



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Determinación de la relación entre rugosidad superficial y parámetros de mecanizado en conjunto con la geometría del filo de corte, en operaciones de fresado de aleaciones de aluminio

Roger Sandoval.
Narciso Reyna

Naguanagua, mayo de 2009



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Determinación de la relación entre rugosidad superficial y parámetros de mecanizado en conjunto con la geometría del filo de corte, en operaciones de fresado de aleaciones de aluminio

Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutor :
Carmelo Torres

Autores:
Roger Sandoval.
Narciso Reyna

Naguanagua, mayo de 2009



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Determinación de la relación entre rugosidad superficial y parámetros de mecanizado en conjunto con la geometría del filo de corte, en operaciones de fresado de aleaciones de aluminio

Roger Sandoval.

Narciso Reyna

Trabajo Especial de Grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de Ingeniero Mecánico

Naguanagua, mayo de 2009



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pregrado titulada **“Determinación de la relación entre rugosidad superficial y parámetros de mecanizado en conjunto con la geometría del filo de corte, en operaciones de fresado de aleaciones de aluminio”**, presentada por los bachilleres: **Reyna Narciso y Roger Sandoval**, portadores de la Cédula de Identidad N°: **11.968.612**, y **12.996.786**, respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Prof. Carmelo Torres
Presidente del jurado

Prof. Giovanni Pizzella
Miembro del jurado

Prof. Argel Porrelo
Miembro del jurado

En Naguanagua a los 30 días del mes de mayo de 2009



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Determinación de la relación entre rugosidad superficial y parámetros de mecanizado en conjunto con la geometría del filo de corte, en operaciones de fresado de aleaciones de aluminio

Tutor: Carmelo Torres

Autores: Narciso Reyna

Roger Sandoval

RESUMEN

Este trabajo representa una investigación científica sobre la determinación de la relación entre rugosidad superficial y parámetros de mecanizado en conjunto con la geometría del filo de corte, en operaciones de fresado de aleaciones de aluminio. En el mismo se obtienen los parámetros de corte y características de la herramienta para operaciones de desbaste de aleaciones de aluminio 6063, 6261 y la 6061, para diferentes velocidades. Se diseñó el experimento considerando los parámetros de corte, velocidad de avance, velocidad de corte, profundidad de corte en conjunto con los filos de corte de la herramienta. Se obtuvieron 27 ensayos por cada uno de los filos de corte de la herramienta de trabajo utilizando kerosene comercial como refrigerante, haciendo un total de 81 ensayos por cada aleación usada; después de realizar los ensayos, las probetas se llevaron a laboratorio para proceder a medir la rugosidad promedio. Los resultados obtenidos se representan en forma de tablas y gráficos, donde se concluyó los mejores parámetros de corte para estos tipos de aleaciones. Los mejores parámetros de mecanizado, donde los ensayos arrojaron excelentes valores de rugosidad fueron los siguientes: avance 35 mm/min, velocidad de corte 82,46 m/min, 6 filos de corte y profundidades de corte de 0,5 mm y 1,0 mm

Descriptorios: Rugosidad, Avance, Corte.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	Pág. iv
RESUMEN	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE GRÁFICAS	xii
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Justificación	4
1.4 Alcance	5
1.5 Limitaciones	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes	7
2.2 Fresadora	9
2.2.1.- Fresadoras según la orientación de la herramienta	10
2.2.2.- Fresadoras especiales	14
2.3.- Movimientos de la herramienta	18
2.3.1.-Movimientos de la mesa,	18
2.3.2.- Movimiento relativo entre pieza y herramienta	19
2.4.- Estructura, componentes y características	20
2.4.1.- Características técnicas de una fresadora	21
2.5.- Herramientas	23
2.6.- Afilado de fresas	24
2.7.- Parámetros de corte del fresado	24
2.7.1.- Velocidad de corte	28
2.7.2.-Velocidad de rotación de la herramienta	30
2.7.3.-Velocidad de avance	31
2.7.4.-Profundidad de corte o de pasada	33

