresa depende del tipo de fresado que se realiza, es decir, si se trata de un fresado cilíndrico o si se trata de un fresado frontal.

2.2.9.6 Fresado Cilíndrico:

En este caso la fresa debe recorrer la superficie desde que esta comienza a tocar la pieza de trabajo hasta que recorre toda la superficie y termina de remover el material. (Ver figura 19). Para este caso la longitud mínima será:

$$L = l + Ad \quad \text{Ec. 7}$$

En la que:

L : Longitud mínima que recorre la fresa para mecanizar la superficie (mm).

l : Longitud de la pieza de trabajo.

Ad : Aproximación de la fresa (mm).

La aproximación de la fresa se puede determinar por el teorema de Pitágoras y se expresa como:

$$Ad = \sqrt{d \times (Df - d)} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

Ad : Aproximación de la fresa (mm).

d : Profundidad de pasada (mm).

Df : Diámetro de la fresa (mm).

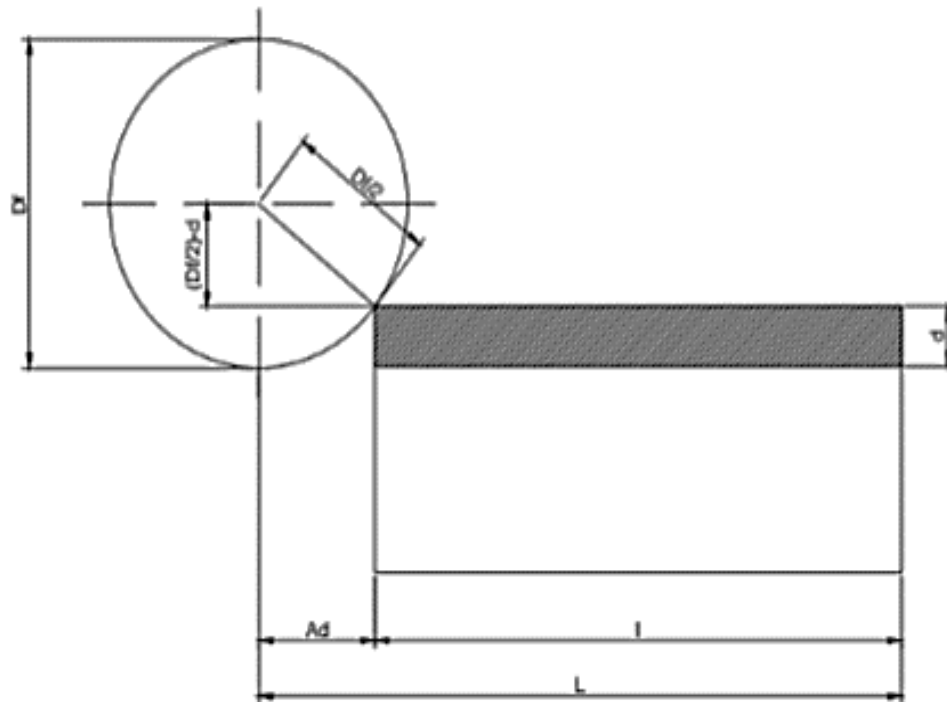


Figura 19: Esquema de un fresado cilíndrico.

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

El tiempo de mecanizado será entonces:

$$t_c = \frac{l + \sqrt{d \times (D_f - d)}}{F} \quad \text{Ec. 9}$$

Siendo:

t_c : Tiempo mínimo de mecanizado (min).

d : Profundidad de pasada (mm).

D_f : Diámetro de la fresa (mm).

F : Avance lineal (mm/min).

2.2.9.7 Fresado Frontal:

Para el caso del fresado frontal, la expresión de la aproximación de la herramienta depende de si el diámetro de la fresa es mayor, igual o menor al ancho de la pieza a mecanizar.

a) Cuando el diámetro de la fresa es mayor que el ancho de la pieza ($D_f > w$) la aproximación de la herramienta (fresa) queda definida aplicando el teorema de Pitágoras (Ver Figura 20).

$$A_d = \frac{D_f}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D_f^2 - w^2} \quad \text{Ec. 10}$$

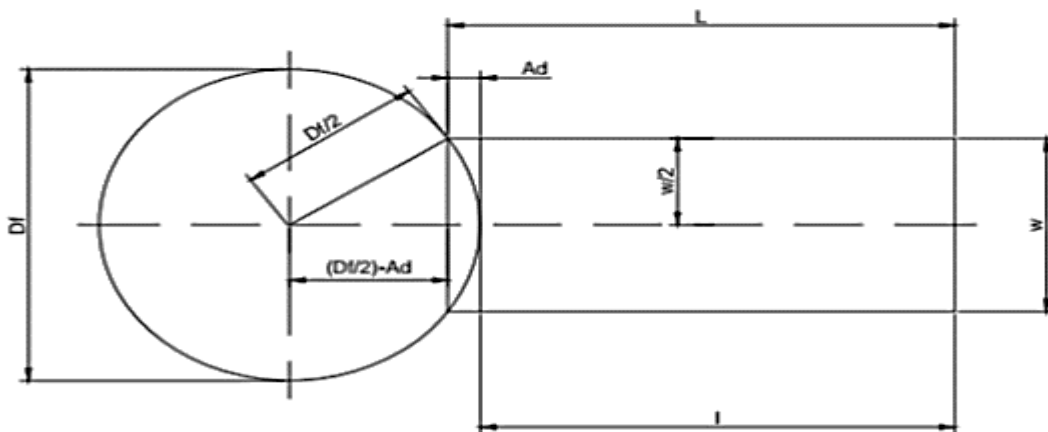


Figura 20: Esquema de un fresado frontal cuando $D_f > w$.

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

b) Cuando el diámetro de la fresa es menor o igual que el ancho de la pieza (D_f aproximación de la herramienta (fresa) queda definida por la geometría de la fresa, en este caso el radio (Ver Figura 21).

$$A_d = \frac{D_f}{2} = R_f \quad \text{Ec. 11}$$

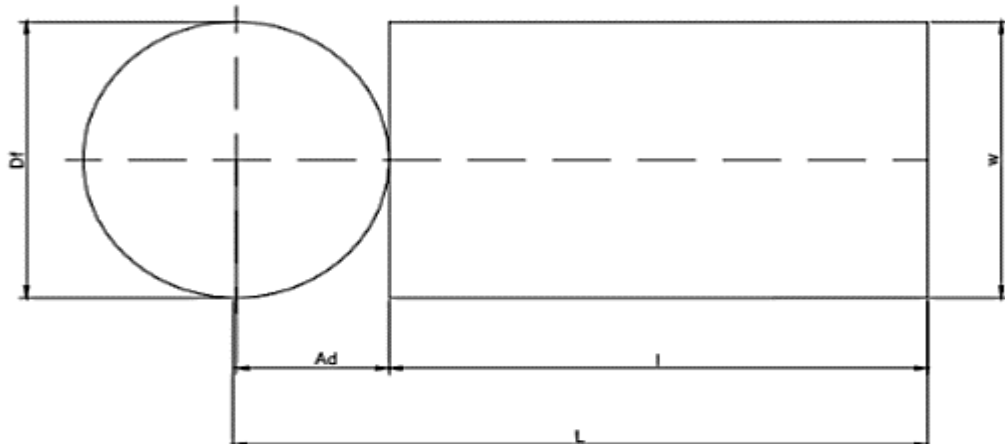


Figura 21:

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

Finalmente, la expresión del tiempo del mecanizado en la operación de fresado frontal queda definido como:

$$A_d = \frac{D_f}{2} = \frac{l + A_d}{F} \quad \text{Ec. 12}$$

$$t_c = \frac{L}{F} = R_f$$

2.2.10. Rugosidad superficial.

Una superficie es el límite exterior de un objeto con su ambiente, que puede ser otro objeto, un fluido, el espacio, o una combinación de éstos. La superficie encierra el conjunto de propiedades mecánicas y físicas.

La textura de una superficie consiste en las desviaciones repetitivas o aleatorias de la superficie nominal de un objeto; la definen cuatro características: rugosidad, ondulación, orientación y defectos o fallas. La rugosidad de la superficie se refiere a las desviaciones pequeñas, espaciadas finamente, de la superficie nominal y que están determinadas por las características del material y el proceso que formó la superficie.

La ondulación se define como las desviaciones de espaciamiento mucho mayor; ocurren debido a la deflexión del trabajo, vibraciones, tratamientos térmicos, y factores similares. La rugosidad está sobre impuesta a la ondulación. La orientación es la dirección predominante o patrón de la textura de la superficie. Está determinada por el método de manufactura utilizado para crear a la superficie, por lo general a partir de la acción de una herramienta de corte. Por último, los defectos son irregularidades que ocurren en forma ocasional en la superficie; incluyen grietas, ralladuras, inclusiones y otros defectos similares. [Groover, M. (2007)].

La rugosidad de las superficies representa entonces, una irregularidad aleatoria y de menor dimensión que las ondulaciones, propia de la herramienta de trabajo o de la energía empleada, fácilmente modificable al variar los parámetros de trabajo. Montes, J., Martínez, L. y del Real Romero, J. (2006), informan que la rugosidad es además la medida que se emplea más comúnmente para la textura de una superficie.

La figura 22 muestra los rasgos de la textura de una superficie.

Así mismo según Groover, M. (2007) la rugosidad de la superficie se define como el promedio de las desviaciones verticales a partir de la superficie nominal, en una longitud especificada de la superficie. Por lo general se utiliza un promedio aritmético (AA), con base en los valores absolutos de las desviaciones, y este valor de la rugosidad se conoce con el nombre de rugosidad promedio. (Ver figura 18).

En forma de ecuación, es:

$$R_a = \int_0^{Lm} \frac{|y|}{Lm} dx \quad \text{Ec. 13}$$

En la que:

R_a : Media aritmética de la rugosidad [m]

y : Valor absoluto de la desviación vertical a partir de la superficie nominal [m].

Lm : Distancia especificada en la que se miden las desviaciones de la superficie.

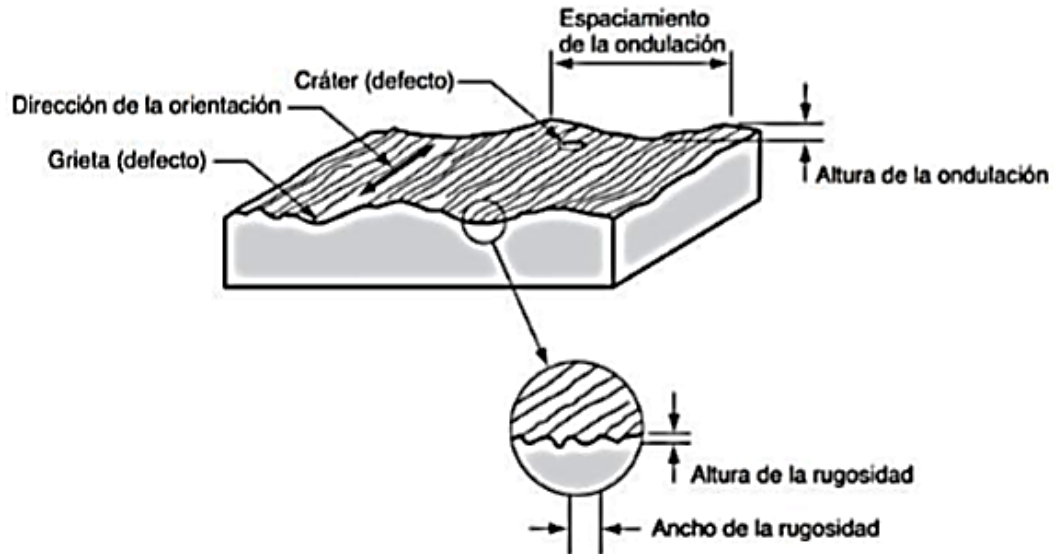


Figura 22: Rasgos de la textura de una superficie.

Fuente: Groover, M. (2.007).

Una aproximación de la ecuación viene dada por:

$$R_a = \sum_{i=1}^n \frac{|y_i|}{n} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

R_a : Media aritmética de la rugosidad [m]

y_i : Desviaciones verticales convertidas a valor absoluto e identificadas por el subíndice i [m]

n : Número de desviaciones incluidas en Lm .

La rugosidad superficial, se puede definir como el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados.

A pesar de que suele utilizarse la unidad metro (m), por ser tan pequeña la escala de las desviaciones, la unidad más apropiada para representar la rugosidad superficial

es el micrómetro (μm). Con frecuencia, el maquinado es el proceso de manufactura que determina la geometría final y las dimensiones de la pieza. La rugosidad de una superficie maquinada depende de muchos factores que pueden agruparse de la siguiente manera:

Factores geométricos: Son todos aquellos factores que determinan la geometría de la superficie de una pieza mecanizada, y entre ellos tenemos: tipo de operación de mecanizado, geometría de la herramienta de corte, avance de la herramienta o del material. Estos factores siempre van a estar presentes en la operación de mecanizado por lo que la rugosidad obtenida sería la mejor (Rugosidad ideal) si se controlan los factores que a continuación se detallan.

Factores de material de trabajo: Son aquellos factores que surgen de la interacción entre el material y la herramienta de corte, y son los siguientes: Efectos de acumulación en el filo, debido a que se forma una acumulación en el filo que se rompe cíclicamente, las partículas se depositan en la superficie recién creada produciendo una textura rugosa como una lija. Daño causado a la superficie por la viruta enredada en el trabajo. Desgarramiento de la superficie cuando se trabaja con metales dúctiles. Grietas por formación discontinua de viruta al mecanizar materiales frágiles. Fricción entre el flanco de la herramienta y la superficie recién generada.

Factores de vibración de la máquina y herramienta: Estos factores se relacionan con la máquina herramienta, con la sujeción de la herramienta y con la instalación de la operación. Incluye la vibración de la máquina, la deflexión de los montajes, el juego en los mecanismos de avance, etc.

2.2.10.1. Definición de rugosidad ideal y rugosidad natural.

La rugosidad superficial obtenida en una operación de mecanizado puede considerarse como la suma de dos efectos independientes: la rugosidad superficial “ideal” (R_{ai}) que es un resultado de la geometría de la herramienta y de la velocidad de avance, por lo que depende únicamente de los factores geométricos explicados anteriormente. Y la rugosidad superficial “natural” (R_{an}) que depende de las

irregularidades en la operación y del material, por lo que depende de los factores asociados al material de trabajo, la vibración y la máquina en sí. Por lo tanto:

$$R_a = Ra_i + Ra_n \quad \text{Ec. 15}$$

La rugosidad ideal representa el mejor acabado que se puede obtener de una forma de herramienta y avance seleccionado y solo puede alcanzarse si se eliminan los otros factores que generan la rugosidad natural. Dependiendo del tipo de herramienta de corte utilizada en el mecanizado se obtiene esta rugosidad que se observa (ver la figura 23). Para una operación de fresado se puede determinar también la rugosidad ideal a partir de la geometría de la herramienta de corte (fresa) y el avance determinando el área del material removido:

Fresado cilíndrico: [Pereira, Juan C. (2.004)]

$$Ra_i = \frac{0,125 \times f^2}{\left(\frac{D}{2}\right) \pm \left(\frac{f \times n_t}{\pi}\right)} \quad \text{Ec. 16}$$

Siendo:

f : Carga de viruta (mm/diente)

D : Diámetro de la fresa (mm)

n_t : Número de dientes de la fresa (filos)

(+): Si el fresado es ascendente (Ver figura 12)

(-): Si el fresado es descendente (ver figura 12)

La carga de viruta se puede determinar como:

$$f = \frac{f_r}{N \times n_t} \quad \text{Ec. 17}$$

En la que:

f_r : Velocidad de avance del material (mm/min)

N : Velocidad de rotación del husillo y de la fresa (rev/min)

n_t : Número de dientes de la fresa (filos)

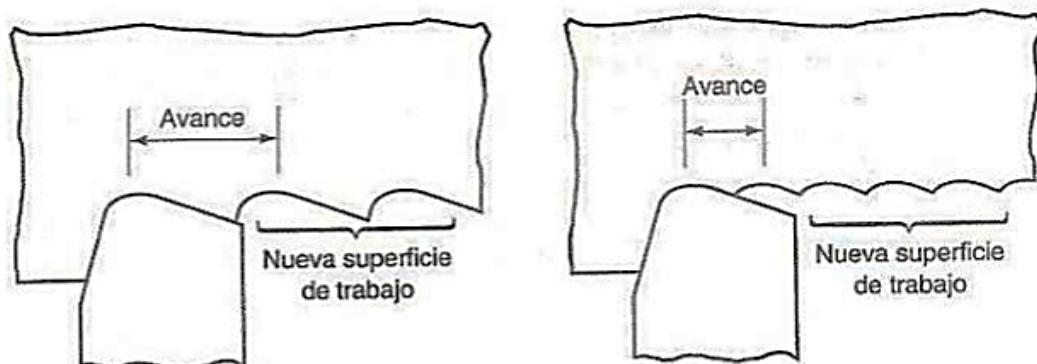


Figura 23: Rugosidad generada por: Herramienta de corte con filo y herramienta de corte con radio de punta.

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

La rugosidad natural es la rugosidad generada por los factores del material de trabajo y los factores dependientes de la máquina, esta rugosidad superficial no es posible determinarla teóricamente, sin embargo, se han realizado ensayos que permiten obtener la rugosidad natural generada en la operación de mecanizado en función del tipo de material y la velocidad de corte. Este factor se obtiene de la gráfica mostrada en la figura 24.

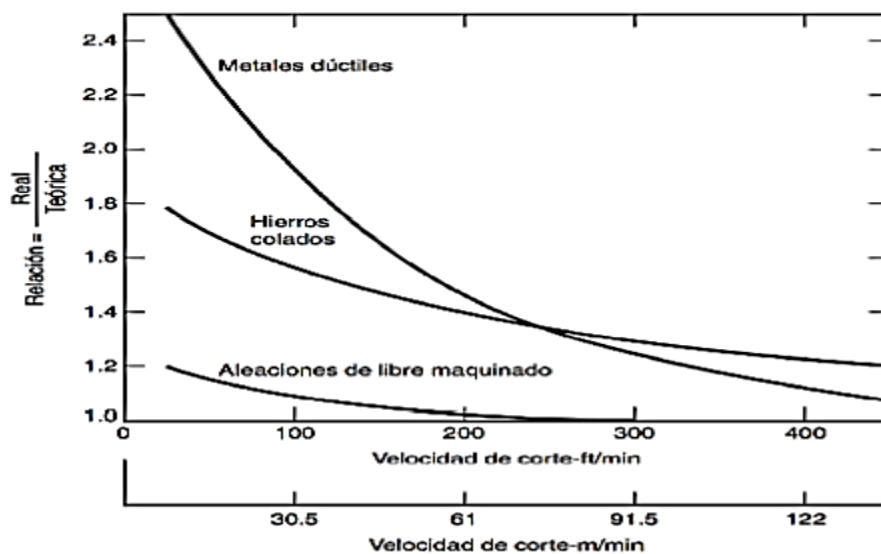


Figura 24: Relación entre la rugosidad real y la rugosidad natural (Rai) Fuente:

Fuente: Ensayos de General Electric Co. (2.006).

Por lo tanto, es posible determinar la rugosidad real como:

$$R_a = Ra_i + Ra_n = ra_i \times Ra_i \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

Ra_i : es la rugosidad ideal.

Ra_n : es la rugosidad natural.

ra_i : es la relación entre la rugosidad real y la rugosidad ideal.

Fresado frontal: [Boothroyd, Geoffrey y Knight, Winston. (2.006)]

Para el fresado frontal se cuenta con este modelo el cual depende del diámetro de la fresa, la velocidad de avance y de rotación de la herramienta de corte.

$$R_a = \frac{0,0642}{D_f} \left(\frac{f}{N} \right)^2 \quad \text{Ec. 19}$$

Siendo:

Ra : Rugosidad superficial teórica (ft)

Df : Diámetro de la fresa (ft)

f : Velocidad de avance del material (in/min)

N : Velocidad de rotación del husillo y de la fresa (RPM)

Cabe destacar que este modelo matemático arroja el valor de rugosidad real (Ra) directamente, sin la necesidad de utilizar gráficas o tablas para relacionar la rugosidad ideal con la natural; pero éste necesita el uso de unidades del sistema inglés, dando como resultado la rugosidad en pies (ft), por lo que requiere de una transformación para obtener el resultado en micrómetros (μm). Se añade un factor y la ecuación queda de la siguiente manera:

$$R_a = \frac{0,0642}{D_f} \left(\frac{f}{N} \right)^2 \times \left(304.785,7716 \frac{\mu m}{pie} \right) \quad \text{Ec. 20}$$

Dicho factor corresponde a la conversión de pies (ft) a micrómetros (μm).

2.2.10.2. Grado de rugosidad generado por las distintas máquinas herramientas.

En la textura de una pieza mecanizada se puede predecir cuál será el rango de rugosidad conociéndose cuál fue el proceso de fabricación utilizado, debido a que cada

proceso utiliza una herramienta de corte específica que incrementa o disminuye la rugosidad ideal. En la figura 25 se presenta una serie de rugosidades superficiales típicas que se pueden obtener en procesos de mecanizado convencionales.

También, se puede observar en la primera columna la antigua simbología utilizada en los planos para indicar el tipo de rugosidad superficial y en la segunda columna los grados de rugosidad implementados por la ISO para indicarla en los planos estandarizados por esta norma. En la última columna se puede ver cuáles son los procesos de mecanizado que pueden generar los distintos grados de rugosidad en una pieza mecanizada, obsérvese que para grados de rugosidad del N1 al N5 es necesario un proceso de rectificado para obtener una superficie de gran calidad.

CALIDAD SUPERFICIAL.					
Símbolo Antiguo	Designación	Ra (μm)	Rz (μm)	Procesos de mecanizado	
~	N12	50	240	SIN MECANIZAR BIEN ACABADO	
	N11	25	160		
▽	N10	12,5	100	TORNEADO	
∩	N9	6,3	63		FRESADO TANGENCIAL
	N8	3,2	40		
	N7	1,6	20	FRESADO FRONTAL	
∩	N6	0,8	12,5	LAFEADO	
	N5	0,4	8		BRUÑIDO
∩	N4	0,2	4	RECTIFICADO	
	N3	0,1	2,5		
	N2	0,05	1,6		
∩	N1	0,025	1		

Figura 25: Grados de rugosidad generada por las máquinas herramientas.

Fuente: Pereira, Juan C. (2.004).

2.2.10.3. Medida de la rugosidad: Rugosímetros.

Los rugosímetros sirven para determinar con rapidez la rugosidad de las superficies. Los rugosímetros muestran la profundidad de la rugosidad media Rz y el valor de rugosidad medio Ra. Los rugosímetros facilitan la rápida determinación de la superficie de un componente, por otro lado, la realización de la medición de la rugosidad es muy sencilla. Los rugosímetros entran en contacto con la superficie en cuestión de segundos y muestran la rugosidad directamente en Ra o en Rz. Las siguientes normas se ocupan del control de la rugosidad: DIN 4762, DIN 4768, DIN 4771, DIN 4775, el alcance de la rugosidad de superficies lo encontrará en DIN 4766.

2.2.10.4 Rugosímetro de palpador mecánico:

Instrumento para la medida de la calidad superficial basado en la amplificación eléctrica de la señal generada por un palpador que traduce las irregularidades del perfil de la sección de la pieza. Sus elementos principales son el palpador, el mecanismo de soporte y arrastre de éste, el amplificador electrónico, un calculador y un registrador. (Ver figura 26).



Figura 26: Rugosímetro de palpador mecánico.

Fuente: Groover, M. (2.007).

Actualmente los rugosímetros permiten calcular y tratar numerosos parámetros de rugosidad, compensar la forma de la pieza o programar la medida.

2.2.10.5 Rugosímetro de Palpador inductivo:

El desplazamiento de la aguja al describir las irregularidades del perfil modifica la longitud del entrehierro del circuito magnético, y con ello el flujo de campo magnético que lo atraviesa, generando una señal eléctrica. (Ver figura 27).

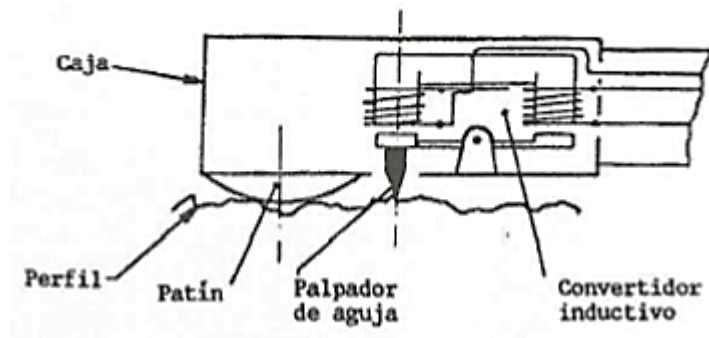


Figura 27: Rugosímetro de palpador inductivo.

Fuente: Groover, M. (2.007).

2.2.10.6 Rugosímetro Palpador piezoeléctrico:

El desplazamiento de la aguja del palpador deforma elásticamente un material piezoeléctrico, que responde a dicha deformación generando una señal eléctrica. (Ver figura 28).

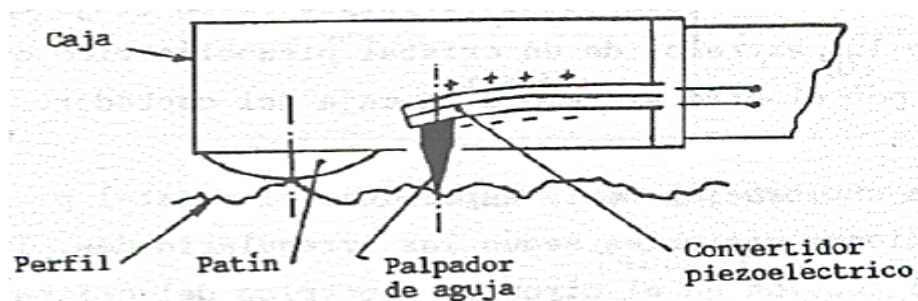


Figura 28: Rugosímetro de palpador piezoeléctrico.