2.7.5- Espesor y sección de viruta	34
2.8.- Rugosidad Superficial	35
2.8.1. Definición de términos básicos de rugosidad	35
2.8.2. Medidas de la rugosidad	40
2.9 Modelos empíricos para el calculo de rugosidad superficial	44
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	47
3.1.-Nivel de la Investigación	47
3.2.- Diseño de la Investigación	47
3.3.- Población y Muestra	48
3.4.- Equipos, Materiales y Herramientas	49
3.4.1.- Máquina fresadora	49
3.4.2.- Herramientas de corte	49
3.4.3.- Rugosímetro	51
3.4.4.- Materiales	51
3.4.5.- Fluido Refrigerante	52
3.5.- Parámetros de Mecanizados	50
3.5.1.-Profundidades de Corte	53
3.5.2.-Velocidad de Corte	53
3.5.3.- Velocidad de avance	53
3.5.4.-Número de filos de corte	54
3.6.- Diseño Experimental	54
3.6.1.- Procedimiento experimental	55
3.7 Aspectos Administrativos	55
3.7.1.- recursos a utilizar	55
CAPÍTULO IV RESULTADO ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	57
4.1.- Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6063 con herramienta de 2 filos de corte y fluido de corte kerosene	57
4.2.- Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6063 con herramienta de 4 filos de corte y fluido de corte kerosene	60

4.3.- Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6063 con herramienta de 6 filos de corte y fluido de corte kerosene	63
4.4.- Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6061 con herramienta de 2 filos de corte y fluido de corte kerosene	67
4.5.- Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6061 con herramienta de 4 filos de corte y fluido de corte kerosene	70
4.6.- Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6061 con herramienta de 6 filos de corte y fluido de corte kerosene	73
4.7.- Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6261 con herramienta de 2 filos de corte y fluido de corte kerosene	76
4.8.- Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6261 con herramienta de 4 filos de corte y fluido de corte kerosene	79
4.9.- Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6261 con herramienta de 6 filos de corte y fluido de corte kerosene	82
4.10.- Resultados de los valores de la rugosidad real teórica en función de los parámetros geométricos y factores del material de trabajo	87
4.11.- Análisis de los parámetros sobre la rugosidad de las aleaciones de aluminio	89
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS	97

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
2.1 Máquina fresadora	11
2.2 Máquina fresadora vertical	12
2.3 Máquina fresadora universal	13
2.4 Máquina fresadora circular	14
2.5 Máquina fresadora copiadora	15
2.6 Máquina fresadora de pórtico	16
2.7 Máquina fresadora de puente móvil	17
2.8 Máquina fresadora para madera	17
2.9 Movimientos básico de fresadora	18
2.10 Movimiento relativo entre pieza y herramientas	20
2.11 Diagrama de una fresadora vertical	21
2.12 Herramientas cilíndricas y frontales	25
2.14 Fresado en concordancia o hacia abajo	27
2.15 Fresado en oposición	27
2.16 Superficie real de una pieza	36
2.17 Superficie geométrica de una pieza	36
2.18 Superficie de Referencia de una pieza	36
2.19 Cresta local del perfil	37
2.20 Valle local del perfil	37
2.21 Cresta del perfil	37
2.22 Valle del perfil	38
2.23 Altura de una cresta del perfil	38
2.24 Profundidad de un valle del perfil	38
2.25 Altura de una irregularidad del perfil	39
2.26 Altura máxima del perfil	39
2.27 desviación media aritmética del perfil	40
2.28 Comparadores visotáctiles	40
2.29 Rugosímetro de palpador mecánico	41
2.30 Palpador inductivo	42
2.31 Palpador capacitivo	42
2.32 Palpador piezoeléctrico	43
2.33 Palpador mecánico	43
3.1 Dimensiones de las muestras a utilizar	48
3.2 Máquina fresadora vertical INDUMA	50
3.3 Fresas de vástagos de acero rápido	50
3.4 Rugosímetro Marca: MITUTOYO Modelo: Tipo SJ-201P	51

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
3.1 Niveles de velocidad de fresadora universal	49
3.2 Concentración de los elementos de aleación 6063	52
3.3 Concentración de los elementos de aleación 6061	52
3.4 Concentración de los elementos de aleación 6261	52
3.5 Diseño experimental	54
3.6 Presupuesto de la investigación	56