Fuente: Groover, M. (2.007)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Para llevar a cabo este proyecto se establecieron los niveles de investigación del mismo, y de esa forma se definió el grado de profundidad con el que se abordó la investigación para responder al problema planteado de forma adecuada. Este proyecto presentó un nivel de investigación de tipo descriptivo, ya que según Tamayo y Tamayo M (2.004) la investigación de este tipo comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o proceso de los fenómenos. Por lo que, basándose en las características y propiedades del conjunto a investigar, se estableció su comportamiento.

Por otra parte, también existió un enfoque de tipo explicativo, ya que según Arias F. (2.012) dicho enfoque se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. Debido a esto, se dio respuesta a una interrogante.

La investigación fue de tipo experimental, ya que según Arias F. (2.012), este tipo de investigación es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, para observar los efectos o reacciones que se producen. Por lo que se realizó una serie de ensayos con el objeto de conocer el efecto que tienen las variables antes mencionadas (velocidad de avance de la herramienta, profundidad de corte y velocidad de corte y, la condición de lubricación), además del efecto que tiene el uso de diferentes máquinas-herramientas sobre la relación de rugosidad superficial en operaciones de fresado (planeado).

3.2. Nivel de la investigación.

La investigación es de carácter descriptivo, como se explicó anteriormente según Tamayo y Tamayo M. (2.004), ya que se caracterizará la rugosidad superficial que se obtiene en el proceso de fresado de un acero, con el fin de determinar las curvas de

relación de Rugosidad vs. Velocidad de Avance, utilizando herramientas de diferentes filos, como también el uso de dos fresadoras de diferentes características y fabricantes, además modificando los parámetros de corte, como lo son: la velocidad de avance de la herramienta, la velocidad y profundidad de corte; así como el uso o no de un fluido lubricante durante el proceso de mecanizado.

3.3 Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación corresponde a una investigación experimental de laboratorio debido a que se realizarán ensayos que permitirán determinar la relación entre la rugosidad superficial y los diferentes parámetros de mecanizado que intervienen durante el fresado. Para el diseño de los ensayos requeridos, se combinaron dos máquinas fresadoras de distintos fabricantes, así como de tres herramientas de corte (fresas de vástago de 1, 3 y 4 filos), tres velocidades de avance de la herramienta, tres velocidades de corte, tres profundidades de corte, además del uso o no de fluido lubricante, para obtener un arreglo factorial de $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 2 \times 2$.

Es importante mencionar que este arreglo factorial se representó en tablas de datos, tal y como se muestra en la tabla 1 donde se esquematiza la matriz que se utilizara para cada una de las herramientas de corte implementadas en cada una de las máquinas, donde se reflejan los valores de rugosidad superficial para cada valor de velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad de rotación de la herramienta, además de la condición de lubricación.

El cálculo del número de probetas a mecanizar se hizo de la siguiente manera:

$$N^{\circ} \text{ de probetas} = 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 2 \times 2 / 1 \text{ material} = 324 \text{ probetas.}$$

Donde se ven incluidas tres herramientas de corte, tres velocidades de corte, tres profundidades de corte, tres velocidades de avance, dos máquinas de diferentes fabricantes y por último dos condiciones de lubricación.

Tabla 1: Diseño del experimento para cada herramienta de corte (1, 3 y 4 filos) utilizada en las máquinas 1 y 2

Máquina	Velocidad de corte (m/min)	Profundidad de corte (mm)	Velocidad de avance (mm/min)	Rugosidad (μm)			
				R_1	R_2	R_3	R_{prom}
Fresadora	Vc1	d1	f1				
			f2				
			f3				
		d2	f1				
			f2				
			f3				
		d3	f1				
			f2				
			f3				
	Vc2	d1	f1				
			f2				
			f3				
		d2	f1				
			f2				
			f3				
		d3	f1				
			f2				
			f3				
	Vc3	d1	f1				
			f2				
			f3				
		d2	f1				
			f2				
			f3				
		d3	f1				
			f2				
			f3				

Fuente: Martínez L. (2018)

Por otra parte, para el cálculo del número de ensayos a realizar (medición de rugosidad superficial (Ra)), se consideró que para cada superficie se hacen 3 mediciones, por lo tanto:

$$N^{\circ} \text{ de ensayos} = 324 \times 3 = 972 \text{ ensayos.}$$

Para cada una de las superficies se tomó como valor definitivo de rugosidad superficial (Ra) la media aritmética de los valores de las tres mediciones hechas en la superficie.

3.4 Población y Muestra.

Según Arias F. (2.012): “la población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuáles serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. Tomando esto de referencia se tiene que la muestra es un grupo que será seleccionado en la zona de estudio del proyecto que representara a la población total.

La población de este trabajo estará conformada por dos barras de 19,05 mm de diámetro por 6 m, de un acero AISI 1010.

Por otra parte, para el desarrollo de la investigación se utilizaron 324 probetas de 3 cm cada una, a las cuales se les mecanizó con los parámetros seleccionados en las pruebas piloto, formando unas superficies planas para posteriormente realizarles un estudio de rugosidad, tomando en la periferia de dichas superficies 3 medidas, obteniendo así una totalidad de ensayos de 972. Es importante resaltar que se utilizaron dos fresadoras de diferentes fabricantes y un rugosímetro digital para el ensayo de acabado superficial.

3.5 Fases de Desarrollo de la Investigación.

El desarrollo de la presente investigación está comprendido por una serie de fases que permitieron dar respuesta a los objetivos planteados en un determinado orden,

brindando a los investigadores una herramienta para la planificación y mejor aprovechamiento del tiempo dedicado al proyecto.

Fase I: Realizar pruebas piloto para definir los parámetros de corte a usar durante el mecanizado.

Durante la realización de estas pruebas piloto, se llevaron a cabo una serie de ensayos para establecer los parámetros de corte con lo que se esperaba un acabado superficial aceptable; este acabado se evaluó mediante la observación directa de las superficies mecanizadas utilizando dos maquinarias de diferentes fabricantes (máquina 1 y máquina 2). Los experimentos pilotos se llevaron a cabo variando la velocidad de rotación (RPM), la velocidad de avance (mm/min) y la profundidad de corte (mm). Es importante mencionar que, al ser las maquinarias de diferentes fabricantes, se trataron de seleccionar los parámetros de corte lo más similar posible.

Fase II: Comparar el grado de rugosidad superficial (Ra) obtenido dependiendo de los parámetros de corte previamente seleccionados.

Una vez realizados los experimentos para las distintas fresas, a saber, de 1, 3 y 4 filos para las distintas velocidades de corte previamente establecidas, manteniendo constante el rango de velocidad de avance de la herramienta y profundidades de corte diferentes se hace el análisis comparativo de rugosidad superficial para las dos máquinas.

Fase III: Comparar la rugosidad superficial (Ra) obtenida en el mecanizado con las diferentes máquinas, con valores ideales obtenidos mediante el uso de modelos matemáticos.

Para esta comparación se efectuaron los cálculos de rugosidad superficial empleando las ecuaciones 19 y 20 del modelo matemático citado en las bases teóricas comparándolos con los resultados obtenidos a través del rugosímetro. En este punto se mostraron los valores de rugosidad superficial obtenidos para cada una de las máquinas utilizadas, teniendo en cuenta las velocidades de rotación implementadas en las mismas, como también el tipo de herramienta. Dichos valores fueron representados gráficamente y comparados entre sí.

Fase IV: Concluir cómo influyen en el mecanizado de un acero AISI 1010 los parámetros de corte, la herramienta de corte y el uso o no de fluido lubricante.

En lo que respecta al comportamiento de la rugosidad superficial esperada, en función de las herramientas, se determinan, analizando los resultados obtenidos para cada máquina, usando cada herramienta en combinación con la condición de lubricación, a través de los valores mínimos y máximos para cada combinación se podrá saber cuál o tal es la mejor máquina o cual es la herramienta y con qué máquina y parámetros resulta el mejor acabado superficial.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Realizar pruebas piloto para definir los parámetros de corte a usar durante el mecanizado.

Durante la realización de estas pruebas piloto, se llevaron a cabo una serie de ensayos para establecer los parámetros de corte con lo que se esperaba un acabado superficial aceptable; este acabado se evaluó mediante la observación directa de las superficies mecanizadas utilizando dos maquinarias de diferentes fabricantes (máquina 1 y máquina 2). A continuación, se reflejan los ensayos realizados y características observadas en la superficie obtenida usando dichas máquinas, la información se anexa en las tablas 2 y 3 donde se detallan los parámetros utilizados en conjunto con lo observado.

Tabla 2: Parámetros y características observadas en las pruebas piloto de la máquina 1.

Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Características Observadas
224	14	0,50	Se observó una superficie no tan brillante
		0,75	
		1,00	
	20	0,50	Se observó una superficie con rayas mínimas.
		0,75	
		1,00	
	28	0,50	Se observó una superficie con rayas con mayor profundidad.
		0,75	
		1,00	
450	14	0,50	

Tabla 2: Parámetros y características observadas en las pruebas piloto de la máquina 1.

Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Características Observadas
		0,75	Se observó una superficie bastante aceptable, con rayas poco profundas
		1,00	
		20	
	0,50		
	0,75		
	28	1,00	Se observó una superficie con rayas mínimas, pero sigue siendo aceptable.
		0,50	
		0,75	
	560	14	1,00
0,75			
0,50			
20		0,75	Visualmente aceptable, con respecto al anterior avance presentó rayas menos profundas.
		1,00	
		0,50	
28		0,75	Superficie con rayas poco profundas.
		1,00	
		0,50	
900	14	0,75	Se observó una superficie bastante aceptable y brillante
		1,00	
		0,50	
	20	0,75	Mejoró la calidad superficial respecto del ensayo realizado con el mismo avance y profundidades, pero a 550RPM.
		1,00	
		0,50	
	28	0,75	

Tabla 2: Parámetros y características observadas en las pruebas piloto de la máquina 1.

Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Características Observadas
		1,00	Visualmente aceptable, con respecto a las condiciones anteriores.
1400	14	0,50	Al aumentar las RPM la herramienta se calienta y la viruta se adhiere a ella, por lo que la calidad superficial disminuye notablemente. Independientemente de los parámetros utilizados.
		0,75	
		1,00	
	20	0,50	
		0,75	
		1,00	
	28	0,50	
		0,75	
		1,00	

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 3: Parámetros y características observadas en las pruebas piloto de la máquina 2.

Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Características Observadas
215	15	0,50	Se observó una superficie no tan brillante
		0,75	
		1,00	
	20	0,50	Se observó una superficie con rayas mínimas.
		0,75	
		1,00	
	27	0,50	Se observó una superficie con rayas más pronunciadas.
		0,75	
		1,00	
430	15	0,50	Se observó una superficie bastante aceptable, con rayas poco profundas
		0,75	
		1,00	

Tabla 3: Parámetros y características observadas en las pruebas piloto de la máquina 2.

Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Características Observadas	
	20	0,50	Visualmente aceptable, pero con respecto al anterior presentó más rayas.	
		0,75		
		1,00		
	27	0,50	Se observó una superficie con rayas mínimas, pero sigue siendo aceptable.	
		0,75		
		1,00		
550	15	0,50	Mejoró la calidad superficial respecto a la del ensayo realizado a 430RPM con el mismo avance y profundidades.	
		0,75		
		1,00		
	20	0,50	Visualmente aceptable, con respecto al anterior avance presentó rayas menos profundas.	
		0,75		
		1,00		
	27	0,50	Superficie con rayas poco profundas.	
		0,75		
		1,00		
	820	15	0,50	Se observó una superficie bastante aceptable y brillante
			0,75	
			1,00	
20		0,50	Mejoró la calidad superficial respecto del ensayo realizado con el mismo avance y profundidades, pero a 550RPM.	
		0,75		
		1,00		
27		0,50	Visualmente aceptable, con respecto a las condiciones anteriores.	
		0,75		
		1,00		
1600		15	0,50	Al aumentar las RPM la herramienta se calienta y la
			0,75	

Tabla 3: Parámetros y características observadas en las pruebas piloto de la máquina 2.

Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Características Observadas
	20	1,00	viruta se adhiere a ella, por lo que la calidad superficial disminuye notablemente. Independientemente de los parámetros utilizados.
		0,50	
		0,75	
		1,00	
	27	0,50	
		0,75	
		1,00	

Fuente: Martínez L (2.018).

Cabe destacar que de todas estas posibles combinaciones utilizadas en estas pruebas se seleccionaron las condiciones más adecuadas de acuerdo a la calidad superficial observada, teniendo en cuenta que a medida que se aumentó la velocidad de rotación mejoraron los resultados, no obstante, a velocidades de rotación muy altas ocurre adherencia de viruta en la herramienta.

Por otra parte, independientemente de la velocidad de rotación usada en estas pruebas piloto, se observó disminución de la calidad superficial al aumentar el avance por lo que se decidió trabajar con valores bajos de avance.

Respecto a la profundidad de corte, al ser más pequeña ésta más diminutas eran las virutas, por lo que tendían adherirse más fácilmente a la herramienta, esto debido a la dureza relativamente baja del material de trabajo.

En cuanto a la lubricación, las pruebas piloto se realizaron en seco, tomando esta condición como la más crítica durante el mecanizado.

Es importante mencionar que, al ser las maquinarias de diferentes fabricantes, se trató de seleccionar los parámetros de corte lo más similar posible. A continuación, en base a los criterios antes descritos se escogieron los parámetros de corte que se

muestran en las tablas 4 y 5, los cuales serán usados en cada maquinaria respectivamente.

Tabla 4: Parámetros de corte seleccionados para la máquina 1.

Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad de avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)
450	14	0,50
560	20	0,75
900	28	1,00

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 5: Parámetros de corte seleccionados para la máquina 2.

Velocidad de Rotación (RPM)	Velocidad de avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)
430	15	0,50
550	20	0,75
820	27	1,00

Fuente: Martínez L (2.018).

4.2. Comparar el grado de rugosidad superficial (Ra) obtenido dependiendo de los parámetros de corte previamente seleccionados.

Previo a realizar los experimentos para las distintas fresas, es necesario realizar ciertos cálculos teóricos para el proceso de fresado.

4.2.1. Velocidad de corte.

Luego de seleccionar los parámetros de corte para la máquina 1 y la máquina 2, es importante desarrollar ciertas variables que son necesarias para el progreso de la investigación, entre dichas variables tenemos la velocidad de corte, por lo que usando la ecuación 1 se tiene lo siguiente:

Por ejemplo, para $N = 450$ RPM y $D_f = 20$ mm

$$V_c = \frac{\pi \times D_f \times N}{1000} = \frac{\pi \times 20 \times 450}{1000} = 28,27 \text{ m/min}$$

En las tablas 6 y 7 se registran los valores para cada una de las condiciones de la máquina 1 y la máquina 2 respectivamente.

Tabla 6: Cálculos de velocidad de corte para la máquina 1.

Velocidad de rotación (RPM)	Diámetro de la fresa (mm)	Velocidad de corte (m/min)
450	20	28,27
560		35,19
900		56,55
450	21	29,69
560		36,95
900		59,38
450	50	70,69
560		87,96
900		141,37

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 7: Cálculos de velocidad de corte para la máquina 2.

Velocidad de rotación (RPM)	Diámetro de la fresa (mm)	Velocidad de corte (m/min)
430	20	27,02
550		34,56
820		51,52
430	21	28,37
550		36,29
820		54,10
430	50	67,54
550		86,39
820		128,81

Fuente: Martínez L (2.018).

4.2.2. Cálculos teóricos de rugosidad superficial para la máquina 1 (Tos Kurim)

A continuación, se mostrarán los cálculos de rugosidad, los cuales fueron obtenidos con el modelo matemático reflejado en la ecuación 19 y 20.

Cabe destacar que las unidades en las que se debe trabajar este modelo son las del sistema inglés, por lo que se realizó la conversión respectiva.

Por ejemplo:

$$N = 450 \text{ rpm}, \quad f = 14 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 0,551181 \text{ pulg/min} \quad \text{y} \quad D_f = 20 \text{ mm} = 0,0656168 \text{ pie}$$

$$R_a = \frac{0,0642}{(0,0656168)} \left(\frac{0,551181}{450} \right)^2 = 1,4679 \times 10^{-6} \text{ pie} = 304785,7716 \frac{\mu\text{m}}{\text{pie}} = 0,45 \mu\text{m}$$

En las tablas 8, 9 y 10 se reflejan los valores de rugosidad respectivos para cada herramienta de corte utilizada en cada uno de los casos.

Tabla 8: Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 1 y herramienta de 1 filis.

Diámetro de la fresa (mm) y	Velocidad de rotación (RPM)	Profundidad de corte (mm)	Velocidad de avance (mm/min)	Rugosidad teórica (μm)
20mm 1 filo	450	0,50	14	0,45
		0,75	20	0,91
		1,00	28	1,79
	560	0,50	14	0,29
		0,75	20	0,59
		1,00	28	1,16
	900	0,50	14	0,11
		0,75	20	0,29
		1,00	28	0,45

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 9: Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 1 y herramienta de 3 filos.

Diámetro de la fresa (mm) y	Velocidad de rotación (RPM)	Profundidad de corte (mm)	Velocidad de avance (mm/min)	Rugosidad teórica (μm)
50mm 3 filos	450	0,50	14	0,18
		0,75	20	0,37
		1,00	28	0,72
	560	0,50	14	0,12
		0,75	20	0,24
		1,00	28	0,46
	900	0,50	14	0,04
		0,75	20	$9,13 \times 10^{-2}$
		1,00	28	0,19

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 10: Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 1 y herramienta de 4 filos.

Diámetro de la fresa (mm) y	Velocidad de rotación (RPM)	Profundidad de corte (mm)	Velocidad de avance (mm/min)	Rugosidad teórica (μm)
21mm 4 filos	450	0,50	14	0,43
		0,75	20	0,87
		1,00	28	1,70
	560	0,50	14	0,28
		0,75	20	0,56
		1,00	28	1,10
	900	0,50	14	0,11
		0,75	20	0,22
		1,00	28	0,43

Fuente: Martínez L (2.018).

4.2.3. Cálculos teóricos de rugosidad superficial para la máquina 2 (Induma).

A continuación, se mostrarán los cálculos de rugosidad, los cuales fueron obtenidos con el modelo matemático reflejado en la ecuación 19 y 20.

Cabe destacar que las unidades en las que se debe trabajar este modelo son las del sistema inglés, por lo que se realizó la conversión respectiva.

Por ejemplo:

$$N = 430 \text{ rpm}, \quad f = 15 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 0,590551 \text{ pulg/min} \quad y \quad D_f = 20 \text{ mm} = 0,0656168 \text{ pie}$$

$$R_a = \frac{0,0642}{(0,0656168)} \left(\frac{0,590551}{430} \right)^2 = 1,8454 \times 10^{-6} \text{ pie} = 304785,7716 \frac{\mu\text{m}}{\text{pie}} = 0,56 \mu\text{m}$$

En las tablas 11, 12 y 13 se reflejan los valores de rugosidad respectivos para cada herramienta de corte utilizada en cada uno de los casos.

Tabla 11: Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 2 y herramienta de 1 filo.

Diámetro de la fresa (mm) y	Velocidad de rotación (RPM)	Profundidad de corte (mm)	Velocidad de avance (mm/min)	Rugosidad teórica (μm)
20mm 1 filo	430	0,50	15	0,56
		0,75	20	1,00
		1,00	27	1,82
	550	0,50	15	0,34
		0,75	20	0,61
		1,00	27	1,11
	820	0,50	15	0,15
		0,75	20	0,27
		1,00	27	0,50

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 12: Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 2 y herramienta de 3 filos.

Diámetro de la fresa (mm) y	Velocidad de rotación (RPM)	Profundidad de corte (mm)	Velocidad de avance (mm/min)	Rugosidad teórica (μm)
50mm 3 filos	430	0,50	15	0,22
		0,75	20	0,40
		1,00	27	0,73
	550	0,50	15	0,14
		0,75	20	0,24
		1,00	27	0,44
	820	0,50	15	$6,19 \times 10^{-2}$
		0,75	20	0,11
		1,00	27	0,20

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 13: Cálculos teóricos de rugosidad Ra para la máquina 2 y herramienta de 4 filos.

Diámetro de la fresa (mm) y	Velocidad de rotación (RPM)	Profundidad de corte (mm)	Velocidad de avance (mm/min)	Rugosidad teórica (μm)
21mm 4 filos	430	0,50	15	0,54
		0,75	20	0,95
		1,00	27	1,74
	550	0,50	15	0,33
		0,75	20	0,58
		1,00	27	1,06
	820	0,50	15	0,15
		0,75	20	0,26
		1,00	27	0,48

Fuente: Martínez L (2.018).

4.2.4. Rugosidad obtenida en el proceso de mecanizado.

4.2.4.1. Resultados de rugosidad de la maquina 1 con fluido lubricante.

A continuación, en la tabla 14, 15 y 16 se muestran los valores de rugosidad superficial obtenidos como resultado de las operaciones de mecanizado en la maquina 1 para los parámetros de corte anteriormente seleccionados y con lubricación para los cuales se realizaron 3 lecturas por muestra con el rugosímetro, posteriormente se presenta la rugosidad promedio de las misma.

Tabla 14: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, con fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
28,27	14	0,5	a1	0,67	0,65	0,65	0,66
		0,75	a2	0,55	0,66	0,68	0,63
		1	a3	0,56	0,68	0,67	0,64
	20	0,5	a4	0,84	0,67	0,95	0,82
		0,75	a5	0,96	0,72	0,85	0,84
		1	a6	1,1	0,9	0,97	0,99
	28	0,5	a7	1,11	1,07	0,93	1,04
		0,75	a8	0,88	0,74	0,65	0,76
		1	a9	0,85	0,63	0,89	0,79
35,19	14	0,5	a10	0,63	0,54	0,69	0,62
		0,75	a11	0,55	0,54	0,51	0,53
		1	a12	0,73	0,76	0,75	0,75
	20	0,5	a13	0,7	0,79	0,72	0,74
		0,75	a14	0,61	0,55	0,57	0,58
		1	a15	0,51	0,55	0,46	0,51
	28	0,5	a16	0,59	0,65	0,67	0,64
		0,75	a17	0,62	0,73	0,57	0,64

Tabla 14: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, con fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
		1	a18	0,56	0,91	0,82	0,76
56,55	14	0,5	a19	0,79	0,68	0,91	0,79
		0,75	a20	0,8	0,73	0,59	0,71
		1	a21	0,59	0,51	0,52	0,54
	20	0,5	a22	0,84	0,51	0,69	0,68
		0,75	a23	0,48	0,4	0,52	0,47
		1	a24	0,73	0,81	0,61	0,72
	28	0,5	a25	0,62	0,65	0,63	0,63
		0,75	a26	0,75	0,62	0,86	0,74
		1	a27	0,61	0,51	0,52	0,55

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 15: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, con fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
70,69	14	0,5	b1	3,9	3,95	4,79	4,21
		0,75	b2	4,34	4,07	4,65	4,35
		1	b3	4,48	4,05	4,32	4,28
	20	0,5	b4	4,83	4,93	5,46	5,07
		0,75	b5	5,3	5,8	5,23	5,44
		1	b6	5,33	5,8	5,81	5,65
	28	0,5	b7	7,38	7,58	7,28	7,41

Tabla 15: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, con fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
		0,75	b8	7,56	7,71	8,14	7,80
		1	b9	8,3	7,62	7,31	7,74
87,96	14	0,5	b10	3,43	3,93	3,8	3,72
		0,75	b11	3,62	3,71	3,72	3,68
		1	b12	3,63	3,66	3,4	3,56
	20	0,5	b13	4,76	5,03	4,52	4,77
		0,75	b14	4,24	4,18	4,19	4,20
		1	b15	6,86	6,53	6,23	6,54
	28	0,5	b16	4,59	5,21	4,44	4,75
		0,75	b17	6,97	6,61	5,99	6,52
		1	b18	6,43	7,31	6,33	6,69
141,37	14	0,5	b19	2,5	2,55	2,52	2,52
		0,75	b20	2,49	2,53	2,49	2,50
		1	b21	2,39	2,68	3,5	2,86
	20	0,5	b22	2,94	2,93	2,92	2,93
		0,75	b23	2,98	2,95	2,98	2,97
		1	b24	2,86	2,91	2,87	2,88
	28	0,5	b25	3,62	4	3,54	3,72
		0,75	b26	3,81	4,42	4,16	4,13
		1	b27	3,47	3,45	3,59	3,50

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 16: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, con fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
29,69	14	0,5	c1	0,56	0,69	0,66	0,64
		0,75	c2	0,52	0,51	0,57	0,53
		1	c3	0,62	0,66	0,73	0,67
	20	0,5	c4	0,8	0,68	0,83	0,77
		0,75	c5	0,96	0,91	1,1	0,99
		1	c6	0,71	0,69	0,81	0,74
	28	0,5	c7	0,95	1,26	0,96	1,06
		0,75	c8	0,89	1,19	1	1,03
		1	c9	3,4	3,29	1,56	2,75
36,95	14	0,5	c10	0,7	0,6	0,75	0,68
		0,75	c11	0,73	0,65	0,79	0,72
		1	c12	8,43	3,78	0,89	4,37
	20	0,5	c13	0,85	1,05	1,25	1,05
		0,75	c14	0,94	1,15	1,66	1,25
		1	c15	0,83	0,82	0,82	0,82
	28	0,5	c16	0,54	1,19	3,26	1,66
		0,75	c17	0,63	0,97	0,93	0,84
		1	c18	1,21	2,34	3,47	2,34
59,38	14	0,5	c19	0,76	0,74	1,01	0,84
		0,75	c20	1,12	1,1	0,81	1,01
		1	c21	0,73	0,83	0,81	0,79
	20	0,5	c22	0,89	1,03	1,15	1,02
		0,75	c23	0,66	0,9	1,48	1,01
		1	c24	4,48	1,96	0,7	2,38
	28	0,5	c25	0,83	0,84	0,75	0,81
		0,75	c26	7,37	3,27	1,52	4,05
		1	c27	1,02	0,81	4,16	2,00

Fuente: Martínez L (2.018).