LISTA DE GRÁFICAS

4.1.1 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte velocidad de avance 35 mm/min, 57

4.1.2 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min, 58

4.1.3 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 18.22 m/min, 59

4.1.4 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 34.55 m/min, 60

4.2.1 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte velocidad de avance 35 mm/min, 61

4.2.2 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min, 61

4.2.3 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 18.22 m/min, 62

4.2.4 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 65.97 m/min, 63

4.3.1 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min, 64

4.3.2 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 120 mm/min, 65

4.3.3 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 43.19 m/min, 65

4.3.4 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 82.45 m/min, 66

4.4.1 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min, 67

4.4.2 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min, 68

4.4.3 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 18.22 m/min, 69

4.4.4 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 65.97 m/min, 69

4.5.1 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min, 70

4.5.2 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min, 71

4.5.3 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 18.22 m/min, 72

4.5.4 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 65.97 m/min, 73

4.6.1 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min, 73

4.6.2 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min, 74

4.6.3 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 22.77 m/min, 75

4.6.4 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 82.46 m/min, 76

4.7.1 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 120 mm/min, 76

4.7.2 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min, 77

4.7.3 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 18.22 m/min, 78

4.7.4 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 65.97 m/min, 79

4.8.1 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min, 80

4.8.2 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min, 80

4.8.3 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 18.22 m/min, 81

4.8.4 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 34.55 m/min,82

4.9.1 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min,83

4.9.2 Rugosidad vs. Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 120 mm/min, 83

4.9.3 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 43.19 m/min, 84

4.9.4 Rugosidad vs. Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y con velocidad de corte 82.46 m/min, 85

4.10 Rugosidad vs. Velocidad de corte con avance 35 mm/min y velocidad de corte 65,97 m/min con herramienta de 4 filos de corte, 86

4.11 Rugosidad vs. Número de filo de corte con avance 35 mm/min y velocidad de corte 65,97 m/min, 87

4.12 Rugosidad teórica vs velocidad de corte con avance de 35mm/min,88

4.12 Rugosidad teórica vs velocidad de corte con avance de 120 mm/min,88

4.12 Rugosidad teórica vs velocidad de corte con avance de 215 mm/min,89

Introducción

El fresado consiste principalmente en el corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos, denominados dientes, labios o plaquitas de metal duro, que ejecuta movimientos de avance programados de la mesa de trabajo en casi cualquier dirección de los tres ejes posibles en los que se puede desplazar la mesa donde va fijada la pieza que se mecaniza.

La finalidad de este trabajo de investigación es determinar los parámetros de mecanizado en aleaciones de aluminio en conjunto con los filos de corte que garanticen excelentes acabados superficiales en aleaciones de aluminio comerciales.

El experimento consistió en realizar ensayos considerando los parámetros de corte, velocidad de avance, velocidad de corte, profundidad de corte en conjunto con los filos de corte de la herramienta para luego medir sus influencias sobre el acabado superficial. La monografía se presenta en cuatro capítulos en los cuales se desarrolla el contexto del trabajo. El Capítulo I, contiene un breve análisis del planteamiento del problema, describiendo y explicando la situación problemática, el objetivo general y los objetivos específicos que se deben lograr para cumplir el objetivo general, las limitaciones y el alcance de la misma. El Capítulo II esta conformado los antecedentes y un marco teórico, explicando las bases teóricas de los procesos de fresado, parámetros de corte con las ecuaciones para calcular los mismos, también se hace referencia a los equipos usados en la investigación. En el Capítulo III se describe la metodología y procedimiento

utilizados, explicando el tipo y nivel de investigación a la cual pertenece el trabajo y el diseño experimental de los ensayos.

Finalmente en el Capítulo IV se presentan los resultados y análisis de los mismos, para de esta manera obtener las conclusiones y recomendaciones al presente trabajo.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema.

En las industrias donde predominan las actividades metalmecánicas los procesos de mecanizado son poco estudiados y la selección de parámetros de corte para fresado para llevar a cabo cualquier operación es realizada en forma empírica. La relación entre la rugosidad y parámetros de mecanizado en operaciones de fresado en aleaciones de aluminio es importante conocerla, sobre todo si los elementos a mecanizar, forman parte de un ajuste.