4.2.4.2. Resultados de rugosidad de la maquina 2 con fluido lubricante.

A continuación, en la tabla 17, 18 y 19 se muestran los valores de rugosidad superficial obtenidos como resultado de las operaciones de mecanizado en la maquina 2 para los parámetros de corte anteriormente seleccionados y con lubricación para los cuales se realizaron 3 lecturas por muestra con el rugosímetro, posteriormente se presenta la rugosidad promedio de las misma.

Tabla 17: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, con fluido lubricante en la maquina 2.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
27,02	15	0,5	d1	2,03	1,66	1,31	1,67
		0,75	d2	3,61	2,67	1,15	2,48
		1	d3	4,24	3,26	2,71	3,40
	20	0,5	d4	6,28	3,24	4,35	4,62
		0,75	d5	2,85	3,3	2,23	2,79
		1	d6	5,1	7,98	6,18	6,42
	27	0,5	d7	8,78	9,20	8,98	8,99
		0,75	d8	8,99	9,34	9,45	9,26
		1	d9	9,08	9,36	9,46	9,3
34,56	15	0,5	d10	2,09	2,99	1,52	2,2
		0,75	d11	2,87	2,7	2,12	2,56
		1	d12	2,67	1,53	4,23	2,81
	20	0,5	d13	3,61	2,71	1,18	2,5
		0,75	d14	3,65	3,78	3,81	3,75
		1	d15	2,91	3,97	3,75	3,54
	27	0,5	d16	6,78	6,15	6,92	6,62
		0,75	d17	6,35	6,89	7,12	6,79
		1	d18	6,89	7,15	7,24	7,09
51,52	15	0,5	d19	1,99	3,07	2,01	2,36
		0,75	d20	2,06	2,55	2,32	2,31
		1	d21	2,09	2,28	2,59	2,32
	20	0,5	d22	3,05	2,15	2,82	2,67
		0,75	d23	2,28	2,85	2,55	2,56

Tabla 17: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, con fluido lubricante en la maquina 2.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
	27	1	d24	2,58	3,15	2,45	2,73
		0,5	d25	2,09	2,35	2,15	2,20
		0,75	d26	1,65	2,7	2,1	2,15
		1	d27	1,25	1,85	2,01	1,70

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 18: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, con fluido lubricante en la maquina 2.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
67,54	15	0,5	e1	9,48	9,59	10,46	9,84
		0,75	e2	10,45	8,34	8,43	9,07
		1	e3	10,48	10,67	10,32	10,49
	20	0,5	e4	10,56	10,48	10,56	10,53
		0,75	e5	11,1	11,42	11,23	11,25
		1	e6	11,42	11,43	11,12	11,32
	27	0,5	e7	12,45	12,64	12,78	12,62
		0,75	e8	12,56	12,31	13,76	12,88
		1	e9	13,78	12,43	12,89	13,03
86,39	15	0,5	e10	9,67	9,41	9,42	9,5
		0,75	e11	9,43	9,21	9,54	9,39
		1	e12	9,84	9,58	9,63	9,68
	20	0,5	e13	10,68	11,4	10,45	10,84
		0,75	e14	10,48	10,46	10,33	10,42
		1	e15	12,01	12,12	12,03	12,05
	27	0,5	e16	10,94	11,12	10,34	10,8
		0,75	e17	12,03	12,03	11,46	11,84
		1	e18	12,14	12,56	12,05	12,25
128,81	15	0,5	e19	8,12	8,24	8,34	8,23
		0,75	e20	8,15	8,36	8,41	8,31
		1	e21	8,43	8,42	9,23	8,69
	20	0,5	e22	8,34	8,56	8,89	8,60

Tabla 18: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, con fluido lubricante en la maquina 2.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
		0,75	e23	9,13	8,48	8,92	8,84
		1	e24	9,15	8,45	8,96	8,85
	27	0,5	e25	9,78	10,15	9,57	9,83
		0,75	e26	9,94	10,43	10,34	10,24
		1	e27	9,64	9,42	9,76	9,61

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 19: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, con fluido lubricante en la maquina 2.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
28,37	15	0,5	f1	2,96	3,78	5,14	3,96
		0,75	f2	2,92	3,43	2,59	2,98
		1	f3	5,98	3,94	4,4	4,77
	20	0,5	f4	3,08	3,63	2,97	3,23
		0,75	f5	2,75	6,13	6,16	5,01
		1	f6	3,35	3,31	3,61	3,42
	27	0,5	f7	4,19	4,37	4,86	4,47
		0,75	f8	3,96	3,41	3,47	3,61
		1	f9	5,42	3,86	5,86	5,05
36,29	15	0,5	f10	2,52	6,37	2,25	3,71
		0,75	f11	5,07	4,27	3,47	4,27
		1	f12	2,98	3,31	3,29	3,19
	20	0,5	f13	7,84	4,42	3,8	5,35
		0,75	f14	4,31	3,34	3,6	3,75
		1	f15	7,3	5,7	4,28	5,76
	27	0,5	f16	2,28	3,2	3,44	2,97
		0,75	f17	4,28	5,29	5,04	4,87
		1	f18	4,43	5,65	7,56	5,88
54,10	15	0,5	f19	2,89	3,13	3,1	3,04
		0,75	f20	2,49	2,65	2,84	2,66
		1	f21	4,65	4,19	3,98	4,27

Tabla 19: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, con fluido lubricante en la maquina 2.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad C/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
	20	0,5	f22	3,24	2,82	2,91	2,99
		0,75	f23	4,34	3,96	3,2	3,83
		1	f24	2,02	2,65	2,99	2,55
	27	0,5	f25	3,41	4,35	4,78	4,18
		0,75	f26	5,83	5,5	3,44	4,92
		1	f27	2,91	4,34	4,42	3,89

Fuente: Martínez L (2.018).

4.2.4.3. Resultados de rugosidad de la maquina 1 sin fluido lubricante.

A continuación, en la tabla 20, 21 y 22 se muestran los valores de rugosidad superficial obtenidos como resultado de las operaciones de mecanizado en la maquina 1 para los parámetros de corte anteriormente seleccionados y sin fluido lubricación para los cuales se realizaron 3 lecturas por muestra con el rugosímetro, posteriormente se presenta la rugosidad promedio de las misma.

Tabla 20: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, sin fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad S/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
28,27	14	0,5	as1	1,75	0,65	0,65	1,02
		0,75	as2	1,65	0,66	0,68	1,00
		1	as3	1,45	0,68	0,67	0,93
	20	0,5	as4	1,48	0,67	0,95	1,03
		0,75	as5	0,96	0,72	0,85	0,84
		1	as6	1,1	1,35	1,54	1,33
	28	0,5	as7	1,87	1,56	1,75	1,73
		0,75	as8	1,88	1,74	1,55	1,72
		1	as9	1,95	1,54	1,24	1,58
35,19	14	0,5	as10	1,74	1,64	1,59	1,66

Tabla 20: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, sin fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad S/FL (μm)				
				R1	R2	R3	Raprom	
		0,75	as11	1,75	1,44	1,61	1,6	
		1	as12	1,84	1,67	1,57	1,70	
		20	0,5	as13	1,8	1,6	1,42	1,61
			0,75	as14	1,71	1,65	1,47	1,61
			1	as15	1,51	1,64	1,64	1,60
			28	0,5	as16	1,79	1,64	1,65
			0,75	as17	1,69	1,74	1,64	1,69
			1	as18	1,65	1,91	1,83	1,80
			56,55	14	0,5	as19	1,8	1,7
		0,75	as20	1,82	1,74	1,62	1,73	
		1	as21	1,64	1,41	1,54	1,53	
		20	0,5	as22	1,74	1,73	1,54	1,67
			0,75	as23	1,64	1,54	1,6	1,59
			1	as24	1,74	1,91	1,69	1,78
			28	0,5	as25	1,26	1,64	1,36
			0,75	as26	1,67	1,52	1,68	1,62
			1	as27	1,61	1,71	1,63	1,65

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 21: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, sin fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad S/FL (μm)				
				R1	R2	R3	Raprom	
	14	0,5	bs1	5,87	5,97	6,54	6,13	
		0,75	bs2	6,43	4,5	4,56	5,16	
		1	bs3	6,48	6,5	6,23	6,40	
	70,69	20	0,5	bs4	6,38	6,39	6,64	6,47
			0,75	bs5	7,03	7,08	7,32	7,14
			1	bs6	7,33	7,08	7,18	7,20
		28	0,5	bs7	9,68	9,48	9,82	9,66
			0,75	bs8	9,65	9,17	10,41	9,74
			1	bs9	10,43	9,26	9,13	9,61
87,96	14	0,5	bs10	5,34	5,39	5,18	5,30	

Tabla 21: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, sin fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad S/FL (μm)				
				R1	R2	R3	Raprom	
141,37	20	0,75	bs11	5,26	5,17	5,42	5,28	
		1	bs12	5,48	5,78	5,46	5,57	
		0,5	bs13	6,64	7,15	6,45	6,75	
	28	0,75	bs14	6,34	6,17	6,24	6,25	
		1	bs15	8,65	8,45	8,64	8,58	
		0,5	bs16	6,62	7,23	6,42	6,76	
	14	14	0,75	bs17	8,75	8,45	7,48	8,23
			1	bs18	8,45	9,47	8,25	8,72
			0,5	bs19	4,21	4,15	4,32	4,23
		20	0,75	bs20	4,45	4,45	4,48	4,46
			1	bs21	4,93	4,62	5,2	4,92
			0,5	bs22	4,87	4,98	4,91	4,93
28		0,75	bs23	5,02	4,87	4,99	4,96	
		1	bs24	5,01	4,78	4,93	4,91	
		0,5	bs25	5,26	6,1	5,45	5,60	
1	0,75	bs26	5,84	6,62	6,18	6,21		
	1	bs27	5,57	5,48	5,71	5,59		

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 22: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, sin fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad S/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
29,69	14	0,5	cs1	1,65	1,71	1,68	1,68
		0,75	cs2	1,25	1,42	1,48	1,38
		1	cs3	1,45	1,78	1,62	1,62
	20	0,5	cs4	1,87	1,92	1,71	1,83
		0,75	cs5	2,03	1,81	1,97	1,94
		1	cs6	1,56	1,74	1,84	1,71
	28	0,5	cs7	1,89	2,45	1,84	2,06
		0,75	cs8	1,78	2,32	2,1	2,07
		1	cs9	5,46	5,75	5,45	5,55
36,95	14	0,5	cs10	1,08	1,45	1,54	1,36

Tabla 22: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, sin fluido lubricante en la maquina 1.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad S/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
		0,75	cs11	1,84	1,74	1,94	1,84
		1	cs12	3,62	5,45	1,78	3,62
	20	0,5	cs13	1,58	2,15	2,32	2,02
		0,75	cs14	1,78	2,51	2,74	2,34
		1	cs15	1,74	1,97	1,84	1,85
	28	0,5	cs16	1,65	2,42	5,42	3,16
		0,75	cs17	1,86	1,78	1,45	1,70
		1	cs18	2,45	3,48	5,42	3,78
	59,38	14	0,5	cs19	1,86	1,45	2,13
0,75			cs20	2,45	1,45	1,84	1,91
1			cs21	1,85	1,96	1,73	1,85
20		0,5	cs22	1,48	2,13	2,51	2,04
		0,75	cs23	1,75	1,48	2,84	2,02
		1	cs24	6,48	3,01	1,5	3,66
28		0,5	cs25	2,91	1,75	1,83	2,16
		0,75	cs26	9,48	5,72	2,74	5,98
		1	cs27	2,15	1,84	6,45	3,48

Fuente: Martínez L (2.018).

4.2.4.4. Resultados de rugosidad de la maquina 2 sin fluido lubricante.

A continuación, en la tabla 23, 24 y 25 se muestran los valores de rugosidad superficial obtenidos como resultado de las operaciones de mecanizado en la maquina 2 para los parámetros de corte anteriormente seleccionados y sin fluido lubricación para los cuales se realizaron 3 lecturas por muestra con el rugosímetro, posteriormente se presenta la rugosidad promedio de las misma.

Tabla 23: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 1 filo, sin fluido lubricante en la maquina 2.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad S/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
27,02	15	0,5	ds1	4,3	2,74	2,45	3,16
		0,75	ds2	6,12	4,54	2,42	4,36
		1	ds3	8,14	6,32	4,12	6,19
	20	0,5	ds4	12,42	6,4	8,15	8,99
		0,75	ds5	4,01	6,45	4,35	4,94
		1	ds6	8,87	9,21	9,54	9,20
	27	0,5	ds7	9,04	9,84	9,45	9,44
		0,75	ds8	10,98	9,67	9,78	10,14
		1	ds9	11,12	10,24	10,54	10,63
34,56	15	0,5	ds10	4,92	4,87	2,75	4,18
		0,75	ds11	4,75	4,64	4,81	4,73
		1	ds12	4,78	2,63	8,1	5,17
	20	0,5	ds13	6,78	10,12	2,48	6,46
		0,75	ds14	5,64	5,10	5,76	5,5
		1	ds15	6,43	6,77	6,37	6,52
	27	0,5	ds16	7,65	7,98	7,87	7,83
		0,75	ds17	7,89	7,99	8,03	7,97
		1	ds18	8,12	8,23	8,42	8,26
51,52	15	0,5	ds19	2,87	6,45	4,21	4,51
		0,75	ds20	4,66	4,45	4,34	4,48
		1	ds21	4,75	4,82	4,61	4,73
	20	0,5	ds22	6,15	4,51	4,94	5,2
		0,75	ds23	4,82	4,58	4,78	4,73
		1	ds24	4,85	6,48	4,54	5,29
	27	0,5	ds25	4,43	4,64	4,51	4,53
		0,75	ds26	2,65	4,75	4,45	3,95
		1	ds27	2,37	2,94	4,3	3,20

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 24: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 3 filos, sin fluido lubricante en la maquina 2.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad S/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
67,54	15	0,5	es1	15,21	15,12	14,31	14,88
		0,75	es2	15,34	15,45	15,68	15,49
		1	es3	16,68	16,87	15,89	16,48
	20	0,5	es4	14,86	14,96	12,23	14,02
		0,75	es5	14,53	13,46	13,69	13,89
		1	es6	13,15	13,89	13,78	13,66
	27	0,5	es7	16,45	16,87	15,24	16,19
		0,75	es8	16,65	16,79	15,89	16,44
		1	es9	17,76	16,89	16,84	17,16
86,39	15	0,5	es10	12,12	11,89	12,54	12,18
		0,75	es11	12,25	12,64	12,34	12,41
		1	es12	13,45	12,39	12,99	12,94
	20	0,5	es13	13,10	13,64	13,89	13,54
		0,75	es14	14,24	13,89	13,98	14,04
		1	es15	15,01	14,78	14,86	14,88
	27	0,5	es16	13,34	12,89	13,03	13,09
		0,75	es17	15,23	14,88	14,00	14,70
		1	es18	15,15	15,24	14,81	15,07
128,81	15	0,5	es19	11,15	11,34	11,78	11,42
		0,75	es20	11,34	11,02	11,09	11,15
		1	es21	11,78	12,89	11,91	12,19
	20	0,5	es22	11,78	11,56	11,46	11,60
		0,75	es23	11,89	11,47	11,67	11,68
		1	es24	11,67	11,89	11,49	11,68
	27	0,5	es25	10,24	11,03	11,45	10,91
		0,75	es26	10,45	10,91	11,37	10,91
		1	es27	10,64	10,73	11,00	10,79

Fuente: Martínez L (2.018).

Tabla 25: Resultados de rugosidad obtenidos con fresa de 4 filos, sin fluido lubricante en la maquina 2.

Velocidad de corte (m/min)	Velocidad de Avance (mm/min)	Profundidad de Corte (mm)	Medición	Rugosidad S/FL (μm)			
				R1	R2	R3	Raprom
28,37	15	0,5	fs1	4,89	5,68	5,23	5,27
		0,75	fs2	4,8	5,32	2,59	4,24
		1	fs3	7,99	5,79	4,4	6,06
	20	0,5	fs4	5,1	5,45	2,97	4,51
		0,75	fs5	4,78	8,23	6,16	6,39
		1	fs6	5,43	5,39	3,61	4,81
	27	0,5	fs7	6,34	6,45	4,86	5,88
		0,75	fs8	5,89	5,46	3,47	4,94
		1	fs9	7,46	5,76	5,86	6,36
36,29	15	0,5	fs10	4,59	8,63	2,25	5,16
		0,75	fs11	7,12	6,39	3,47	5,66
		1	fs12	4,79	5,51	3,29	4,53
	20	0,5	fs13	9,67	6,38	3,8	6,62
		0,75	fs14	6,43	5,64	3,6	5,23
		1	fs15	9,41	7,91	4,28	7,20
	27	0,5	fs16	4,34	5,41	3,44	4,40
		0,75	fs17	6,34	7,46	5,04	6,28
		1	fs18	6,49	7,81	7,56	7,29
54,10	15	0,5	fs19	4,98	5,23	3,1	4,45
		0,75	fs20	4,65	4,63	2,84	4,04
		1	fs21	6,76	6,45	3,98	5,73
	20	0,5	fs22	5,43	4,95	2,91	4,43
		0,75	fs23	6,45	5,91	3,2	5,19
		1	fs24	4,13	4,76	2,99	3,96
	27	0,5	fs25	5,63	6,65	4,78	5,69
		0,75	fs26	7,86	7,48	3,44	6,26
		1	fs27	4,97	6,53	4,42	5,31

Fuente: Martínez L (2.018).

4.3. Comparar la rugosidad superficial (Ra) obtenida en el mecanizado con las diferentes maquinas, con valores ideales obtenidos mediante el uso de modelos matemáticos.

4.3.1. Resultados obtenidos de la máquina 1.

Desde la tabla 14 a la 16 y 20 a la 21 se muestran los valores de rugosidad superficial obtenidos a partir de las mediciones de dicha propiedad realizadas para un acero AISI 1010 variando los parámetros establecidos previamente, dichos valores fueron representados gráficamente y comparados con la rugosidad superficial teórica de las tablas 8, 9 y 10.

4.3.1.1. Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 1 usando la fresa de 1 filo.

Las figuras 29, 30 y 31 reflejan las curvas de rugosidad vs. velocidad de avance y profundidad de corte; determinadas a partir de los valores presentados en las tablas 8, 14 y 20. Cabe destacar que en dichas figuras se observan las curvas de rugosidad superficial tanto teóricas como reales (con y sin lubricación) en función a la velocidad de avance obtenidas en el mecanizado con una fresa de un filo de corte a tres profundidades de corte diferentes (0,50; 0,75 y 1,00 mm) correspondientemente, manteniendo constante el rango de velocidad de avance de la herramienta (14, 20 y 28 mm/min para cada gráfica).

En la figura 29 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 28,27 m/min, siendo ésta la velocidad de corte más baja utilizada en los ensayos. Es evidente que los valores de la curva Ra teórica se encuentran por debajo de los valores de las otras dos curvas, Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación) en cada gráfico, comportamiento que es totalmente el esperado, debido a que la curva teórica ha sido descrita o generada mediante el uso de un modelo matemático, que no toma en cuenta factores externos que puedan afectar al proceso, por lo que arroja un resultado netamente ideal, motivo por el cual se espera que cualquier resultado experimental se encuentre por encima de la rugosidad teórica.

Es posible que este hecho haya ocurrido debido al modelo matemático, pues éste no especifica para qué tipo de maquinaria fue desarrollado específicamente, otra razón puede ser el hecho de que tampoco especifica los materiales que fueron ensayados durante su definición, y mucho menos especifica si los ensayos fueron realizados para rangos de los parámetros de corte específicamente definidos, siendo ésta otra incógnita más.

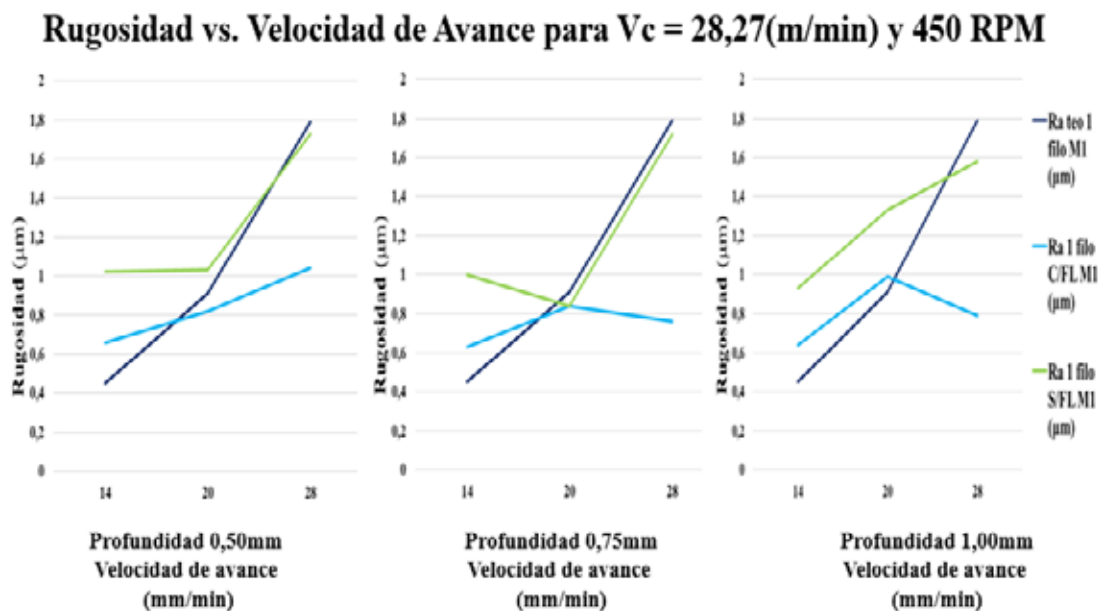


Figura 29: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 28,27$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

Cabe destacar que para las profundidades de 0,50 y 0,75 mm las curvas de Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación) poseen una tendencia similar y lineal, teniendo la curva de Ra (sin lubricación) valores más altos que los de la curva de Ra (con lubricación), algo que no ocurre con la profundidad de corte de 1,00 mm ya que ambas curvas se comportan con una tendencia bastante similar y con valores muy cercanos entre sí, con solamente una pequeña desviación entre ambas cuando la velocidad de avance de la herramienta tiene un valor cercano a los 20 mm/min, donde la curva de

Ra (con lubricación) está ligeramente por debajo de la curva de Ra (sin lubricación), lo que posiblemente pudo haber ocurrido por agentes externos, parámetros ajenos al proceso que pudieron haber influenciado positivamente en el desarrollo del experimento; esta observación se acota debido a que para las profundidades de corte de 0,50 y 0,75 mm la rugosidad superficial obtenida sin lubricación muestra un comportamiento uniforme y similar en ambos casos, lo que no ocurre para la profundidad de corte de 1,00 mm, donde se observa que la curva se ubica por debajo de sus semejantes en las gráficas de las profundidades de corte mencionadas (0,50 y 0,75 mm).

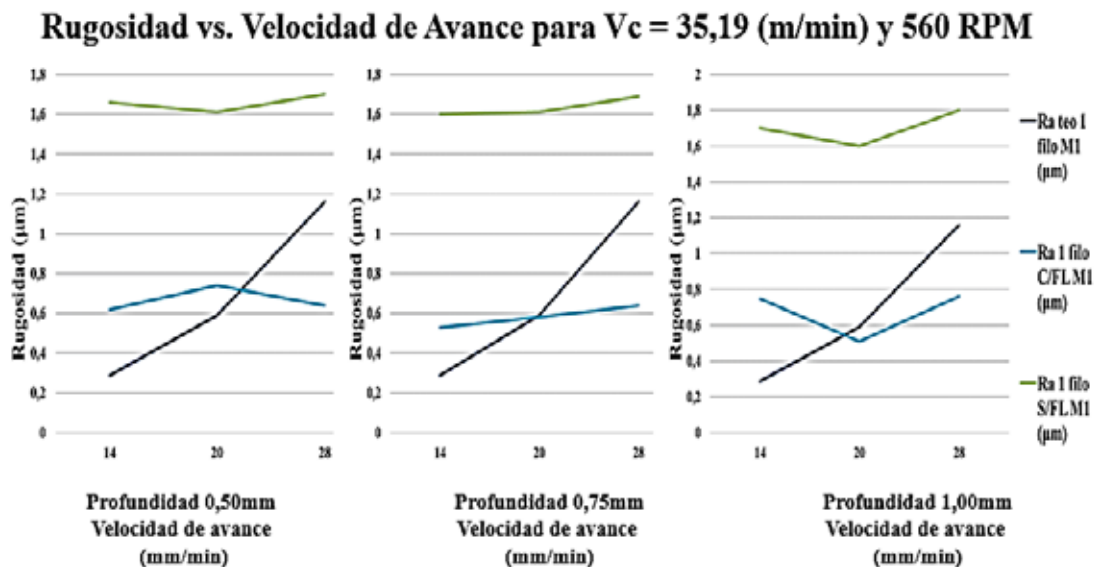


Figura 30: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 35,19$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 30 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 35,19 m/min. Para este caso, el comportamiento de las curvas varía para las tres profundidades de corte utilizadas: para 0,50 mm las curvas de Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación) se encuentran dentro de los valores de rugosidad esperados, incluso su tendencia es similar entre sí,

teniendo en cuenta que la curva de Ra (sin lubricación) posee un punto de inflexión alrededor de 20 mm/min de velocidad de avance y la curva de Ra (con lubricación) posee una tendencia lineal, además, se puede mencionar que las curvas obtenidas experimentalmente van creciendo con un valor de pendiente inferior al que tiene la curva de rugosidad obtenida teóricamente; para la profundidad de corte de 0,75 mm la mayoría del rango de los valores de la curva de Ra (sin lubricación) son mayores a los valores de la curva de Ra teórica, lo que la convierte en la menos ideal, pero hay que considerar que a partir de una velocidad de avance ligeramente inferior a los 30 mm/min, la rugosidad superficial se podría comportar de acuerdo a lo esperado, la curva de Ra (con lubricación) denota que para valores de velocidad de avance mayor a 19 mm/min se mantiene dentro de los valores de rugosidad esperados; y utilizando una profundidad de 1,00 mm se aprecia que tanto la curva de Ra (con lubricación) así como la curva de Ra (sin lubricación) poseen un comportamiento muy similar, sólo que al usar lubricación se obtuvieron mejores resultados, también se aprecia que ambas curvas se interceptan con la curva de Ra teórica, dividiéndose cada curva dos partes, a partir de un punto el cual se encuentra oscilando alrededor de 20 mm/min.