Los acabados superficiales que se generan de operaciones de mecanizado, son importantes. en las industrias tales como la automotriz y la aeronáutica que requieren acabados superficiales y tolerancias dimensionales de gran calidad. La rugosidad de la superficie maquinada depende de muchos factores que se pueden agrupar de la siguiente manera: factores geométricos, factores de material de trabajo y factores de vibración y de la máquina herramienta.

Un problema práctico en maquinado es seleccionar las condiciones de corte apropiadas para una operación dada. Esta es una de las tareas de planeación de procesos. Para cada operación se deberán tomar decisiones, las cuales deben considerar la maquinabilidad de la parte de trabajo, la geometría de la misma y el acabado superficial.

No existe una guía de referencia que permita al operario, determinar cuales son los parámetros de mecanizado para unas óptimas condiciones, es por eso que surge la necesidad de conocer la interrelación entre los parámetros de corte y la rugosidad superficial de tal manera que la rugosidad superficial sea minimizada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar la relación entre rugosidad superficial y parámetros de mecanizado en conjunto con la geometría del filo de corte, en operaciones de fresado de aleaciones de aluminio.

1.2.2 Objetivos Específicos

- I. Seleccionar los parámetros de corte para fresado en el mecanizado de aleaciones de aluminio.
- II. Evaluar la rugosidad superficial según modelos empíricos existentes.
- III. Comparar la rugosidad superficial de las probetas mecanizadas con la rugosidad esperada según modelo empírico existente.
- IV. Verificar la relación que existe entre la rugosidad superficial y el número de filos cortantes, en el fresado de aluminio.
- V. Determinar las condiciones de corte en función de la rugosidad superficial para el proceso de fresado.

1.3 Justificación

Este trabajo permitió tener una idea de la relación que existe entre los parámetros de corte para fresado en el mecanizado de aleaciones de

aluminio y la rugosidad superficial, con el fin de determinar las condiciones de corte en función del acabado superficial.

Además, se logró obtener datos de referencia que permitieron determinar cuales son los parámetros de mecanizado de aleaciones de aluminio para una buena rugosidad superficial ya que en la actualidad, estas aleaciones de aluminio son empleadas en la fabricación de muchos componentes mecánicos tales como válvulas hidráulicas, neumáticas, pistones y otros.

1.4 Alcance

- Sólo se trabajó con tres aleaciones de aluminio que son: 6063, 6061 y la 6261 ya que son las más comerciales y aplicadas en el mecanizado de elementos mecánicos tales como, pernos, tuercas, válvulas neumáticas e hidráulicas.
- El número de filos de corte para los ensayos de fresado se consideró de dos (2), cuatro (4) y seis (6) filos, de manera que se puedan apreciar y cuantificar el efecto de cada una de ellas.
- Se trabajó con una fresadora universal de cabezal vertical, marca INDUMA modelo 78 y el equipo de Rugosímetro del laboratorio de máquinas y herramientas de la Universidad de Carabobo.
- Los parámetros de trabajo en los ensayos realizados se consideraron de acuerdo al rango y la capacidad del equipo utilizado para fresar.

- Se determinaron los valores de la rugosidad superficial según los valores del rango típico del equipo de rugosidad del laboratorio de máquinas y herramientas de la Universidad de Carabobo.

1.5 Limitaciones

- Se trabajó con aleaciones de aluminio comerciales, de la serie 6000; por su fácil adquisición, debido a que las empresas del sector manufacturero prefieren su uso debido a sus buenas propiedades mecánicas, y en especial su buena ductilidad, para otras aleaciones de aluminio se requiere de un pedido especial de considerable magnitud.
- *La duración del trabajo especial de grado estuvo sujeta a dos semestres (1 año)*

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1.- Antecedentes

Antecedente N° 1

“Influencia de la máquina herramienta y los factores geométricos sobre la rugosidad superficial obtenida en operaciones de torneado de materiales metálicos no férreos”

En el año 2006, Massoud Jani y Ruiz Rubén presentaron un trabajo especial de grado ante la ilustre 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.