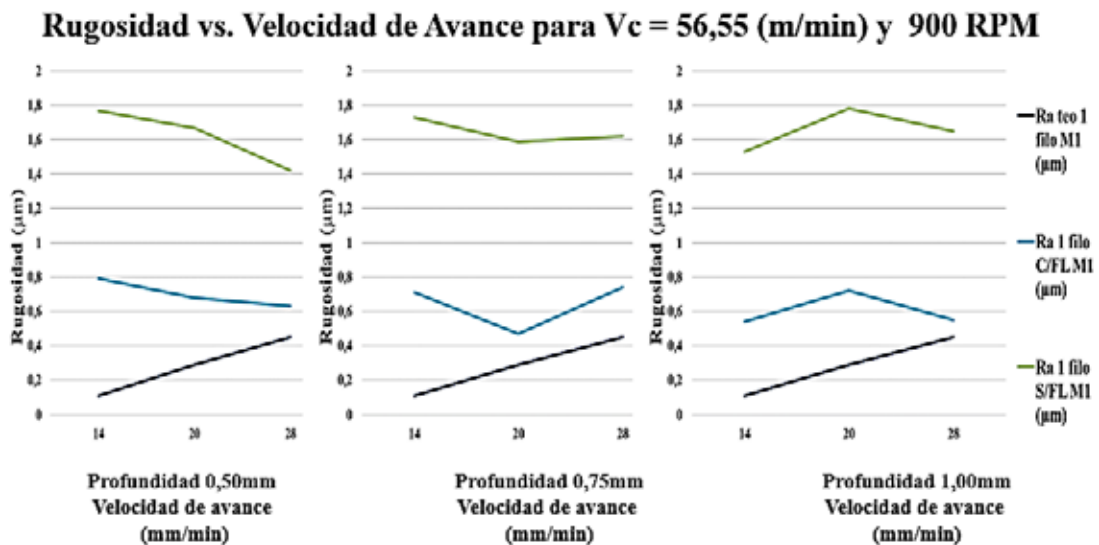


Figura 31: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 56,55$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 31 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 56,55 m/min. Es notable para la curva de Ra (sin lubricación), que al aumentar la profundidad de corte y la velocidad de avance los valores de rugosidad se incrementan o bien, su tendencia es creciente y se aleja de los valores de la curva de Ra teórica, lo que la convierte en la condición menos ideal.

Por otra parte, se observa que la curva de Ra (con lubricación) para las profundidades de corte de 0,50 y 1,00 mm poseen una tendencia decreciente con un ligero punto de inflexión alrededor de 24 mm/min de velocidad de avance, sin embargo, sus valores de rugosidad se mantienen muy cercanos a los valores de Ra teóricos para cada gráfica, en cambio para una profundidad de corte de 0,75 mm la tendencia de la curva es casi lineal pero también se acerca a los valores de Ra teóricos.

Se observa en todas las gráficas que con lubricación se obtuvieron valores de Ra cercanos a los 0,80 micrómetros, además, las curvas teóricas mostraron valores de Ra más bajos al aumentar la velocidad de corte, y más altos al aumentar la profundidad de corte y la velocidad de avance de la herramienta.

4.3.1.2. Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 1 usando la fresa de tres filos de corte.

Las figuras 32, 33 y 34 reflejan las curvas de rugosidad vs. Velocidad de avance y profundidad de corte; determinadas a partir de los valores presentados en las tablas 9, 15 y 21. Cabe destacar que en dicha figura se observan las curvas de rugosidad superficial tanto teóricas como reales (con y sin lubricación) en función a la velocidad de avance obtenidas en el mecanizado con una fresa de tres filos a tres profundidades de corte diferentes (0,50; 0,75 y 1,00 mm) correspondientemente, manteniendo constante el rango de velocidad de avance de la herramienta (14, 20 y 28 mm/min para cada gráfica).

Rugosidad vs. Velocidad de Avance para $V_c = 70,69$ (m/min) y 450 RPM

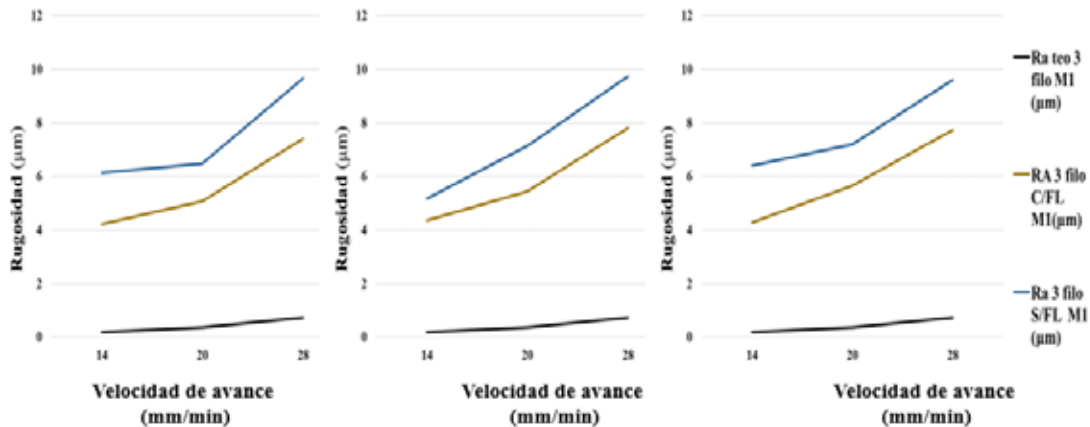


Figura 32: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 70,69$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 32 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 70,69 m/min. Se puede observar que existe un comportamiento similar entre las curvas de Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación), siendo esta última quien posee los mayores valores de rugosidad para las tres profundidades de corte previamente descritas, de acuerdo a lo que prevé la teoría consultada respecto de la lubricación.

Se puede observar también que las curvas de Ra teóricas tienen una tendencia a aumentar conjunto a la profundidad de corte y la velocidad de avance de la herramienta, sin embargo, esta curva teórica se encuentra por debajo de las otras dos curvas de Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación), comportamiento acorde a lo previsto por el modelo matemático, como se detalla en el análisis realizado a la figura 32 donde también se observa este fenómeno. Se distingue además que las tendencias de las curvas experimentales son crecientes, con una pendiente mayor a la de la curva obtenida teóricamente. Además, se puede apreciar que las curvas experimentales tienen valores cercanos a la curva teórica sólo cuando la velocidad de avance de la

herramienta se ubica cerca de los valores más bajos dentro del rango considerado para este estudio (a partir de los 14 mm/min), pero a partir de un punto (entre los 21 mm/min aproximadamente para las tres gráficas) la curva teórica comienza a aumentar ligeramente, mientras que las curvas experimentales lo hacen de un modo apresurado.

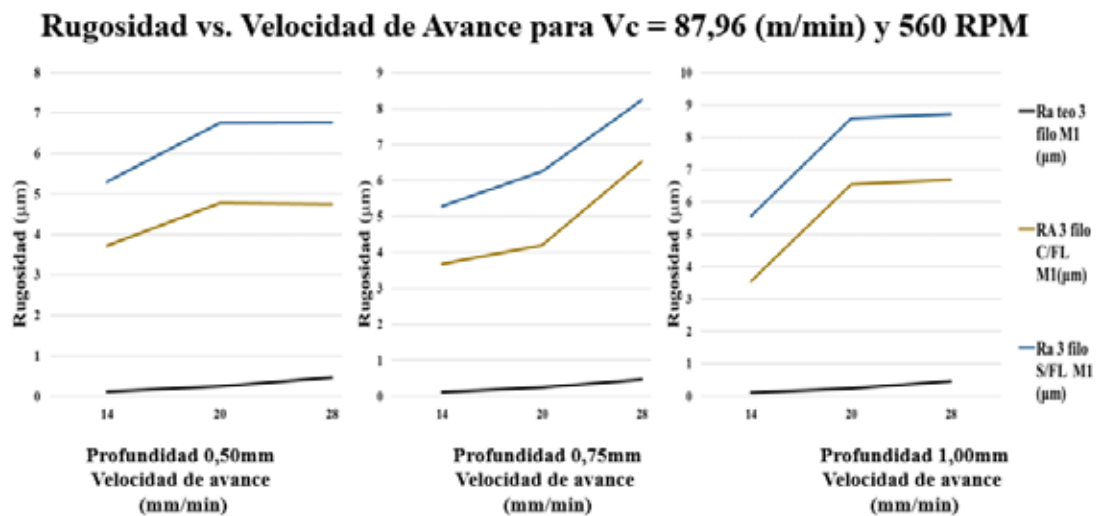


Figura 33: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 87,96$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 33 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 87,96 m/min. Cabe destacar que las curvas de Ra (sin lubricación) para las profundidades de 0,50 y 0,75 mm poseen una tendencia creciente con un punto de inflexión alrededor de los 20 mm/min de velocidad de avance de la herramienta, siendo en la curva con profundidad de corte de 0,50 mm donde es más notable esta inflexión; para la profundidad de 1,0 mm la curva tiene una tendencia más cercana a la lineal. En cambio, las curvas de Ra (con lubricación) para las profundidades de 0,50 y 1,00 mm poseen una tendencia creciente y lineal, a diferencia de cuando la profundidad de corte tiene un valor de 0,75 mm donde la curva tiende a

crecer y a su vez posee un ligero punto de inflexión alrededor de los 24 mm/min de velocidad de avance.

También, se puede observar que ambas curvas de Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación) se encuentran siempre por encima de la curva de Ra teórica, esto debido posiblemente al modelo matemático (ver análisis de la figura 29 donde se detalla un poco más acerca de este hecho). Además, se puede enfatizar que los procesos bajo las condiciones de corte con lubricación obtuvieron un mejor acabado superficial para las profundidades de corte de 0,50 y 1,00 mm, lo cual concuerda con la teoría.

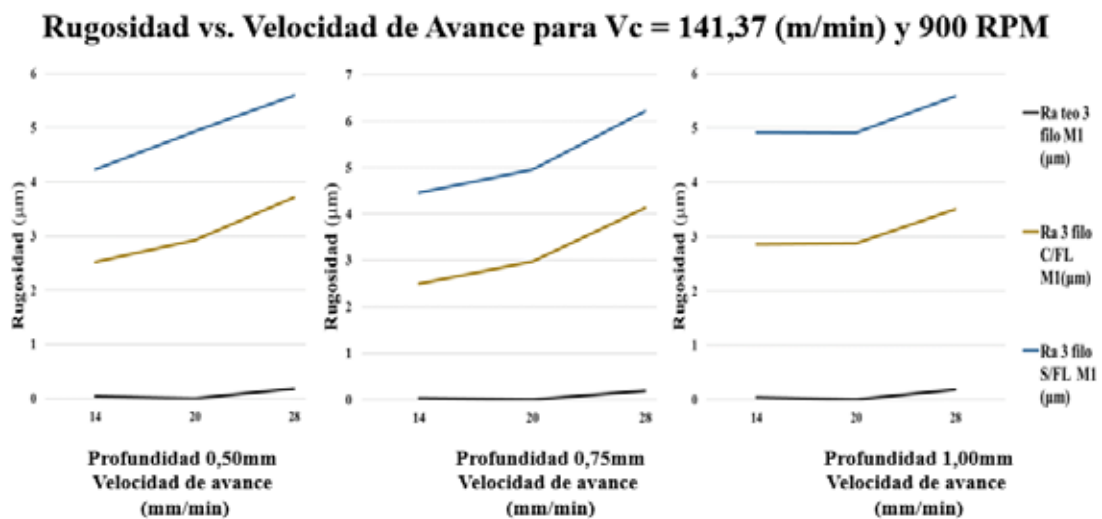


Figura 34: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 141,37$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 34 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 141,37 m/min. Se observa un comportamiento de las tres curvas totalmente esperado, en cada una de las gráficas, el cual consiste en que los valores de la curva de Ra (sin lubricación) estén por encima de los valores de la curva de Ra (con lubricación) y ésta a su vez, visiblemente por encima de los valores de la curva de Ra teórica.

Por otro lado, se observa que las curvas de Ra (con lubricación) para las tres profundidades de corte previamente descritas, poseen una tendencia similar y lineal, algo que no ocurre para las curvas de Ra (sin lubricación) ya que, para la profundidad de corte de 0,50 mm la curva es totalmente de forma creciente, por otra parte para una profundidad de corte de 0,75 mm, la misma se comporta de manera inversa con el punto de inflexión cercano a 20mm/min; y por último, para la profundidad de corte de 1,00 mm la curva posee una tendencia lineal y creciente.

Se observa que los mejores valores de rugosidad obtenida para la fresa de tres filos se obtuvieron cuando la velocidad de corte era la máxima, y prevalecía la condición de lubricación.

4.3.1.3. Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 1 usando la fresa de cuatro filos de corte.

Las figuras 35, 36 y 37 reflejan las curvas de rugosidad vs. Velocidad de avance y profundidad de corte; determinadas a partir de los valores presentados en las tablas 10, 16 y 22. Cabe destacar que en dicha figura se observan las curvas de rugosidad superficial tanto teóricas como reales (con y sin lubricación) en función a la velocidad de avance obtenidas en el mecanizado con una fresa de cuatro filos a tres profundidades de corte diferentes (0,50; 0,75 y 1,00 mm) correspondientemente, manteniendo constante el rango de velocidad de avance de la herramienta (14, 20 y 28 mm/min para cada gráfica).

En la figura 35 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 29,69 m/min. Al igual que en gráficas anteriores, se observa una tendencia teórica del aumento de la rugosidad superficial mientras se aumenta la velocidad de avance de la herramienta y la profundidad de corte.

Se observa además que las curvas de Ra (sin lubricación) para las profundidades de 0,50 y 0,75 mm son similares entre sí, con un punto de inflexión alrededor de 24 mm/min de velocidad de avance, en cambio para la profundidad de corte de 1,00 mm su comportamiento es inverso a las otras profundidades, pero con el mismo punto de inflexión alrededor de 24 mm/min de velocidad de avance.

Rugosidad vs. Velocidad de Avance para $V_c = 29,69$ (m/min) y 450 RPM

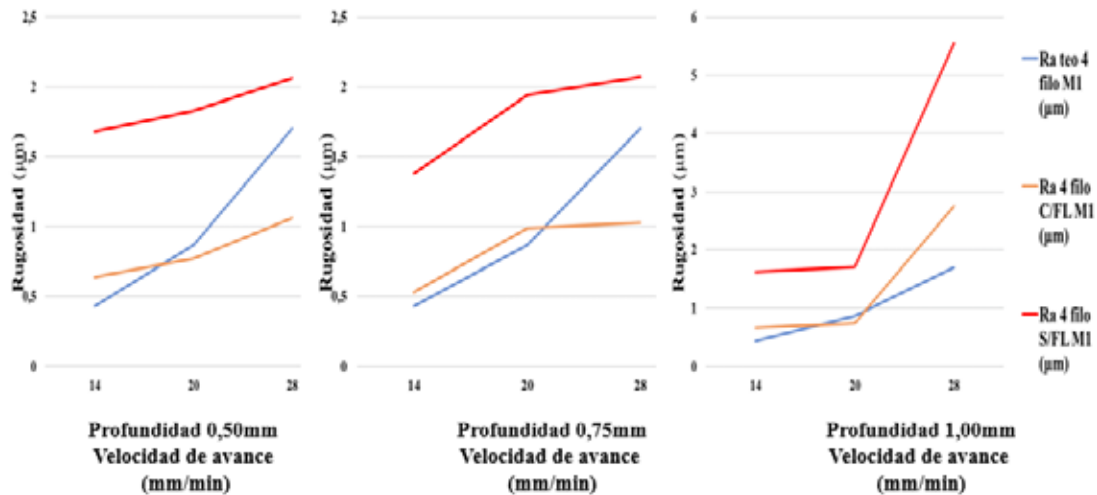


Figura 35: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 29,69$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

Por otra parte, la curva de Ra (con lubricación) para la profundidad de 0,50 mm posee una tendencia creciente y con un punto de inflexión alrededor de 24 mm/min de velocidad de avance, pero para las profundidades de 0,75 y 1,00 mm las curvas tienden a comportarse de forma creciente y lineal. Cabe destacar que, las curvas de rugosidad con y sin lubricación se encuentran por encima de la curva teórica, comportamiento que es totalmente esperado de acuerdo al modelo matemático, lo cual se describe con más detalle en el análisis de la figura 29.

También es importante observar que los valores de la curva de Ra (sin lubricación) están por encima de los valores de la curva de Ra (con lubricación), este comportamiento se observa marcadamente en los resultados del proceso llevado a cabo con las profundidades de corte de 0,50 0,75 y 1,00 mm.

En la figura 36 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 36,95 m/min. Se observa que la curva de Ra teórica posee una tendencia lineal y creciente para las tres profundidades utilizadas en combinación con la velocidad de avance. Las curvas de Ra (sin lubricación) para la

profundidad de corte de 0,50 mm tienen una tendencia creciente y poseen un ligero punto de inflexión alrededor de 24 mm/min de velocidad de avance, en cambio para las profundidades de corte de 0,75 mm la tendencia de las curvas es creciente y decreciente mientras que para la profundidad de 1,00 mm la tendencia es decreciente posterior al punto de 20 mm/min creciente. Por otro lado, las curvas de Ra (Con lubricación) tienen comportamientos similares a las curvas sin lubricación, pero logrando mejores acabados.

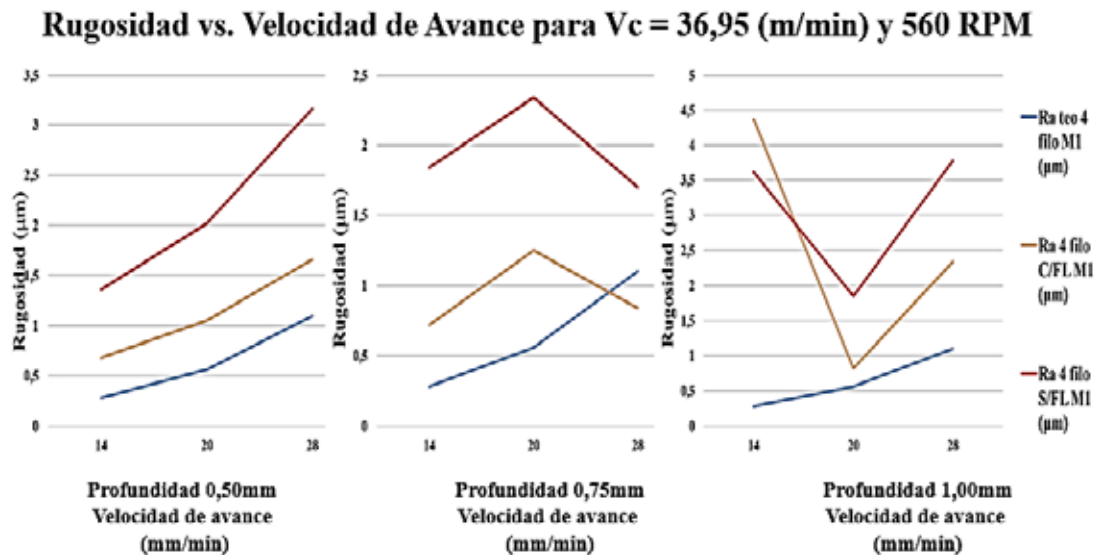


Figura 36: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 36,95$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

Es importante mencionar que los valores de la curva de Ra (sin lubricación) se ubican por encima de los valores de la curva de Ra (con lubricación) y a su vez, en ciertos puntos, se interceptan con la misma.

En la figura 37 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 59,38 m/min. Se puede observar cómo en las tres gráficas se obtuvo por completo el comportamiento esperado, el cual consiste

en el arreglo de las curvas de Ra teórica (cuya tendencia es creciente y lineal), Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación) ubicadas en orden ascendente respectivamente.

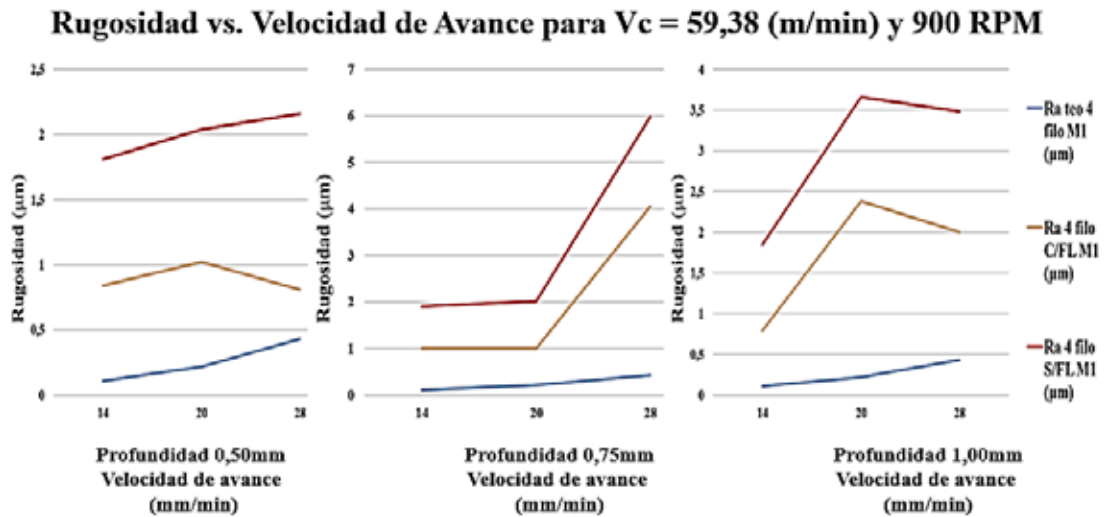


Figura 37: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 59,38$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

Es importante resaltar que la tendencia de las curvas de Ra (con lubricación) para las tres profundidades fue de manera diferente ya que a 0,50mm la curva crece y decrece en un punto cercano a los 20 mm/min y teniendo mejor resultado que a 1,00mm de profundidad pese a que esta tiene un comportamiento similar, por otro lado, a 0,75el comportamiento es lineal y ascendente cercano a las 20 mm/min, en cambio para las curva de Ra (sin lubricación) se comportó de manera diferente para las tres profundidades de corte: para 0,50 mm tiende a ser creciente; para 0,75 mm se comporta de manera casi lineal y por último para 1,00 mm, ésta crece hasta un punto de inflexión alrededor de 24 mm/min de velocidad de avance y a partir de allí la misma comienza a tener una pendiente descendente. También se observa que la rugosidad superficial

aproximadamente, demostrando qué tan eficaz puede llegar a ser la aplicación de lubricación al proceso con la finalidad de obtener un buen acabado superficial.

Con el uso de esta fresa (4 filos) se observó que las curvas con comportamiento de rugosidad superficial de mejor tendencia y de valores más bajos se obtuvieron cuando se trabajó con la mayor velocidad de corte.

4.3.2. Resultados obtenidos de la máquina 2.

Desde las tablas 17 a la 19 y de la 23 a la 25 se muestran los valores de rugosidad superficial obtenidos a partir de las mediciones de dicha propiedad realizadas para un acero AISI 1010 variando los parámetros establecidos previamente, dichos valores fueron representados gráficamente y comparados con la rugosidad superficial teórica de las tablas 11, 12 y 13.

4.3.2.1. Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 2 usando la fresa de un filo de corte.

Las figuras 38, 39 y 40 reflejan las curvas de rugosidad vs. Velocidad de avance y profundidad de corte; determinadas a partir de los valores presentados en las tablas 11, 17 y 23. Cabe destacar que en dicha figura se observan las curvas de rugosidad superficial tanto teóricas como reales (con y sin lubricación) en función a la velocidad de avance obtenidas en el mecanizado con una fresa de un filo a tres profundidades de corte diferentes (0,50; 0,75 y 1,00 mm) correspondientemente, manteniendo constante el rango de velocidad de avance de la herramienta (15, 20 y 27 mm/min para cada gráfica).

En la figura 38 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 22,49 m/min. En esta figura se observa un comportamiento creciente a medida que aumenta la velocidad de avance de la herramienta para la curva de Ra teórica, los valores de la misma se encuentran por debajo de los valores de las otras dos curvas, Ra (sin lubricación) y Ra (con lubricación) lo cual también se presentó en los resultados obtenidos para la máquina 1.

Por otra parte, ambas curvas, tanto Ra (sin lubricación) como Ra (con lubricación) se comportan de manera similar para las profundidades de 0,50 y 0,75 mm, con un punto

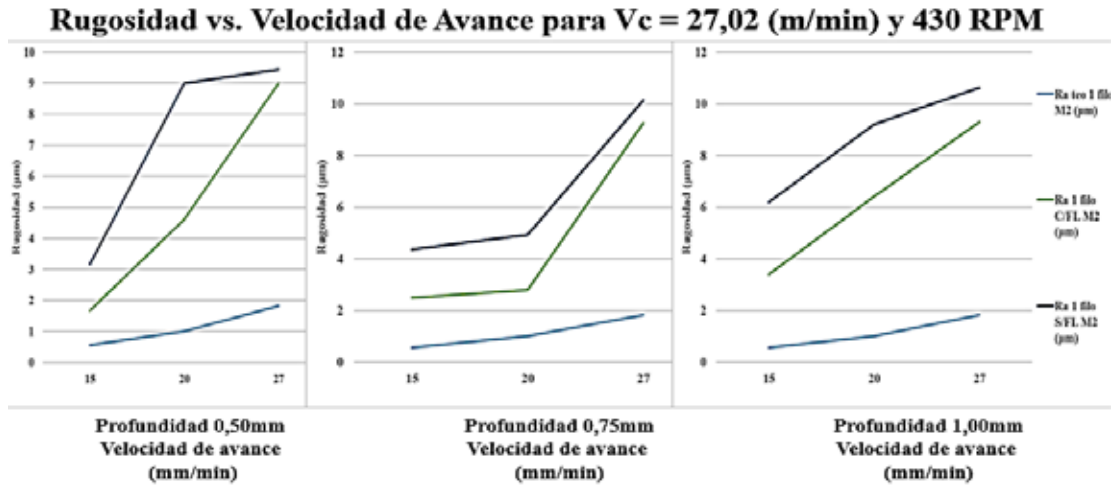


Figura 38: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 27,02$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.
Fuente: Martínez L (2.018).

de inflexión alrededor de 20 mm/min de velocidad de avance, en cambio para una profundidad de corte de 1,00 mm ambas curvas se comportan de manera lineal y sus valores se encuentran muy cercanos. Cabe destacar que Ra (sin lubricación) posee valores más altos que Ra (con lubricación) para las tres profundidades de corte utilizadas.

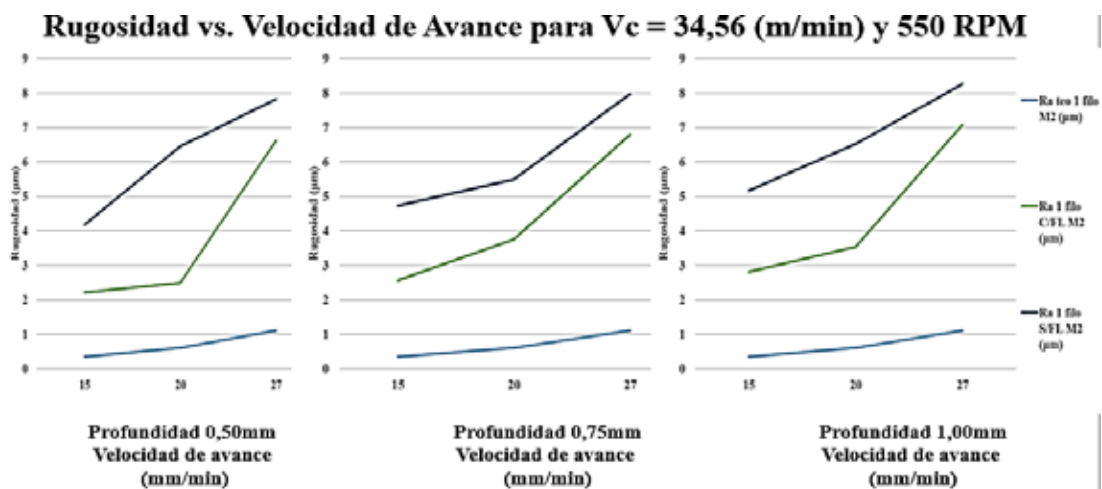


Figura 39: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 34,56$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.
Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 39 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 34,56 m/min. En esta figura se observa un comportamiento creciente a medida que aumenta la velocidad de avance de la herramienta para la curva de Ra teórica. Por otra parte, ambas curvas, tanto Ra (sin lubricación) como Ra (con lubricación) se comportan de manera similar para las profundidades de 0,75 y 1,00 mm ya que poseen un punto de inflexión alrededor de 20 mm/min de velocidad de avance, con tendencia ascendente; para 0,50 mm Ra (sin lubricación) y Ra (con lubricación) los comportamientos son diferentes Ra (sin lubricación) le tendencia es ascendente rápida y Ra (con lubricación) tiene una tendencia ligeramente lineal cercano a los 20 mm/min y luego asciende rápidamente. Cabe destacar que Ra (sin lubricación) posee valores más altos que Ra (con lubricación) para las tres profundidades de corte utilizadas.

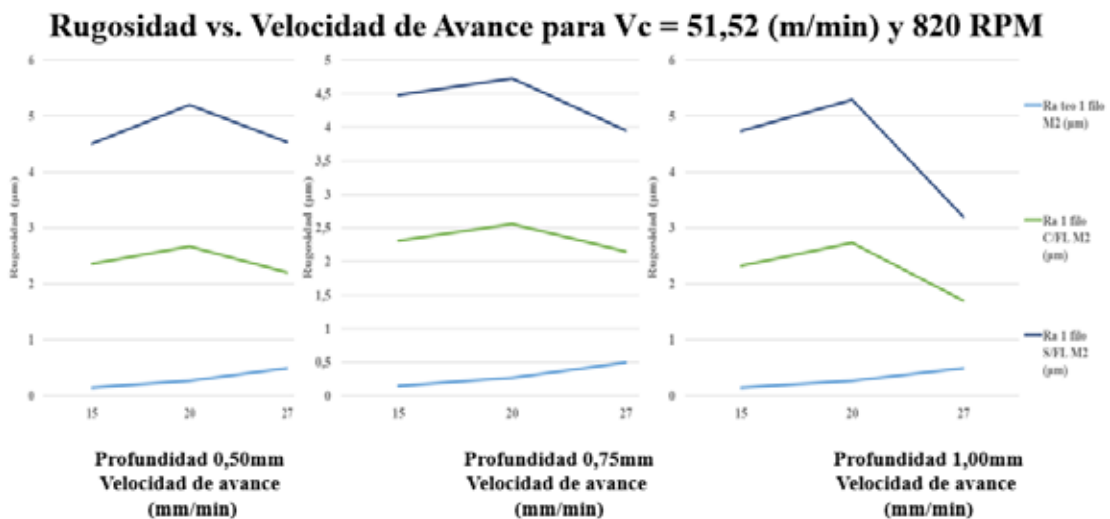


Figura 40: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 51,52$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 40 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 51,52 m/min. Se puede observar cómo en

la curva de Ra teórica (cuya tendencia es creciente y lineal), Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación) ubicadas en orden ascendente respectivamente.

Es importante resaltar que la tendencia de las curvas de Ra (con lubricación) para las tres profundidades de corte el comportamiento es similar y contrario a la rugosidad teórica estas a mayor profundidad de corte y velocidad de avance se obtiene mejor acabado superficial. para 0,75 y 1,00 mm se comportaron de manera creciente, teniendo en cuenta que para 1,00 mm la misma posee un punto de inflexión alrededor de 20 mm/min de velocidad de avance.

Se observa en todas las gráficas que con el uso de lubricación se obtuvieron valores de Ra más ideales ya que los mismos se encontraban en el rango esperado. También, es importante resaltar que las curvas teóricas mostraron valores de Ra más bajos al aumentar la velocidad de corte, y más altos al aumentar la profundidad de corte y la velocidad de avance de la herramienta.

4.3.2.2. Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 2 usando la fresa de tres filos de corte.

Las figuras 41, 42 y 43 reflejan las curvas de rugosidad vs. Velocidad de avance y profundidad de corte; determinadas a partir de los valores presentados en las tablas 12, 18 y 24. Cabe destacar que en dicha figura se observan las curvas de rugosidad superficial tanto teóricas como reales (con y sin lubricación) en función a la velocidad de avance obtenidas en el mecanizado con una fresa de tres filos a tres profundidades de corte diferentes (0,50; 0,75 y 1,00 mm) correspondientemente, manteniendo constante el rango de velocidad de avance de la herramienta (15, 20 y 27 mm/min para cada gráfica).

En la figura 41 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 67,54 m/min. Es notable que el comportamiento de la curva de Ra teórica es creciente, teniendo un rango de valores que van de 0,50 a 1,00 micrómetros, también es evidente que la misma aumenta a medida que se incrementa la velocidad de avance de la herramienta.

Se puede observar que existe un comportamiento similar entre las curvas de Ra (sin

lubricación) y Ra (con lubricación) para las profundidades de corte 0,50 y 1,00 mm ya que poseen una tendencia linealmente similar y en todos los casos experimentados la Ra (sin lubricación) es mucho mayor a la Ra (con lubricación) lo que muestra la eficiencia del uso del fluido lubricante.

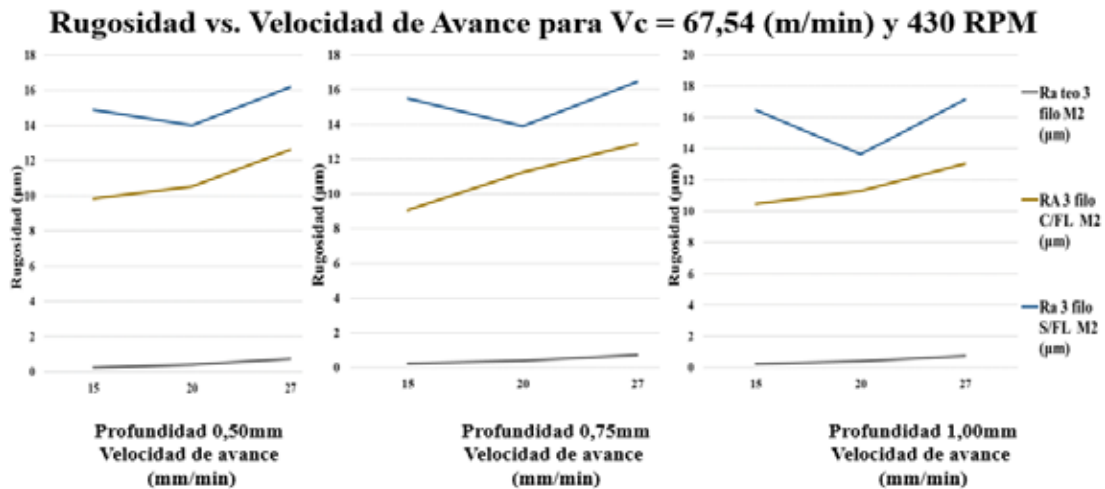


Figura 41: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 67,54$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.
Fuente: Martínez L (2.018).

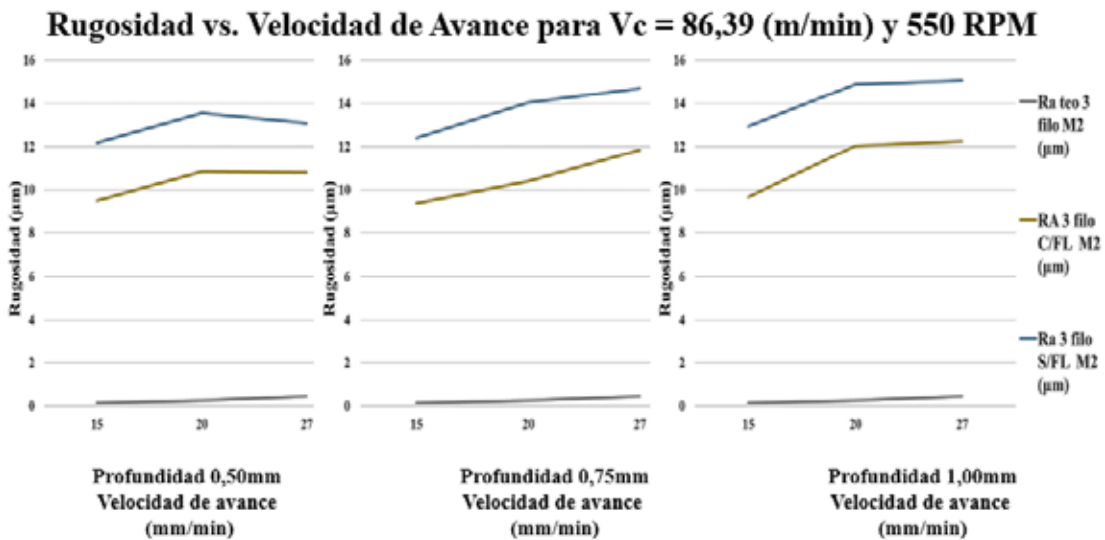


Figura 42: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 86,39$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.
Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 42 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 86,39 m/min. En dicha figura se observa como la curva de Ra teórica de comporta de manera creciente para las tres profundidades utilizadas y sus valores oscilan alrededor de 0,50 y 1,00 micrómetros. Por otro lado, las curvas de Ra (sin lubricación) y Ra (con lubricación) para las tres profundidades de corte arrojan comportamientos muy lejanos a la curva de Ra (teórica) hecho que puede deberse al diámetro de dicha más. Sim embargo, estas presentan un comportamiento similar entre ellas con rangos ente 10,00 y 15,00 micrómetros dando el mejor acabado en la curva de Ra (con lubricación).

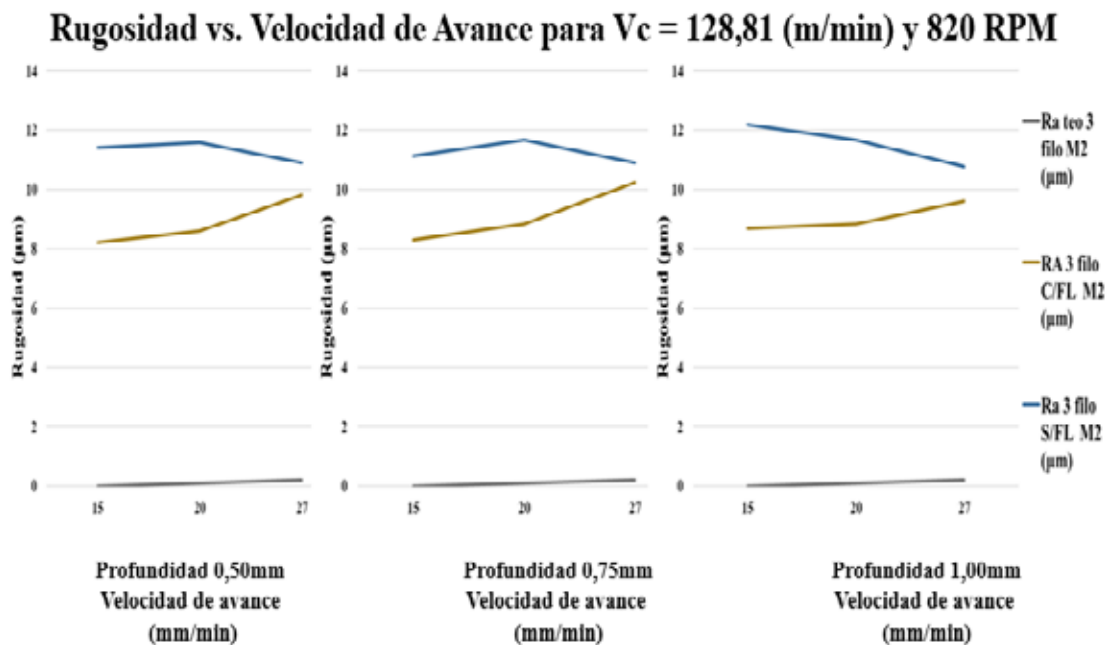


Figura 43: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 128,81$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 43 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 128,81 m/min. Se observa que la curva de Ra teórica posee una tendencia creciente para las tres profundidades de corte utilizadas

al igual que la curva Ra (con lubricación), caso contrario para la curva de Ra (sin lubricación), resaltando que ambas se encuentran por encima de la misma.

La curva de Ra (con lubricación) se comporta de manera similar para las tres profundidades de corte de forma ascendente, caso contrario ocurre con la curva Ra (sin lubricación) las cuales se comportan de manera descendente siendo más estable para la profundidad de 0,50mm; sin embargo en todos los casos el mejor acabado superficial es alcanzado por las curvas Ra(con lubricación) las cuales están por encima de la curvas Ra (teórica) dentro del rango comprendido de 8,00 a 10,00 micrómetros.

4.3.2.3. Análisis comparativo de rugosidad superficial para la máquina 2 usando la fresa de cuatro filos de corte.

Las figuras 44, 45 y 46 reflejan las curvas de rugosidad vs. Velocidad de avance y profundidad de corte; determinadas a partir de los valores presentados en las tablas 13, 19 y 25. Cabe destacar que en dicha figura se observan las curvas de rugosidad superficial tanto teóricas como reales (con y sin lubricación) en función a la velocidad de avance obtenidas en el mecanizado con una fresa de cuatro filos a tres profundidades de corte diferentes (0,50; 0,75 y 1,00 mm) correspondientemente, manteniendo constante el rango de velocidad de avance de la herramienta (15, 20 y 27 mm/min para cada gráfica).

En la figura 44 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 28,37 m/min. Es notable como la curva de Ra teórica se comporta de manera creciente para las tres profundidades, las curvas Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación) tiene una tendencia descendente teniendo un punto de inflexión cerca de 20 mm/min de velocidad de avance para luego ascender comportamiento similar para las profundidades de 0,50 y 1,00 mm caso contrario ocurre para la profundidad de 0,75 mm.

Rugosidad vs. Velocidad de Avance para $V_c = 28,37$ (m/min) y 430 RPM

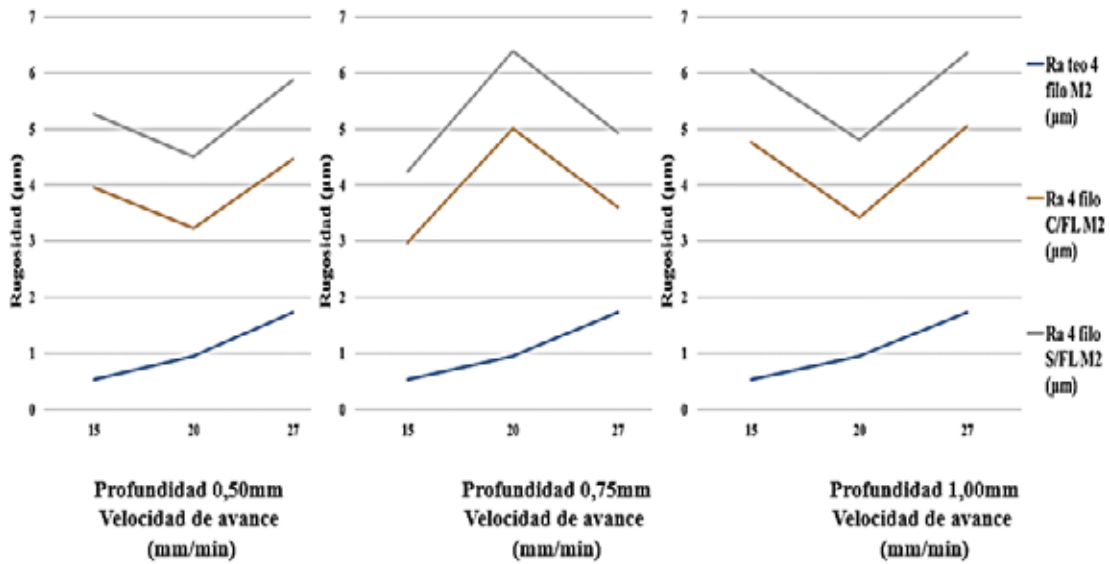


Figura 44: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 28,37$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.
Fuente: Martínez L (2.018).

Rugosidad vs. Velocidad de Avance para $V_c = 36,29$ (m/min) y 550 RPM

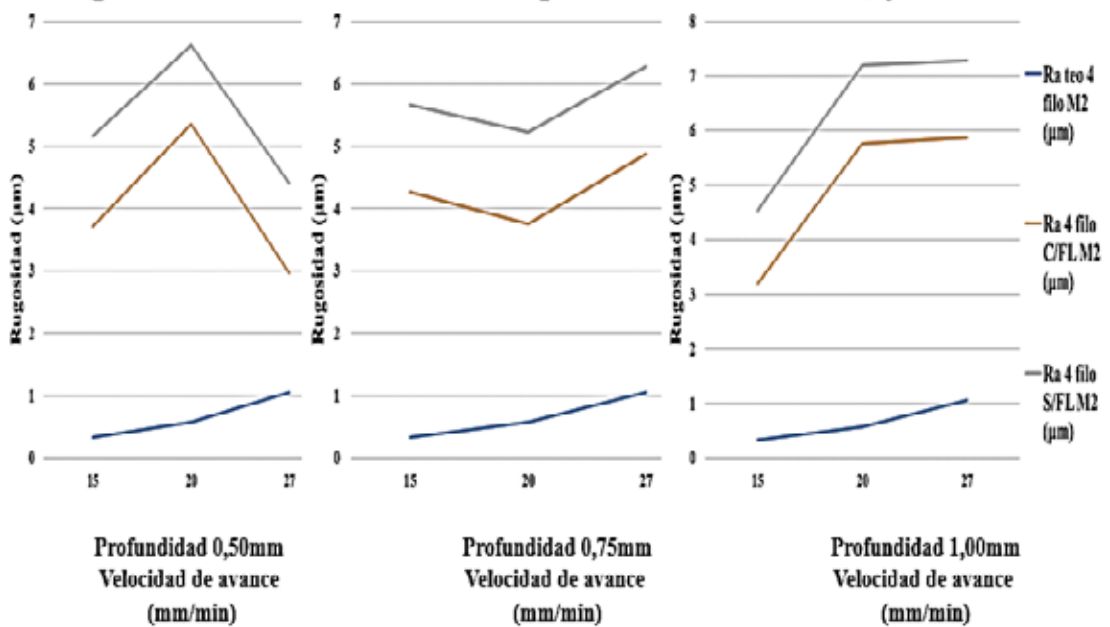


Figura 45: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 36,29$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.
Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 45 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 36,29 m/min. En esta figura se observa que el comportamiento de la curva de Ra teórica tiene una tendencia creciente para las tres profundidades de corte utilizadas en el proceso y sus valores oscilan alrededor de 0,40 y 1,00 micrómetros. Si bien, también se observa que el comportamiento de la curva de Ra (sin lubricación) para las tres profundidades de corte tiende a ser parecida a la curva Ra (con lubricación), pero con valores mayores, la misma tiene comportamiento diferentes en cada profundidad; para 0,05mm el comportamiento es ascendente descendente con un punto de cambio cerca de 20 mm/min de velocidad de avance, para 0,75 la tendencia descendente ascendente con punto de inflexión en 20 mm/min y para 1,00 el comportamiento es ascendente lineal con cambio en el punto de inflexión cercano a 20 mm/min de velocidad de avance.

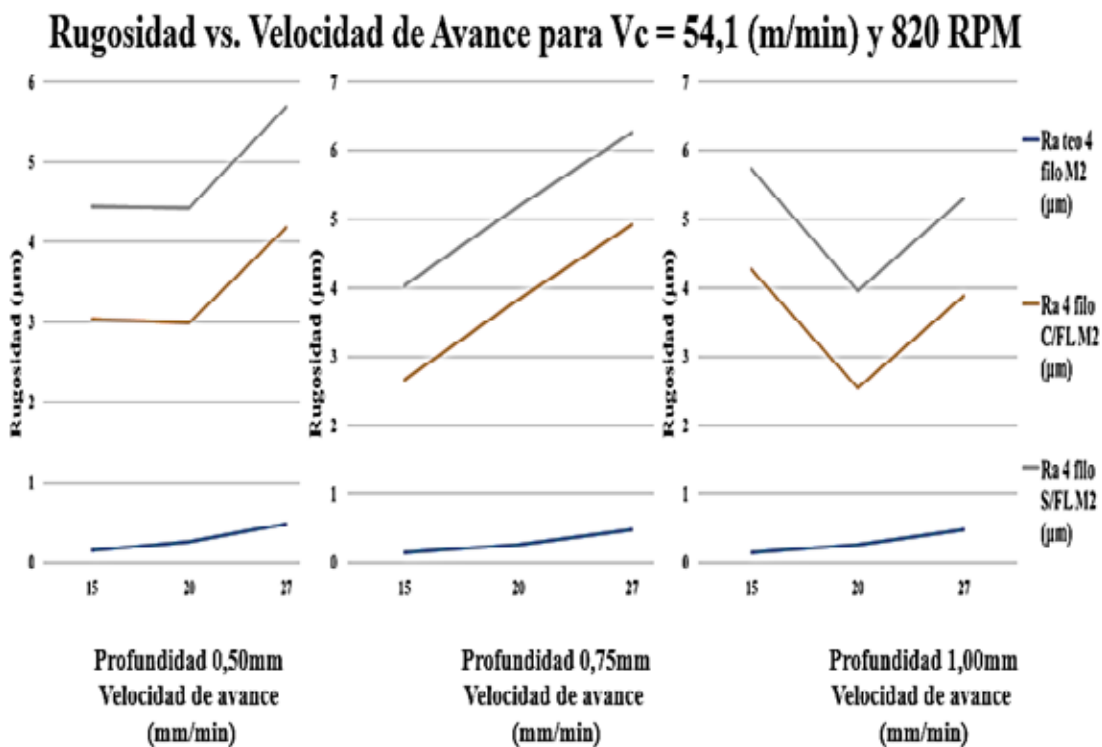


Figura 46: Rugosidad vs. Velocidad de avance para $V_c = 54,1$ (m/min) y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 46 se muestra la representación gráfica de los valores obtenidos para un mecanizado a una velocidad de corte de 54,10 m/min. Se puede observar cómo en las tres gráficas se obtuvo el comportamiento esperado, el cual consiste en el arreglo de las curvas de Ra teórica (cuya tendencia es creciente y lineal), Ra (con lubricación) y Ra (sin lubricación) ubicadas en orden ascendente respectivamente. Es importante resaltar que la tendencia de las curvas de Ra (con lubricación) para las tres profundidades de corte es diferente: para 0,50 mm es lineal y creciente, para 0,75 mm crece conforme aumenta la velocidad de avance y para 1,00 mm ésta decrece hasta un punto de inflexión cercano a 20 mm/min de velocidad de avance y, a partir de este punto, la misma crece. Por otro lado, la curva de Ra (sin lubricación) para las tres profundidades de corte posee un comportamiento similar a la curva Ra (con lubricante), pero con mayores valores de rugosidad.

Con el uso de esta fresa de 4 filos se observó que las curvas con comportamiento de rugosidad superficial de mejor tendencia fueron las correspondientes al uso de lubricación durante el mecanizado, ya que, para las tres velocidades de corte para el mecanizado sin lubricación, las cuales mostraron el peor acabado superficial.

4.4. Concluir cómo influyen en el mecanizado de un acero AISI 1010 los parámetros de corte, la herramienta de corte y el uso o no de fluido lubricante.

4.4.1. Análisis comparativo entre las herramientas de corte utilizadas.

En este punto se muestran los valores de rugosidad superficial obtenidos para cada una de las máquinas utilizadas, teniendo en cuenta las velocidades de rotación implementadas en las mismas, como también el tipo de herramienta. Dichos valores fueron representados gráficamente y comparados entre sí.

4.4.1.1. Máquina 1.

A continuación, en las figuras 47, 48 y 49 se muestran las curvas comparativas de rugosidad vs. velocidad de avance, para cada una de las herramientas utilizadas (1, 3 y 4 filos) a unas velocidades de rotación de 450, 560 y 900 RPM respectivamente, haciendo uso o no de un fluido lubricante. Cabe destacar que dichas gráficas están

representadas para valores de profundidad de corte de 0,5; 0,75 y 1,0 mm en combinación con la velocidad de avance de 14, 20 y 28 mm/min.

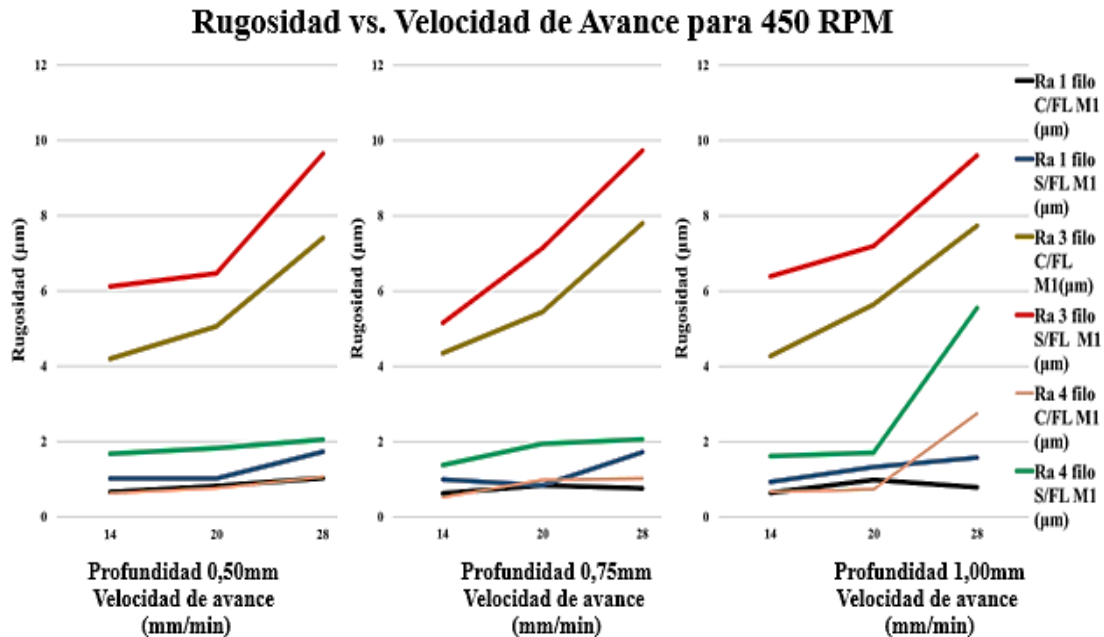


Figura 47: Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 450 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 47 se observan las curvas de la rugosidad superficial (Ra) obtenidas para cada herramienta de corte usada en la máquina 1, a 450 RPM. Para una profundidad de corte de 0,50 mm se observa que todas las curvas (a excepción de la realizada con la fresa de 3 filos sin lubricación, que tiene un comportamiento lineal con pendiente positiva, creciendo al aumentar la velocidad de avance) poseen un punto de inflexión en los 24 mm/min de velocidad de avance de la herramienta.

Además, se nota claramente que el mejor acabado superficial se logró con el uso de la fresa de 1 filo aplicando lubricación, el segundo mejor acabado se obtuvo usando la fresa de cuatro filos y lubricación, luego, en orden creciente de valores de rugosidad superficial, siguen las curvas de la fresa de cuatro filos sin lubricación, las curvas de tres

filos sin lubricación y por último se observa la curva obtenida con el uso de la fresa de tres filos con lubricación, teniendo el peor acabado superficial, igual sin lubricación.

Es de hacer notar que los mejores acabados se obtuvieron mediante el uso de lubricación (con las fresas de 1 y cuatro filos), cuyos valores se encuentran cercanos a los $0,50 \mu\text{m}$, luego, se nota un aumento significativo del grado de rugosidad superficial obtenido para la fresa de tres filos sin lubricación, las cuales obtuvieron valores de rugosidad superficial de $6,00 \mu\text{m}$ aproximadamente, quien obtuvo el valor del peor acabado superficial el cual está cercano los $10,0 \mu\text{m}$ aproximadamente.

Para una profundidad de corte de $0,75 \text{ mm}$ se observa entre todas las curvas, que tienen una sutil tendencia a crecer mientras crece la velocidad de avance de la herramienta. Se observa que el mejor acabado superficial se obtuvo nuevamente para la fresa de 1 filo con lubricación, para un valor aproximado de $0,50$ a $1,00 \mu\text{m}$ aproximadamente; luego, en orden creciente de rugosidad superficial se pueden apreciar las curvas de cuatro filos con lubricación junto a la de cuatro filos sin lubricación y de un filo sin lubricación, las cuales tienen valores de rugosidad superficial entre $1,00 - 2,00 \mu\text{m}$ aproximadamente; por último, se encuentran las curvas obtenidas con la fresa de tres filos con y sin lubricación, obteniendo el peor acabado superficial entre $4,00$ y $10,00 \mu\text{m}$ aproximadamente.

En la gráfica obtenida para una profundidad de pasada de $1,00 \text{ mm}$ continúa presentándose la curva obtenida con la fresa de un filo con lubricación como la que presenta el mejor acabado superficial, pero esta vez interceptándose en una oportunidades con la curva obtenida con la fresa de cuatro filos con lubricación, seguida en orden creciente de rugosidad superficial por la curva de un filo sin lubricación, luego, las curvas correspondientes a las fresas de cuatro y tres filos sin lubricación, las cuales tienen un comportamiento visualmente simétrico entre sí, respecto de un eje trazado horizontalmente; y por último, se encuentra, con el peor acabado superficial a la curva correspondiente al mecanizado realizado con la fresa de tres filos sin lubricación.

Es de hacer notar, que la fresa de tres fillos sin lubricación fue quien obtuvo el peor acabado superficial de entre todas las fresas, a diferencia de cuando se utilizó con lubricación, que se puede observar que arroja valores intermedios (entre la mejor y la peor rugosidad superficial). Así mismo, se debe mencionar que, para este estudio de rugosidad con este valor de velocidad de rotación, es la curva de un filo con lubricación es la que siempre tiene el mejor acabado superficial. También se puede observar que los valores de rugosidad tienden a ir aumentando con el crecimiento del avance de la herramienta.

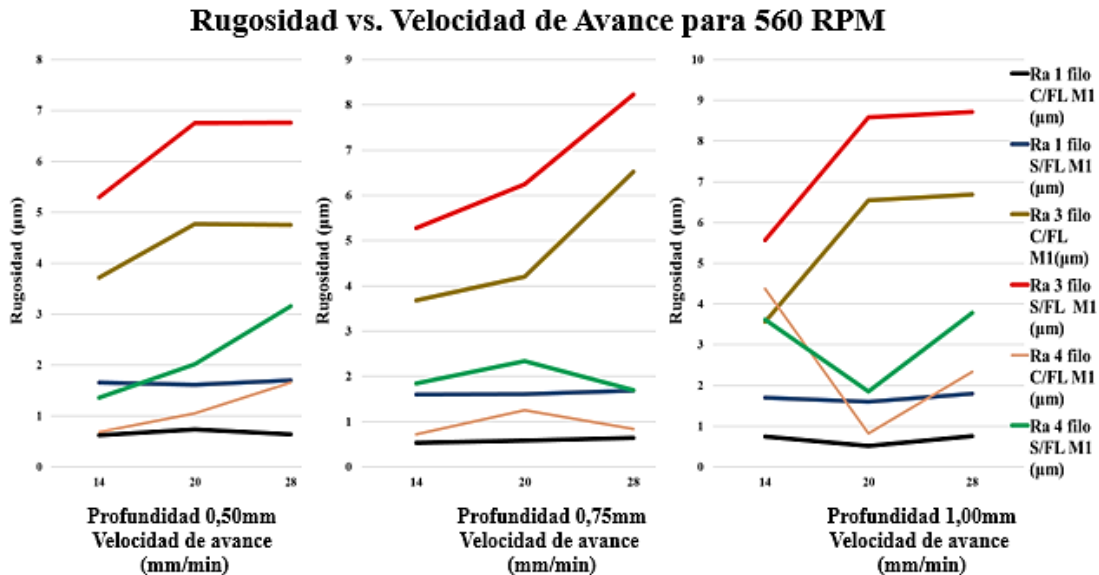


Figura 48: Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 560 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 48 se observan las curvas de la rugosidad superficial (Ra) obtenidas para cada herramienta de corte usada en la máquina 1, a 560 RPM. Para una profundidad de corte de 0,50 mm se observa que el mejor resultado de acabado superficial se obtuvo para la fresa de un filo con lubricación, seguida en orden ascendente por la curva del proceso realizado con la fresa de cuatro fillos con lubricación, cuyos valores de rugosidad oscilan entre los 0,50 –

aproximadamente; luego siguen las curvas para las fresas de un filo sin lubricación y cuatro filos sin lubricación, las cuales tienen una tendencia ascendente y se interceptan entre sí en un punto a los 16 mm/min de velocidad de avance de la herramienta, cabe destacar que estas curvas tienen valores de rugosidad en un rango muy amplio, que va

último se pueden observar las curvas de tres filos con lubricación y sin lubricación, se puede notar que la curva para la fresa de tres filos sin lubricación posee el peor acabado superficial.

También se puede observar que la curva para la fresa de cuatro filos con y sin lubricación tiene un marcado comportamiento ascendente, con un punto de inflexión a los 20 mm/min donde la pendiente aumenta y la curva crece en mayor medida. Para la profundidad de corte de 0,75 mm se observa a primera vista que las gráficas tienen un comportamiento un poco más ordenado y cercano entre sí, a excepción de la curva para la herramienta de tres filos, que siguen estando alejadas. Se distingue claramente que la fresa de un filo y bajo lubricación obtuvo los mejores valores de rugosidad

mostrando un comportamiento casi constante. Luego sigue en orden ascendente según la rugosidad obtenida, la curva para la herramienta de cuatro filos usando lubricación, la cual aumenta levemente a los 20 mm/min de velocidad de avance, a partir de allí disminuye con mayor rapidez en función de la velocidad de avance.

También se puede observar la curva para la herramienta de un filo sin lubricación, comportándose de modo moderadamente constante, y aumentando su pendiente a partir de los 24 mm/min de velocidad de avance. Luego sigue la curva para la herramienta de cuatro filos sin el uso de lubricante, que muestra un comportamiento ascendente y en el punto de 20mm/min de velocidad de avance comienza a descender.

Finalmente, para la profundidad de corte de 1,00 mm se observa que nuevamente se obtiene el mejor acabado superficial para la fresa de un filo con lubricación, observándose que la rugosidad disminuye a qué medida que aumenta la velocidad de avance. La curva de cuatro filos con lubricación se intercepta en par de ocasiones con

la curva de un filo sin lubricación y alcanza a cortar las curvas cuatro fillos sin lubricación y tres fillos con lubricación. Siendo la curva de tres fillos sin lubricación la de peor resultado.

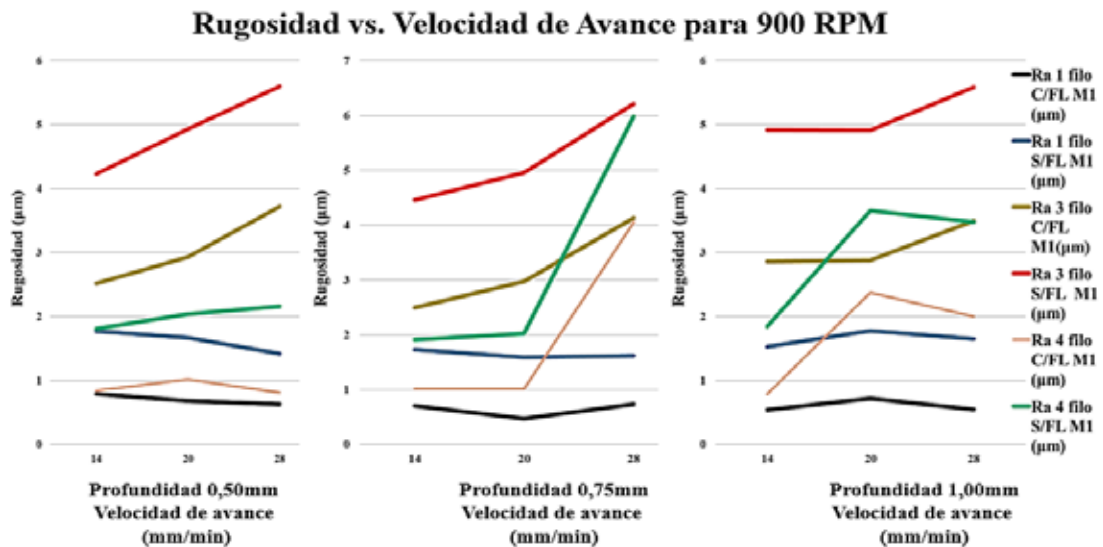


Figura 49: Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 900 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 49 se observan las curvas de la rugosidad superficial (Ra) obtenidas para cada herramienta de corte usada en la máquina 1, a 900 RPM. Para una profundidad de corte de 0,50 mm la curva de un filo de corte con lubricante presenta el mejor acabado con una comportamiento lineal ligeramente descendente con forme aumenta la velocidad de avance, esta es seguida por la curva de 4 fillos con el uso del fluido lubricante con tendencia ascendente y descendente posterior al punto de 20 mm/min de velocidad de corte, continua la curva de un filo de corte sin lubricante en tercer lugar con similar comportamiento u poco más marcado la tendencia de descendente conforme aumenta la velocidad de avance, la curva de tres fillos de corte sin lubricante arroja el peor resultado con valores entre 4,00 – 6,00 micrómetros.

En la profundidad de 0,75 mm continua la curva de un filo de corte con lubricante con el mejor resultado, pero existe una variación notoria en las curvar para la fresa de

cuatro filos de corte sin lubricación por ejemplo tiene una tendencia lineal constante de 1,00 μm entre las velocidades de avance de 14 – 20 mm/min posterior a este tiene un ascenso de hasta 4 μm , mismo comportamiento presenta sin el uso del fluido lubricante pero con mayores valores siendo constante ligeramente constante en 2 μm entre 14 – 20 mm/min y alcanzando un valor de hasta 6 μm la cual pasa por el valor de la curva de peor resultado como el arrojado por la fresa de tres filos de corte sin el uso de lubricante.

Finalizando, con la profundidad de 1,00 mm la curva de un filo de corte con lubricante presenta el mejor acabado con valores entre 0,50 y 0,80 μm seguida en forma ascendente por las curvas de un filo de corte y cuatro filos de corte las cuales se interceptan cercano a 17 mm/min de velocidad de corte aproximadamente; esta última presentando una tendencia ascendente rápida y al punto de 20 mm/min comienza a descender de igual forma. Las curvas de cuatro filos de corte sin lubricante y tres filos de corte con lubricante se interceptan alrededor de 17 mm/min ya que la curva de cuatro filos sin lubricante tiene una tendencia ascendente descendente, comprendidas dentro del rango de 2,00 – 3,80 μm ; nuevamente la curva de tres filos de corte sin lubricante presenta el peor resultado de acabado superficial con valores de 5,00 – 6,00 μm .

4.4.1.2. Máquina 2.

A continuación, en las figuras 50, 51 y 52 se muestran las curvas comparativas de rugosidad vs. velocidad de avance, para cada una de las herramientas utilizadas (1, 3 y 4 filos) a unas velocidades de rotación de 430, 550 y 820 RPM respectivamente, haciendo uso o no de un fluido lubricante. Cabe destacar que dichas gráficas están representadas para valores de profundidad de corte de 0,5; 0,75 y 1,0 mm en combinación con la velocidad de avance de 15, 20 y 27 mm/min.

En la figura 50 se observan las curvas de la rugosidad superficial (R_a) obtenidas para cada herramienta de corte usada en la máquina 2, a 430 RPM. Para una profundidad de corte de 0,50 mm se observa que las curvas en su mayoría (a excepción de la curva resultante del uso de la fresa de tres filos sin el uso de lubricación) se ubican muy cercanas una respecto de la otra, incluso mostrándose curvas con comportamientos

muy similares. Se puede observar que la menor rugosidad se obtuvo para el uso de la fresa de cuatro filos con el uso de lubricante, la cual tiene un comportamiento que se proyecta en general descendente ascendente con un punto de inflexión aproximado a 20 mm/min de velocidad de avance, en un rango de 3,00 – 4,00 μ m. De igual manera, la fresa de 1 filo cuando se usa lubricación tuvo un comportamiento similar sobre todo a partir de una velocidad de avance 20 mm/min, pero en un rango de 4,50 – 6,00 μ m.

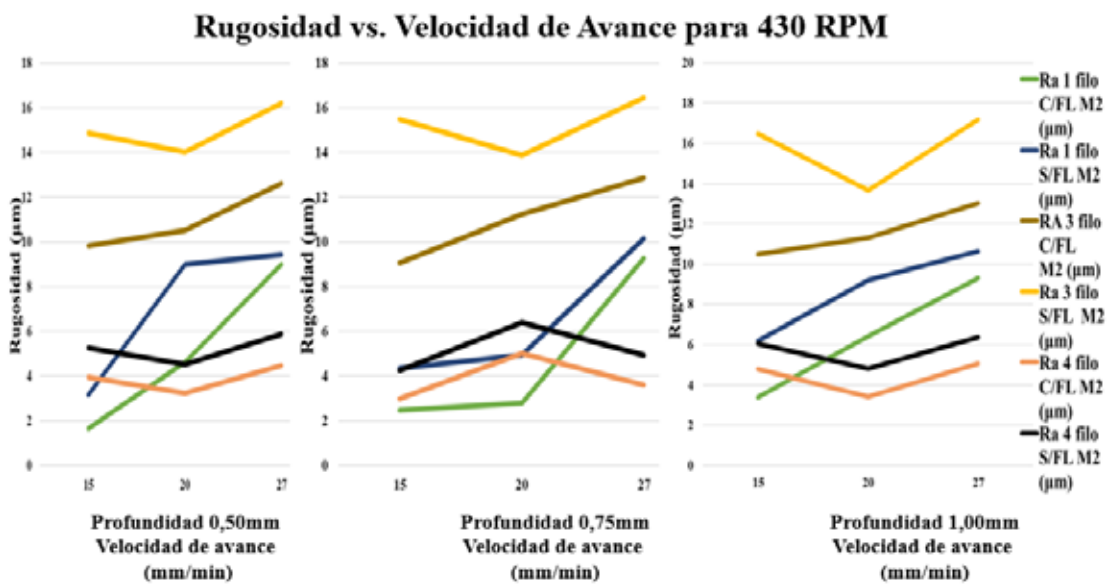


Figura 50: Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 430 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

Por último, con el peor acabado superficial obtenido, se aprecia la curva obtenida para el proceso usando la fresa de tres filos sin usar lubricación, mostrando una tendencia descendente hasta la velocidad de 20 mm/min donde presenta la menor rugosidad, comportamiento que sugiere que la velocidad de avance si influye en el grado de rugosidad superficial obtenido, pero esto es refutado en por el comportamiento de otras curvas en diferentes gráficas.

Para la profundidad de corte de 0,75 mm se observa que ahora el mejor acabado superficial se logró con la herramienta de un filo de corte con el uso de lubricación; se

observa además que esta curva tiene una tendencia ligeramente ascendente, y al llegar a la velocidad de avance de 20 mm/min, cambia abruptamente ascendiendo en forma pronunciada. Ascendentemente en el orden, se observa ahora la curva correspondiente al mecanizado realizado con la fresa de cuatro filos y lubricación, la cual presenta un comportamiento ascendente, mostrando un cambio de pendiente en el punto correspondiente a una velocidad de avance de 20 mm/min, donde disminuye la rugosidad a medida que aumenta el avance. Luego se observan las curvas correspondientes al uso de las herramientas de un filo y cuatro filos sin la aplicación de lubricante, las cuales tienen un comportamiento muy diferente entre sí, interceptándose incluso cuando la velocidad de avance de la herramienta fue de 23 mm/min.

Continuando en el mismo orden, se observa la curva que representa la rugosidad obtenida usando la herramienta de tres filos con lubricación, presentando una tendencia inicialmente creciente. Por último, se encuentra, con el peor acabado superficial, a la curva correspondiente al mecanizado con la fresa de tres filos sin aplicar lubricación, con un comportamiento decreciente hasta la velocidad de avance de 20 mm/min, y a un valor de rugosidad de aproximadamente 14,0 μm , donde aumenta,

Para la profundidad de corte de 1,00 mm, se observa un comportamiento de las curvas muy similar a las de profundidad de corte de 0,5 mm, observándose prácticamente la misma tendencia en las curvas.

En función del aumento de la rugosidad superficial se pueden ordenar las curvas experimentales de la siguiente manera: con el mejor acabado superficial se presenta la curva correspondiente al mecanizado con la fresa de cuatro filos con lubricación; en segundo lugar la correspondiente a la fresa de cuatro filos sin el uso de lubricante; seguida de las curvas correspondientes a las herramientas de un filo con lubricación y un filo sin lubricación, las cuales se encuentran muy cercanas la una de la otra; luego se observa la curva correspondiente a la herramienta de tres filos con lubricación, y, por último, la curva correspondiente a la fresa de tres filos sin lubricación, además, se

observa que esta última curva se encuentra un poco más separada de las demás curvas que se presentan para la profundidad de corte de 1,00 mm, al igual que en las otras.

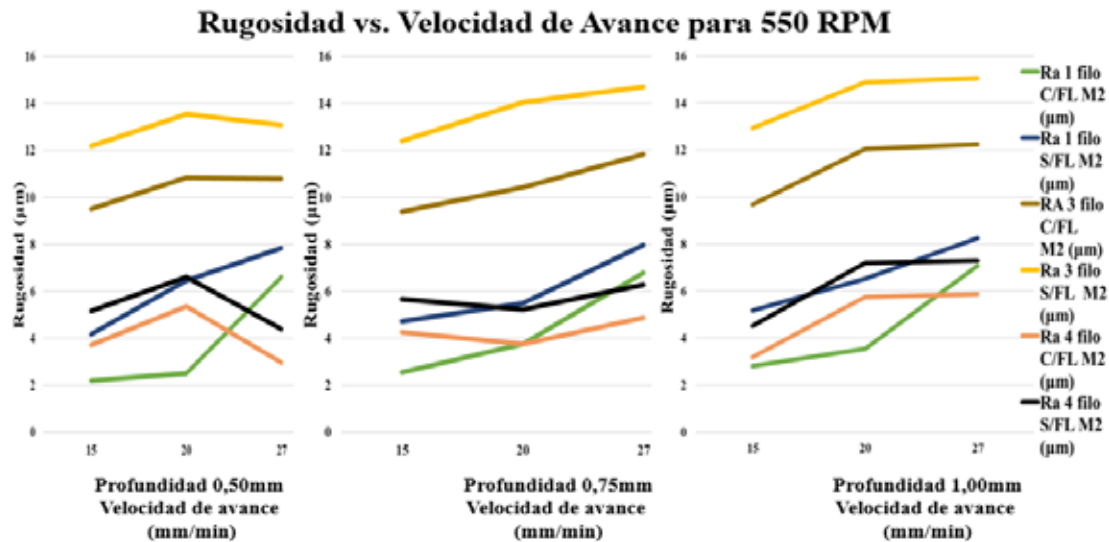


Figura 51: Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 550 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 51 se observan las curvas de la rugosidad superficial (Ra) obtenidas para cada herramienta de corte usada en la máquina 2, a 550 RPM. Para una profundidad de corte de 0,50 mm se observa que el mejor acabado superficial se obtuvo para el mecanizado hecho para la herramienta de un filo con lubricación hasta un avance de 20 mm/min, donde comienza a aumentar muy pronunciada a medida que avanza el corte y en ese mismo punto la fresa de cuatro filos con lubricación tiene un mejor comportamiento disminuyendo la rugosidad con el aumento de la velocidad de avance, de igual forma lo hace la curva sin el uso de lubricante, la cual se intercepta con la curva de un filo de corte sin lubricante en un punto aproximado a 6,5 μm y 20 mm/min. A esta profundidad el peor arrojado lo mostro el mecanizado hecho por la fresa de tres filos de corte sin lubricante teniendo su mínimo valor de 12 μm para 15 mm/min la cual es antecedida por la curva de 3 filos con el uso de lubricante la cual tiene un máximo de 11,00 μm .

En la profundidad de 0,75 mm el menor valor de rugosidad fue dado por el mecanizado con la fresa de un filo de corte siendo este cercano a los 2,5 μm . Sin embargo, la curva de 4 filos se presentó de forma más estable teniendo valores entre 4,00 – 4,5 μm en el rango de velocidades de avance. Las curvas de 1 filo y 4 filos de corte sin el uso de lubricante son similares entre sí, de hecho, se interceptan aproximadamente en 5,00 μm y 19 mm/min respectivamente, manteniendo valores dentro del rango 4,50- 8,00 μm .

Las curvas de la fresa de 3 filos de corte con y sin lubricante se encuentran entre los peores resultados alcanzado siendo la curva con el uso de lubricante la mejor entre ellas.

Finalizando, con la profundidad de 1,00 mm. La curva de 1 filo de corte y 4 filos de corte con el uso de fluido lubricante, están entre las dos de mejores acabados siendo la de un filo de corte los menores valores en el rango de 15 – 20 mm/min de velocidad de avance con una tendencia creciente mientras que la curva de 4 filos se comporta de manera estable en el rango de 20 – 27 mm/min con valores cercanos a las 6 μm . Por encima de estas, se encuentran las curvas de 1 filo y 4 filos de corte sin lubricante las cuales se interceptan en par de ocasiones uno (6,00 μm ;18 mm/min) y el otro en (7,00 μm ; 24 mm/min), donde la curva de 1 filo sin lubricante tiene una tendencia netamente ascendente y la otra ascendente hasta los 20 mm/min para luego mantenerse constante cerca de los 7,00 μm . De igual forma, las curvas de 3 filos de corte con y sin lubricante están entre las de peor resultados obtenidos, hecho que se puede originar debido al diámetro de la misma siendo esta la de mayor valor con 51 mm.

En la figura 52 se observan las curvas de la rugosidad superficial (R_a) obtenidas para cada herramienta de corte usada en la máquina 2, a 820 RPM. Para una profundidad de corte de 0,50 mm se observa que las curvas en su mayoría (a excepción de la curva resultante del uso de la fresa de tres filos) se ubican muy cercanas una respecto de la otra, resultando la curva de un filo con el uso de lubricante como de menor rugosidad, seguida de la curva de 4 filos de corte la cual tiene una tendencia ascendente entre el rango de 3,00 – 4,00 μm . Por arriba de estas, se encuentran las

curvas de 1 filo y 4 fillos sin el uso de lubricante las cuales se ubican en términos de rugosidad en un rango de 4,00 – 6,00 μm ; alejada de estas se encuentran las curvas de 3 fillos con y sin lubricante con los peores resultados con valores entre 8,00 – 12,00 μm .

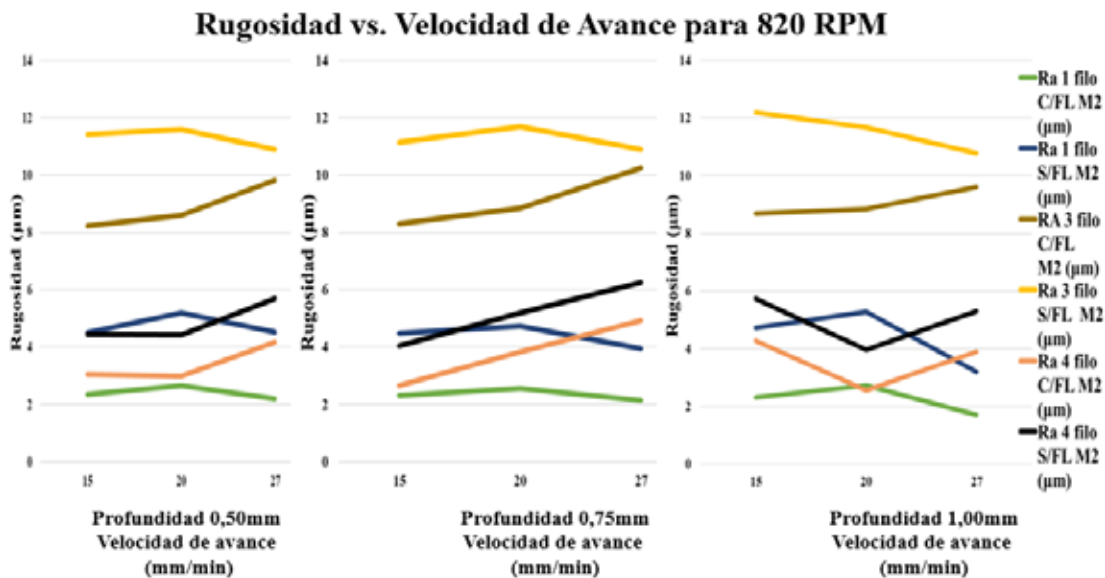


Figura 52: Rugosidad vs. Velocidad de avance para una velocidad de rotación de 820 RPM y profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 milímetros respectivamente.

Fuente: Martínez L (2.018).

Para la profundidad de 0,75 mm en función de términos de rugosidad de forma ascendente se ubican en primer lugar la curva de un filo con lubricación la cual presenta poca variación manteniendo una ligera constancia cerca de los 2,25 μm , en segundo lugar, con una pendiente ascendente con forma se aumenta la velocidad de avance desde los 2,25 μm hasta los 5 μm aproximadamente, interceptándose con la curva 1 filo sin lubricante cercano al punto (4,25 μm ; 24 mm/min). La curva de 4 fillos de corte se comporta de igual forma con pendiente ascendente y esta sobre las curvas de 1 filo sin lubricante que se posiciona en tercer lugar. Para el mecanizado con la fresa de 3 fillos de corte con y sin lubricación se alcanzan los valores más altos en términos de rugosidad siendo los valores más bajos dentro del rango 8,00 – 10 μm logrados mediante el uso de lubricante.

Continuando con la profundidad de 1,00mm una consistencia con el mecanizado con 3 filos de corte la cual se mantiene entre los peores resultados de rugosidad aunque a estas velocidades de rpm tuvieron un ligero descenso en sus valores, pero de igual forma lejanas al grupo de 1 un filo y 3 filos las cuales se encuentran muy cercanas dentro del rango de 2,00 – 6,00 μm siendo la de un filo con lubricante la de mejor acabado, la cual tiene una tendencia ascendente al aproximarse a los 20 mm/min para luego descender, seguida de esta se encuentra la de 4 filos con lubricante comportándose de manera diferente descendente – ascendente con un mínimo de 2,25 μm por sobre estas se encuentra las curvas de 1 y 4 filos sin lubricante correspondientemente.

4.4.2. Análisis comparativo entre máquinas.

A continuación, se muestran las curvas comparativas de rugosidad vs. velocidad de avance, para cada una de las herramientas utilizadas (1, 3 y 4 filos) a velocidades de rotación diferentes para cada máquina, pero semejantes entre sí, es decir, para la máquina 1 (450, 560 y 900 RPM) y para la máquina 2 (430, 550 y 820 RPM), haciendo uso o no de un fluido lubricante. Cabe destacar que dichas gráficas están representadas para valores de profundidad de corte de 0,5, 0,75 y 1,0 mm en combinación con las velocidades de avance para la máquina 1 de 14, 20 y 28 mm/min y para la máquina 2 de 15, 20 y 27 mm/min.

4.4.2.1. Análisis comparativo para las dos maquinarias usando una fresa de 1 filo.

Las figuras 53, 54 y 55 reflejan las curvas de rugosidad vs. velocidad de avance. Cabe destacar que en dichas figuras se observan las curvas de rugosidad superficial con y sin lubricación obtenidas en el mecanizado con la fresa de un filo de corte, en función de los parámetros previamente descritos con el fin de comparar el comportamiento de ambas maquinarias y la eficacia de cada una de ellas.

En la figura 53 se observan las curvas de Ra obtenidas bajo los parámetros de 450 rpm, velocidades de avance de 14 – 20 – 28 mm/min para la maquina 1 y similares a este 430 rpm con velocidades de avance de 15 – 20 y 27 mm/min para la maquina dos respectivamente. De forma general es notoria la diferencia entre ambas maquinas ya

que para la maquina 1 en las 3 profundidades (0,5; 0,75; 1,00 mm), con el uso o no de lubricante están arrojan valores de rugosidad excelentes comprendido entre un mínimo de 0,5 μm y un máximo de hasta 2 μm resultando de mejor calidad el uso de lubricante.

Por otro lado, para la máquina 2 los resultados en términos de rugosidad fueron mayores, en las profundidades de corte de 0,5 y 1,00 mm la tendencia es similar entre ellas con pendiente ascendente abrupta conforme aumenta la velocidad de avance dando desde 1,5 μm hasta 11 μm . Para 0,75 la tendencia ligeramente ascendente posterior a los 20 mm/min asciende de forma abrupta.

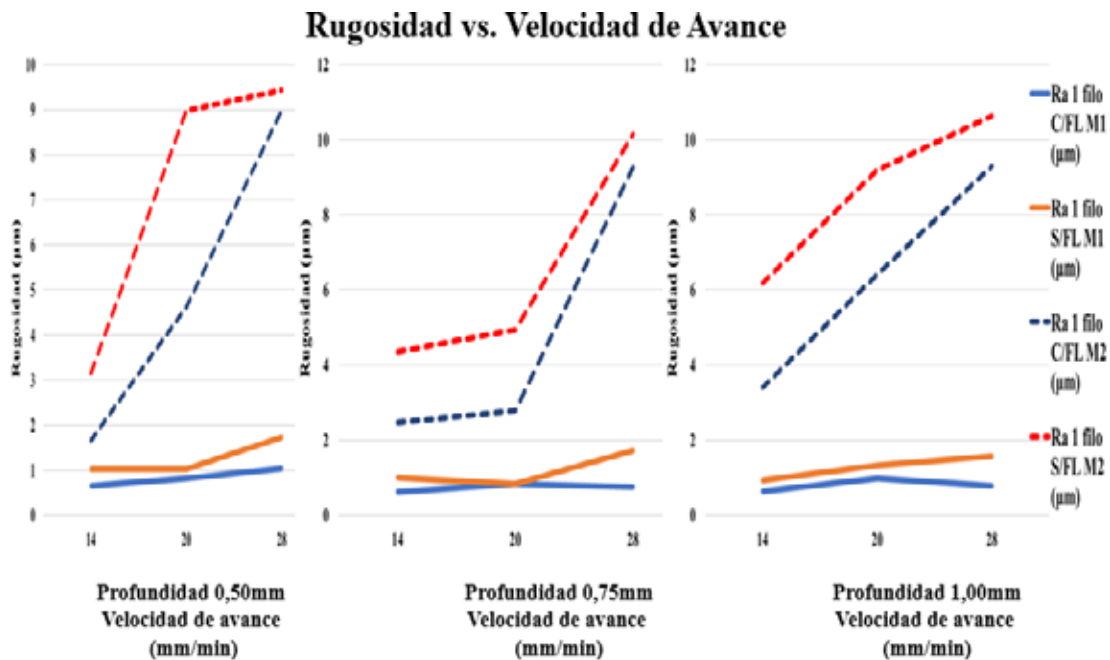


Figura 53: Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 430 y 450 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 1 filo de corte.

Fuente: Martínez L (2.018).

En términos de rugosidad y con apoyo en la teoría se puede determinar que las diferencias entre una máquina y otra se deben en su mayoría a la generación de rugosidad natural la cual depende del estado de la máquina, la cual puede presentar vibraciones debidas al mantenimiento y funcionamiento los cuales fueron pobres y observados a la hora del mecanizado donde se percató de juegos en las palancas de

selección de RPM, automático para el movimiento transversal y longitudinal, como también para la selección de la velocidad de avance. Así como también, la bomba encargada del fluido lubricante. Son entre ellos una serie de factores que juegan un papel importante a la hora de mejorar la rugosidad superficial.

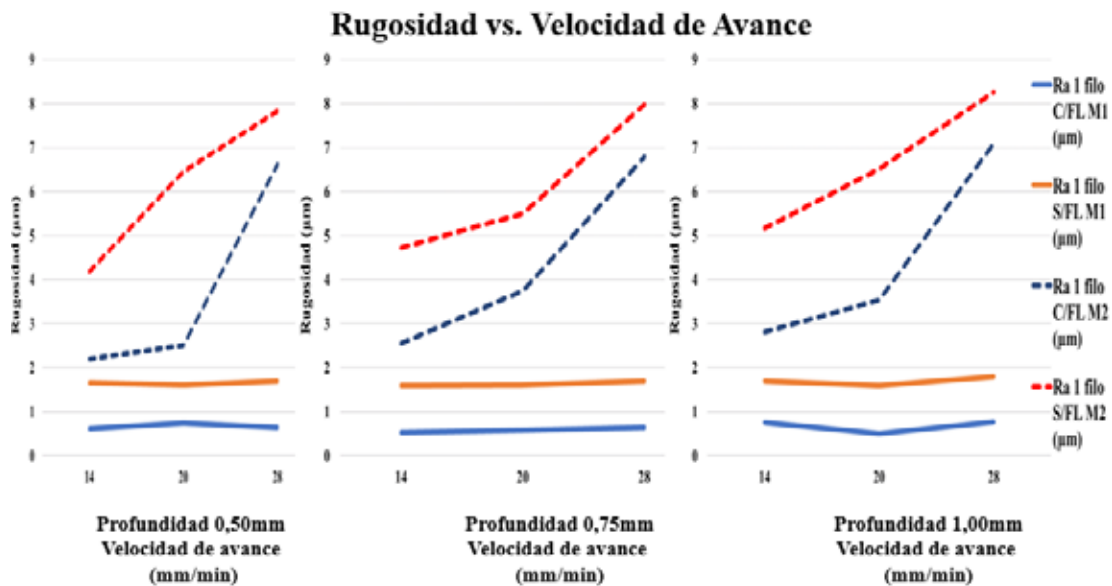


Figura 54: Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 550 y 560 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 1 filo de corte.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 54 se observan las curvas de Ra obtenidas bajo los parámetros de 560 rpm, velocidades de avance de 14 – 20 – 28 mm/min para la maquina 1 y similares a este 550 rpm con velocidades de avance de 15 – 20 y 27 mm/min para la máquina 2 respectivamente. Para la máquina 1 en las 3 profundidades (0,5; 0,75; 1,00 mm), con el uso o no de lubricante está arroja valores de rugosidad excelentes comprendido entre un mínimo de 0,5 µm y un máximo de hasta 2 µm con una tendencia lineal y constante resultando de mejor calidad cuando se emplea el uso de lubricante.

Continuando con la máquina 2 los resultados en términos de rugosidad fueron mayores, en las profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 mm la tendencia es similar entre ellas con pendiente de ascenso rápido conforme aumenta la velocidad de avance

dando valores desde 2,25 μm hasta 8,5 μm . se mantiene lo explicado en la figura 53 referente a rugosidad natural para la comprensión en las diferencias de resultados de ambas maquinas.

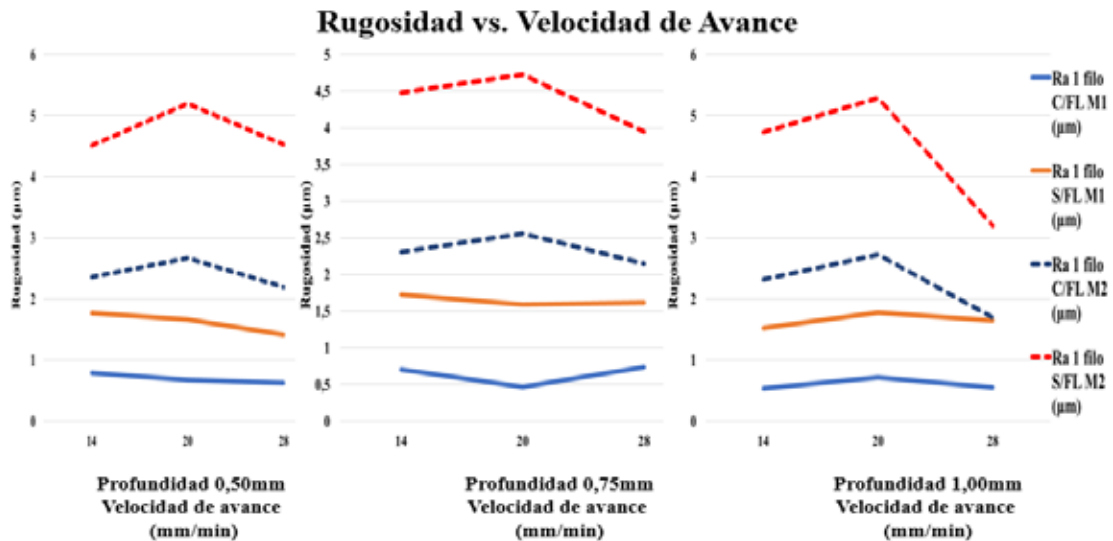


Figura 55: Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 820 y 900 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 1 filo de corte.
Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 55 se observan las curvas de Ra obtenidas bajo los parámetros de 900 rpm, velocidades de avance de 14 – 20 – 28 mm/min para la máquina 1 y similares a este 820 rpm con velocidades de avance de 15 – 20 y 27 mm/min para la máquina 2 respectivamente. Para la máquina 1 en las 3 profundidades (0,5; 0,75; 1,00 mm), con el uso o no de lubricante está arroja valores de rugosidad excelentes comprendido entre un mínimo de 0,5 μm y un máximo de hasta 2 μm con una tendencia lineal ligeramente descendente conforme se aumenta la velocidad de avance, resultando de mejor calidad cuando se emplea el uso de lubricante con un punto máximo de 1,90 μm .

Continuando con la máquina 2 los resultados en términos de rugosidad fueron mayores, en las profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 mm la tendencia es similar entre ellas con pendiente de ascenso rápido teniendo su máximo valor de rugosidad de 2,80 μm para en la curva empleando lubricante y sobre esta se encuentra con la peor

calidad la curva sin el uso de lubricante. se mantiene lo explicado en la figura 53 referente a rugosidad natural para la comprensión en las diferencias de resultados de ambas máquinas.

4.4.2.2. Análisis comparativo para las dos maquinarias usando una fresa de 3 filos.

Las figuras 56, 57 y 58 reflejan las curvas de rugosidad vs. velocidad de avance. Cabe destacar que en dichas figuras se observan las curvas de rugosidad superficial con y sin lubricación obtenidas en el mecanizado con una fresa de tres filos en función de los parámetros previamente descritos con el fin de comparar el comportamiento de ambas maquinarias y la eficacia de cada una de ellas.

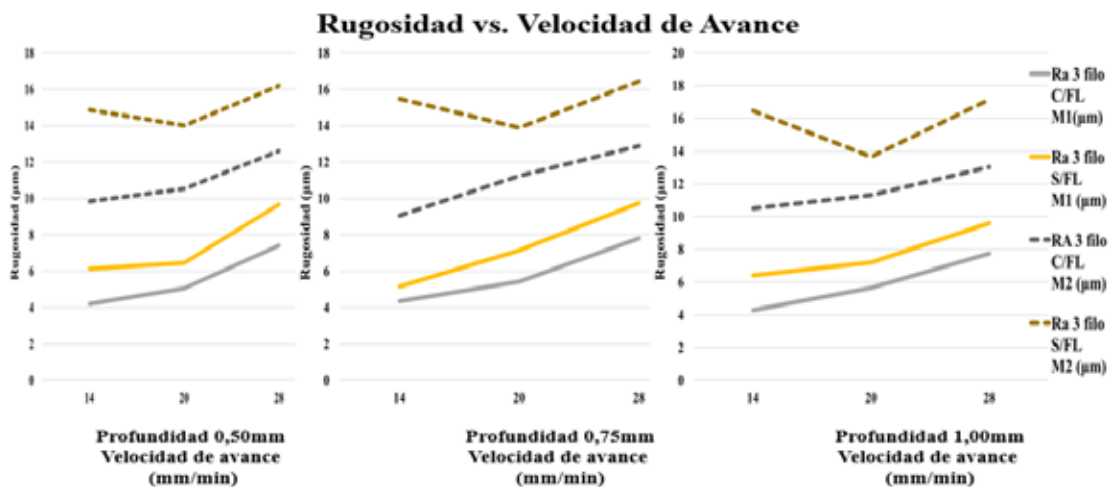


Figura 56: Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 430 y 450 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 3 filos de corte.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 56 se observan las curvas de Ra obtenidas bajo los parámetros de 450 rpm, velocidades de avance de 14 – 20 – 28 mm/min para la máquina 1 y similares a este 430 rpm con velocidades de avance de 15 – 20 y 27 mm/min para la máquina 2 respectivamente. Para la máquina 1 en las 3 profundidades (0,5; 0,75; 1,00 mm), con el uso o no de lubricante está arroja valores de rugosidad comprendido entre un mínimo de 4,00 µm y un máximo de hasta 10 µm con una tendencia ascendente conforme se

aumenta la velocidad de avance, resultando de mejor calidad cuando se emplea el uso de lubricante.

Continuando con la máquina 2 los resultados en términos de rugosidad fueron mayores, en las profundidades de corte de 0,50; 0,75 y 1,00 mm la tendencia es similar entre ellas con pendiente de ascenso rápido, con el uso de lubricante, teniendo su mínimo valor de rugosidad de 9,00 μm . En la curva sin el uso lubricante siendo esta la de peor calidad la tendencia es descendente hasta los 20 mm/min aproximadamente, posterior a esta velocidad de avance se comporta de forma ascendente. se mantiene lo explicado en la figura 53 referente a rugosidad natural para la comprensión en las diferencias de resultados de ambas máquinas.

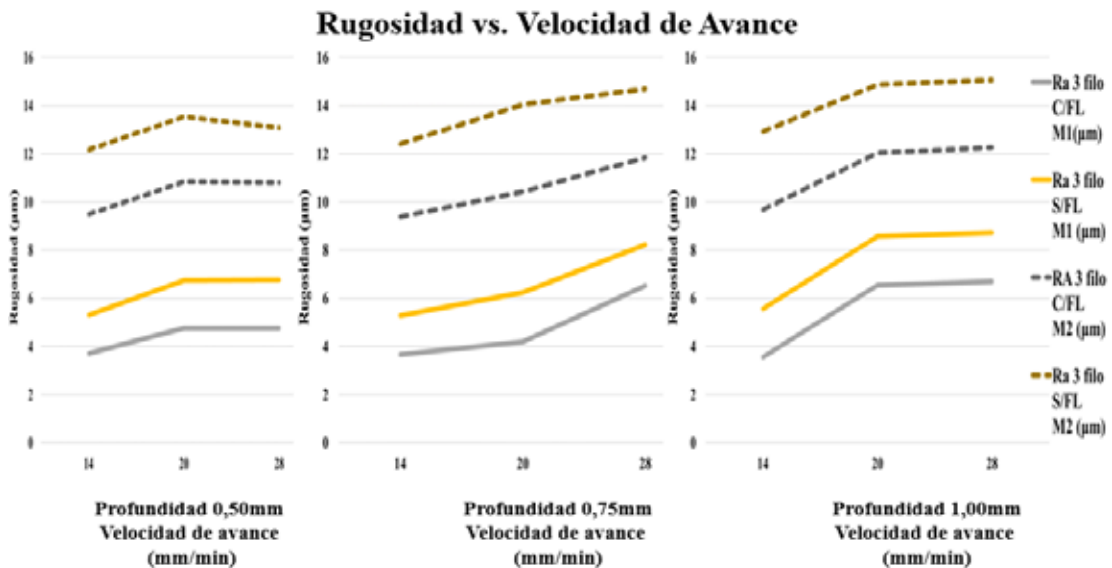


Figura 57: Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 550 y 560 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 3 fillos de corte.
Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 57 se observan las curvas de Ra obtenidas bajo los parámetros de 560 rpm, velocidades de avance de 14 – 20 – 28 mm/min para la máquina 1 y similares a este 550 rpm con velocidades de avance de 15 – 20 y 27 mm/min para la máquina 2 respectivamente. Para la máquina 1 en la profundidad de 0,75 mm, con el uso o no de

lubricante está arroja valores de rugosidad comprendido entre un mínimo de $4,00 \mu\text{m}$ y un máximo de hasta $8,10 \mu\text{m}$ aproximadamente con una tendencia lineal ascendente conforme se aumenta la velocidad de avance, resultando de mejor calidad cuando se emplea el uso de lubricante. Por otra parte, en las profundidades $0,50$ y $1,00$ mm tiene un comportamiento diferente siendo ascendente y posterior a los 20 mm/min se observa una tendencia contante con el uso o no de lubricante con notoria mejoría con el uso del mismo.

Continuando con la máquina 2 los resultados en términos de rugosidad fueron mayores, en las tres profundidades de corte, la tendencia es similar entre ellas con pendiente de ascenso rápido, con el uso de lubricante, teniendo su mínimo valor de rugosidad de $9,00 \mu\text{m}$ aproximadamente y tendencia ligeramente ascendente conforme se aumenta la profundidad. se mantiene lo explicado en la figura 53 referente a rugosidad natural para la comprensión en las diferencias de resultados de ambas máquinas.

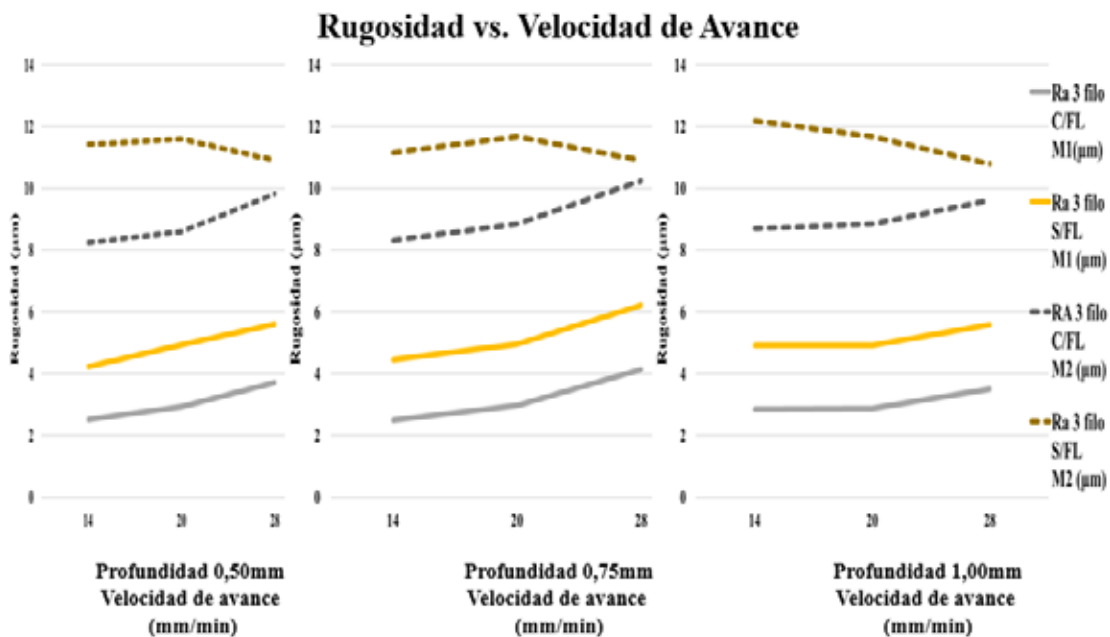


Figura 58: Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 820 y 900 RPM para la maquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 3 fillos de corte.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 58 se observan las curvas de Ra obtenidas bajo los parámetros de 900 rpm, velocidades de avance de 14 – 20 – 28 mm/min para la máquina 1 y similares a este 820 rpm con velocidades de avance de 15 – 20 y 27 mm/min para la máquina 2 respectivamente. Para la máquina 1 en las profundidades de 0,50; 0,75 y 1,00 mm, con el uso o no de lubricante está arroja valores de rugosidad comprendido entre un mínimo de 2,25 μm y un máximo de hasta 6,15 μm aproximadamente con una tendencia lineal ascendente conforme se aumenta la velocidad de avance, resultando de mejor calidad cuando se emplea el uso de lubricante.

Continuando con la máquina 2 los resultados en términos de rugosidad fueron mayores, en las tres profundidades de corte, con el uso de lubricante, teniendo su mínimo valor de rugosidad de 8,00 μm aproximadamente y tendencia ligeramente ascendente conforme se aumenta la profundidad. Por otro lado, sin el uso de lubricante se tiene el peor resultado. se mantiene lo explicado en la figura 53 referente a rugosidad natural para la comprensión en las diferencias de resultados de ambas máquinas.

4.4.2.3. Análisis comparativo para las dos maquinarias usando una fresa de 4 filos.

Las figuras 59, 61 y 62 reflejan las curvas de rugosidad vs. velocidad de avance. Cabe destacar que en dichas figuras se observan las curvas de rugosidad superficial con y sin lubricación obtenidas en el mecanizado con una fresa de cuatro filos en función de los parámetros previamente descritos con el fin de comparar el comportamiento de ambas maquinarias y la eficacia de cada una de ellas.

En la figura 59 se observan las curvas de Ra obtenidas bajo los parámetros de 450 rpm, velocidades de avance de 14 – 20 – 28 mm/min para la máquina 1 y similares a este 430 rpm con velocidades de avance de 15 – 20 y 27 mm/min para la máquina 2 respectivamente.

Para la máquina 1 en las profundidades de 0,50; 0,75 mm, con el uso o no de lubricante está arroja valores de rugosidad comprendido entre un mínimo de 0,50 μm y un máximo de hasta 2,05 μm aproximadamente con una tendencia lineal ascendente conforme se aumenta la velocidad de avance, resultando de mejor calidad cuando se emplea el uso de lubricante. Caso contrario ocurre para la profundidad de 1,00 mm donde se nota un

aumento acelerado de la rugosidad después de superar los 20 mm/min donde incluso la curva sin el uso de lubricante intercepta la curva con el uso de lubricante de la máquina 2, pero de igual forma la máquina 1 brinda los mejores resultados.

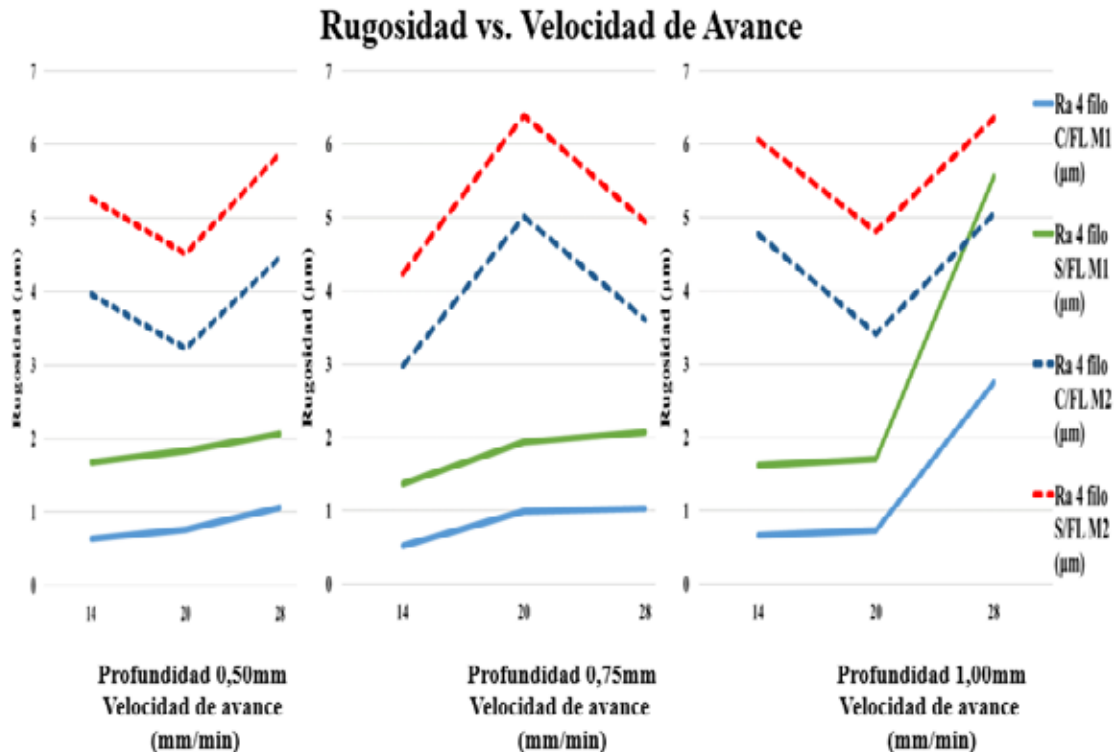


Figura 59: Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 430 y 450 RPM para la máquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 4 filos de corte.

Fuente: Martínez L (2.018).

Continuando con la máquina 2 los resultados en términos de rugosidad fueron mayores, en las tres profundidades de corte, con el uso de lubricante, teniendo su mínimo valor de rugosidad de 3,20 µm aproximadamente y tendencia descendente hasta los 20 mm/min para luego ascender conforme se aumenta la profundidad. Por otro lado, sin el uso de lubricante se tiene el peor resultado teniendo el comportamiento similar a la curva anterior. se mantiene lo explicado en la figura 53 referente a

rugosidad natural para la comprensión en las diferencias de resultados de ambas máquinas.

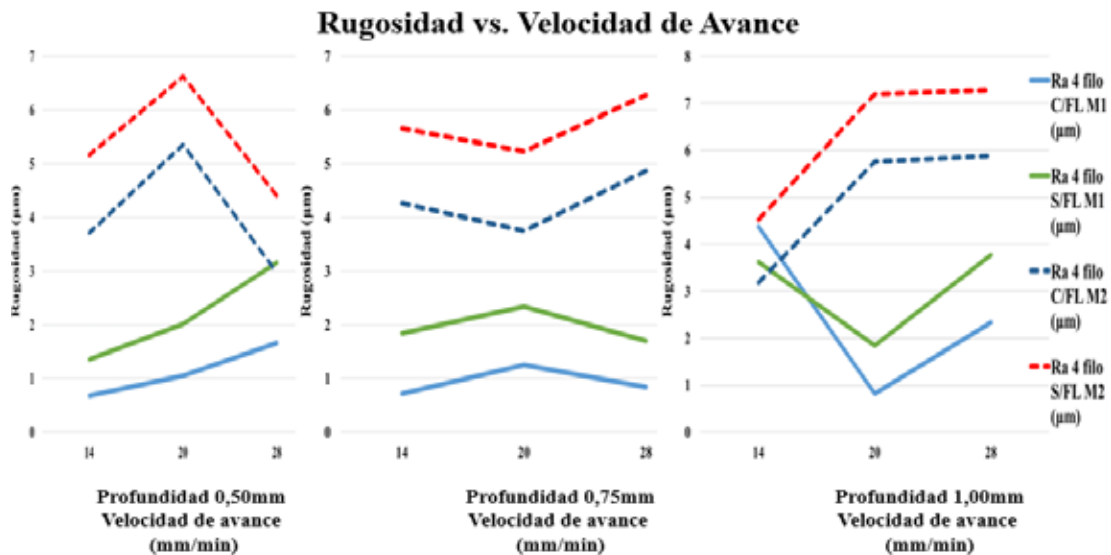


Figura 60: Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 550 y 560 RPM para la maquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 4 fillos de corte.

Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 60 se observan las curvas de Ra obtenidas bajo los parámetros de 560 rpm, velocidades de avance de 14 – 20 – 28 mm/min para la máquina 1 y similares a este 550 rpm con velocidades de avance de 15 – 20 y 27 mm/min para la máquina 2 respectivamente.

Para la máquina 1 en las tres profundidades de 0,50; 0,75 y 1,00 mm, de forma general con el uso o no de lubricante está arroja valores de rugosidad comprendido entre un mínimo de 0,80 µm y un máximo de hasta 4,25 µm aproximadamente con una tendencia lineal ascendente a 0,50 mm; ligeramente constante a 0,75 y descendente – ascendente con inflexión cerca de los 20 mm/min, conforme se aumenta la velocidad de avance, resultando de mejor calidad cuando se emplea el uso de lubricante.

Finalmente, con la máquina 2 los resultados en términos de rugosidad fueron mayores, en las tres profundidades de corte, con el uso de lubricante, teniendo su mínimo valor de rugosidad de 3,00 µm aproximadamente y tendencia descendente hasta los 20 mm/min para luego ascender a la profundidad de 0, 75 mm conforme se

aumenta la profundidad. Por otro lado, para las profundidades de 0,50 y 1,00 mm con el uso o no de lubricante se tiene el peor resultado teniendo el comportamiento ascendente – descendente. se mantiene lo explicado en la figura 53 referente a rugosidad natural para la comprensión en las diferencias de resultados de ambas máquinas.

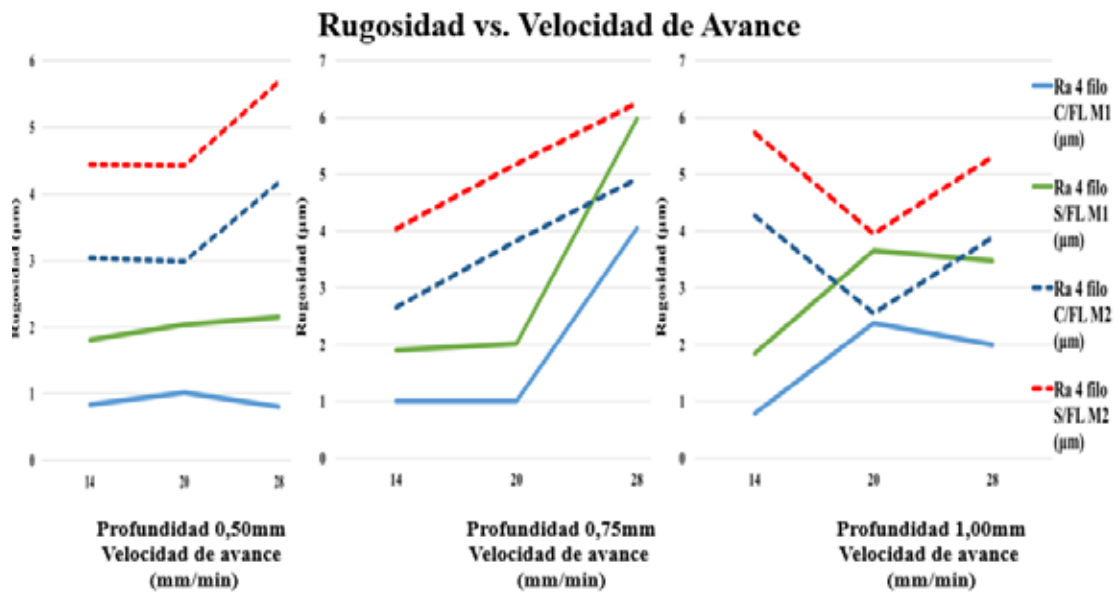


Figura 61: Rugosidad vs. Velocidad de avance a velocidades de rotación 820 y 900 RPM para la maquina 1 y 2 respectivamente usando una fresa de 4 fillos de corte.
Fuente: Martínez L (2.018).

En la figura 61 se observan las curvas de Ra obtenidas bajo los parámetros de 900 rpm, velocidades de avance de 14 – 20 – 28 mm/min para la máquina 1 y similares a este 820 rpm con velocidades de avance de 15 – 20 y 27 mm/min para la máquina 2 respectivamente. Para la máquina 1 en la profundidad de 0,50 mm, de forma general con el uso o no de lubricante está arroja valores de rugosidad comprendido entre un mínimo de 0,80 µm y un máximo de hasta 2,10 µm aproximadamente con una tendencia lineal ascendente. Para la profundidad de 0,75 se tiene mejores acabados hasta 20 mm/min posterior a esta velocidad de avance presenta un ascenso rápido superando los valores obtenidos por la maquina 2. Por otro lado, para 1,00 mm de

profundidad la curva con el uso de lubricante obtiene el mejor resultado con tendencia ascendente hasta los 20 mm/min para luego descender, mismo comportamiento tiene la curva sin el uso de lubricante, pero esta supera la curva con el lubricante de la maquina 2 a los 20 mm/min

Finalmente, con la máquina 2 los resultados en términos de rugosidad fueron mayores, en las tres profundidades de corte, con el uso de lubricante, teniendo su mínimo valor de rugosidad de 3,00 μm aproximadamente y tendencia descendente hasta los 20 mm/min para luego ascender a la profundidad de 1,00 mm conforme se aumenta la profundidad. Por otro lado, para las profundidades de 0,50 mm con el uso o no de lubricante se tiene el peor resultado teniendo el comportamiento constante – ascendente después de los 20 mm/min, y a 0,75 la tendencia es lineal ascendente al aumentar las velocidades de avance. se mantiene lo explicado en la figura 53 referente a rugosidad natural para la comprensión en las diferencias de resultados de ambas máquinas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

La realización de las pruebas piloto al inicio del estudio, con ayuda de la inspección visual, sirvieron de punto de partida para seleccionar los parámetros de corte a usar; además ayudaron a concluir acerca de algunos aspectos en general, como el hecho de que: Al aumentar la velocidad de rotación de la herramienta, mejora la calidad superficial observada; a partir de ciertos valores de velocidad de corte (entre 1000 – 1200 RPM), comienza a ocurrir una adherencia de virutas en la herramienta para el mecanizado de un acero AISI 1010, debido a que las virutas adheridas rayan directamente sobre la superficie mecanizada. Otra observación derivada de estas pruebas fue la disminución de la calidad superficial observada al aumentar la velocidad de avance usada para la herramienta.

Por otra parte, dependiendo de los parámetros de corte seleccionados, según el modelo matemático aportado por la teoría, la rugosidad superficial aumentó al aumentar la velocidad de avance de la herramienta, así como también al disminuir la velocidad de rotación y/o aumentar el diámetro de la fresa. Análogamente, la rugosidad superficial disminuyó al disminuir la velocidad de avance de la herramienta, al igual que al aumentar la velocidad de rotación y/o disminuir el diámetro de la herramienta.

Otro aspecto importante aportado por la teoría es que la rugosidad superficial obtenida tuvo mayor sensibilidad a la variación de la velocidad de avance y la velocidad de rotación ligada al diámetro de la herramienta (la cual está directamente relacionada con la velocidad de corte). Desde el punto de vista experimental, se pudo verificar en la mayoría de los ensayos, este comportamiento que se describe con el uso de la teoría, además del comportamiento de la rugosidad en función de la profundidad de corte, la cual no es tomada en cuenta por el modelo teórico, donde se observó un aumento de rugosidad con el aumento de la profundidad de corte.

Es importante mencionar que, en algunos casos, las curvas teóricas se ubicaron por encima de las curvas experimentales, específicamente cuando se usaron velocidades de corte bajas, esto debido posiblemente al modelo matemático y sus condiciones de aplicación y/o desarrollo. Análogamente, las curvas experimentales estuvieron por encima de las teóricas (comportamiento totalmente racional y esperado) cuando se utilizaron velocidades de corte altas durante el ensayo. Por esto se puede concluir, además, que el modelo matemático propuesto por Bothroyd J. y Knight W., falla o arroja resultados irracionales cuando se usa con velocidades de corte bajas para el fresado frontal.

Se destaca que los mejores acabados superficiales se obtuvieron cuando se realizó el proceso de mecanizado con la mayor velocidad de corte, al igual que al usar las menores velocidades de avance y profundidad de corte de la herramienta.

La diferencia entre los valores de rugosidades reales obtenidas durante los mecanizados y las rugosidades teóricas determinadas por el modelo matemático pueden atribuirse a diversos factores de origen externo a la máquina, o al proceso, entre los que se pueden mencionar: la apreciación del equipo utilizado para la medición de la rugosidad y los errores propios cometidos durante el proceso de medición, las vibraciones y la temperatura durante el mecanizado de las muestras, como también, el desgaste de las herramientas de corte a lo largo de la realización de los mecanizados.

Por otro lado, es evidente que al trabajar con un fluido lubricante se obtienen mejores resultados que al trabajar sin él, independientemente de los parámetros de corte y la máquina que se utilice.

En cuanto al desempeño de las máquinas, según los resultados de rugosidad superficial mínimos y máximos que fueron obtenidos para cada una y para cada condición de lubricación, se determinó que en general, en la máquina 1 la lubricación no tuvo el efecto esperado obteniéndose rangos similares de rugosidad superficial. Mientras que para la máquina 2, se observó una clara mejoría del acabado superficial al aplicar la lubricación. Luego, al comparar directamente los rangos obtenidos para ambas máquinas, se concluye que la máquina 1 obtuvo mejores resultados de acabado

superficial, presentando rangos de rugosidad superficial inferiores a los obtenidos para la máquina 2, para ambas condiciones de lubricación. De esto se puede decir que la máquina 1 se encuentra en mejores condiciones mecánicas y estructurales, ya que evidencia menos influencia de parámetros ajenos a los referentes al proceso de mecanizado, los cuales no fueron considerados por el modelo matemático que estima la rugosidad superficial a obtener durante el estudio, entre los cuales se pueden mencionar: vibraciones, desajuste, desalineación de ejes, desgaste de cojinetes, desgaste de elementos de transmisión de potencia, entre otros.

En lo que respecta al comportamiento de la rugosidad superficial obtenida, en función de las herramientas, se determinó, analizando los resultados obtenidos para cada máquina, usando cada herramienta en combinación con la condición de lubricación, a través de los valores mínimos y máximos para cada combinación; según los cuales se puede aseverar en general que, para la máquina 1, la fresa de cuatro filos a pesar de tener el mínimo valor de rugosidad superficial obtenida para la condición con lubricación, también posee el mayor valor de rugosidad superficial; en cambio, la fresa de un filo con lubricación presenta su valor mínimo un poco superior, respecto al valor mínimo de la fresa de cuatro filos con lubricación, pero su valor máximo se encuentra muy por debajo del valor máximo obtenido con la fresa de cuatro filos con lubricación, por lo que se destaca que la máquina 1 obtuvo un mejor comportamiento de la rugosidad superficial al usar la fresa de un filo con lubricación, siendo ésta la que presentó más consistencia en cuanto a los resultados obtenidos y el rango de rugosidades más bajo.

Para la máquina 2, al analizar los valores mínimos y máximos obtenidos, se concluye, en general, que el mejor comportamiento se obtiene mediante el uso de la fresa de cuatro filos, independientemente de la condición de lubricación, pues se obtuvieron rangos muy similares entre sí para esta herramienta, con valores que son notablemente menores que los obtenidos para las demás herramientas.

Cabe destacar que el número de filos de corte es un parámetro de mucha importancia a la hora de mecanizar estos aceros, ya que a mayor número de filos los resultados de

la rugosidad superficial son excelentes, debido a que durante la remoción de material la viruta se hace más pequeña y aumenta la cantidad de material arrancado por diente lo cual mejora considerablemente el acabado de la rugosidad superficial, sin embargo debido a los resultados obtenidos se puede afirmar que la fresa de 3 filos de corte al poseer un diámetro que duplica el diámetro de las otras dos herramientas obtiene mayor grado de rugosidad.

5.2. Recomendaciones.

Realizar estudios posteriores con otros materiales con el fin de tener una base de datos de referencia más amplia y detallada.

Realizar estudios con una mayor variedad de geometrías de herramientas para enriquecer esta línea de investigación.

Se recomienda utilizar una escala de velocidades de corte y velocidades de avance más amplia con el fin de obtener curvas con tendencias más precisas.

Realizar el mismo estudio, pero con fresadoras CNC con el fin de obtener resultados más exactos y eliminar errores del tipo humano que influyan directa o indirectamente en la relación de rugosidad obtenida.

Utilizar un mayor caudal de lubricante, de forma continua ya que durante este estudio se realizó de forma discontinua en la máquina 2.

Realizar el mismo estudio, pero utilizando una gama más amplia de lubricantes con el fin de analizar qué influencia tiene el tipo de lubricante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F (2012). “
 . Caracas, 6ta. Edición Editorial Episteme.
- Askeland, Donald R. and Phule, Pradeep P. (2004). “
 Editorial Thomson. 4ta Edición. D.F. México. Pág. 231-497.
- ASTM (2004) “**Steel--Plate, Sheet, Strip, Wire_ Stainless Steel Bar**”. Volume 01.03
- Bajic D., Lela B., Zivkovic D. (2.008). “**Modelación de la rugosidad superficial y optimización de los parámetros de corte en fresado frontal**”. *Metalurgija*. Vol. 47, Pág. 331-334.
- Boothroyd, Geoffrey y Knight, Winston. (2006). “**Fundamentals of Machining and Machine Tools**”, 2da edición. Florida.
- Correa M. (2.015). “**Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado: técnicas y análisis**”. [En línea]. Disponible: http://manuelcorrea15g.blogspot.com/2015_06_01_archive.html [Citada 30-01.2018].
- Groover, M. (2007). “
 ,” 3era edición, México: McGraw-Hill.
- Guanipa, V. (2.000). “**Selección de Materiales de Ingeniería**”. Trabajo de Ascenso, Universidad de Carabobo, Naguanagua, Venezuela.
- Hernández L., Pérez R., Dumitrescu L., y Montero R. (2.015). “**Estudio de la influencia de los parámetros de corte en la integridad superficial y las desviaciones durante el fresado del acero AISI 1010**”. *Tecnología en Marcha*. Vol. 28, N° 4, Pág. 26-41. Holguín, Cuba.
- Hernández, L., Quesada, A. (2002). “**Fluidos de corte, consecuencias y perspectivas**”. *Ciencias Holguín*. Vol. XX, Pág. 1-11. Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Facultad de Ingeniería. Cuba.
- Hernández, L., Quesada, A. M. (2010).
 Revista Ciencias Holguín, Vol. 8, N° 3.
- López A. Tierno. “**Constituyentes de los aceros**” [En línea]. Disponible: <http://auladetecnologias.blogspot.com> [Citada 30-08-2015].

- “Microestructura del acero 1%C, red blanca de cementita” (2.015). [En línea].
 Disponible: <http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm> [Citada 30-11-2017].
- Manzano, L. “**Composición química de la corteza terrestre, La litosfera**”. (2008). [En línea]. Disponible: <http://4actluis.blogia.com/> [04/01/2018].
- Correa M. (2.015). “**Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizado: técnicas y análisis**”. [En línea]. Disponible: http://manuelcorrea15g.blogspot.com/2015_06_01_archive.html [Citada 30-01.2018]
- Martínez F., Sánchez T., Frías G., y Pinilla A. (2.006). “**Comportamiento del acabado superficial de la pieza y el desgaste de la herramienta al fresar aluminio con altas velocidades de corte en fresadoras CNC convencionales**”. *Ingeniería Mecánica*, Vol. 9, Nº 2, Pág. 7-12. Mayo-Agosto, 2006. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Miquilena, N y Nelson, D. (2011). “**Evaluación del comportamiento a fatiga de una junta de AA-6061 soldada por fricción**”. (Pregrado). Universidad de Carabobo, Naganagua, Venezuela.
- Montes, J., Martínez, L. y del Real Romero, J. (2006) “**Procesos industriales para materiales metálicos**” (2da ed.). España: Editorial Visión Net.
- Neto, O., Fernández, A., Barreiro, J. (2.013) ”.
 Trabajo no publicado. Universidad de León, España.
- Núñez, P.J. (2001). “
 . Tesis doctoral. Universidad de Castilla-La Mancha, Castilla-La Mancha, España.
- Ortola, S. “**Series y aleantes. Manual de aluminio y sus aleaciones**”. (2009). [En línea].
 Disponible: <https://ingenieriademateriales.wordpress.com> [04/01/2018].
- Osmond R. (1902). “**Martensita**” [En línea]. Disponible:
<http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract->
- Pereira, Juan C. (2004). “**Procesos de fabricación por arranque de viruta**”, 1era edición.
 Venezuela.

Posada, J. (2009). “

(Pregrado). Universidad Nacional de

Colombia, Medellín, Colombia.

Rawangwong, S., Chatthong, J., Boonchouytan, W., Burapa, R. (2013) “**Investigación de las condiciones óptimas de corte en el Fresado de un aluminio semisólido 2024 mediante el uso de herramienta de carburo**”. *Energy Procedia*. Vol. 65, Pág. 854-862. Año 2013. Universidad de Tecnología de Rajamangala Srivijaya, Facultad de Ingeniería. Tailandia.

SAE HandBook. (1995). “**Materiales Fuel, Emisiones, and Noise (Vol. 1)**”. Publicado por SAC.

Tamayo y Tamayo M. (2004) “**Proceso de la investigación científica**”, 4ta edición. México.