Antecedente Nº 2

“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”

En el año 2006, Sebastián Pérez y otros, presento 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.

Antecedente Nº 3

“Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizados: Técnicas y análisis”

En el año 2005, Manuel Correa y otros, presentaron 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.

2.2.- Fresadora.

Una fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas, desde superficies planas a otras más complejas.

Inventadas a principios del siglo XIX, las fresadoras se han convertido en máquinas básicas en el sector del mecanizado. Gracias a la incorporación del control numérico, son las máquinas herramientas más polivalentes por la variedad de mecanizados que pueden realizar y la flexibilidad que permiten en el proceso de fabricación. La diversidad de procesos mecánicos y el aumento de la competitividad global han dado lugar a una amplia variedad de fresadoras que, aunque tienen una base común, se diferencian notablemente según el sector industrial en el que se utilicen. Asimismo, los progresos técnicos de diseño y calidad que se han realizado en las herramientas de

fresar, han hecho posible el empleo de parámetros de corte muy altos, lo que conlleva una reducción drástica de los tiempos de mecanizado.

Debido a la variedad de mecanizados que se pueden realizar en las fresadoras actuales, al amplio número de máquinas diferentes entre sí, tanto en su potencia como en sus características técnicas, a la diversidad de accesorios utilizados y a la necesidad de cumplir especificaciones de calidad rigurosas; la utilización de fresadoras requiere de personal cualificado profesionalmente ya sea programador, preparador o fresador.

El empleo de estas máquinas, con elementos móviles y cortantes, así como líquidos tóxicos para la refrigeración y lubricación del corte, requiere unas condiciones de trabajo que preserven la seguridad y salud de los trabajadores y eviten daños a las máquinas, a las instalaciones y a los productos finales o semielaborados.

Las fresadoras pueden clasificarse según varios aspectos, como la orientación del eje de giro o el número de ejes de operación. A continuación se indican las clasificaciones más usuales.

2.2.1- Fresadoras según la orientación de la herramienta

Dependiendo de la orientación del eje de giro de la herramienta de corte, se distinguen tres tipos de fresadoras: horizontales, verticales y universales.

Una fresadora horizontal utiliza fresas cilíndricas que se montan sobre un eje horizontal accionado por el cabezal de la máquina y apoyado por un

extremo sobre dicho cabezal y por el otro sobre un rodamiento situado en el puente deslizante llamado carnero. Esta máquina permite realizar principalmente trabajos de ranurado, con diferentes perfiles o formas de las ranuras. Cuando las operaciones a realizar lo permiten, principalmente al realizar varias ranuras paralelas, puede aumentarse la productividad montando en el eje portaherramientas varias fresas conjuntamente formando un tren de fresado. La profundidad máxima de una ranura está limitada por la diferencia entre el radio exterior de la fresa y el radio exterior de los casquillos de separación que la sujetan al eje porta fresas.



Figura 2.1 Máquina fresadora horizontal

En una fresadora vertical, el eje del husillo está orientado verticalmente, perpendicular a la mesa de trabajo. Las fresas de corte se montan en el husillo y giran sobre su eje. En general, puede desplazarse verticalmente, bien el husillo, o bien la mesa, lo que permite profundizar el corte. Hay dos tipos de fresadoras verticales: las fresadoras de banco fijo o de bancada y las fresadoras de torreta o de consola. En una fresadora de torreta, el husillo permanece estacionario durante las operaciones de corte y la mesa se mueve tanto horizontalmente como verticalmente. En las fresadoras de banco fijo, sin embargo, la mesa se mueve sólo perpendicularmente al husillo, mientras que el husillo en sí se mueve paralelamente a su propio eje.



Figura 2.2 Máquina fresadora vertical

Una fresadora universal tiene un husillo principal para el acoplamiento de ejes portaherramientas horizontales y un cabezal que se acopla a dicho husillo y que convierte la máquina en una fresadora vertical. Su ámbito de aplicación está limitado principalmente por el costo y por el tamaño de las piezas que se pueden trabajar. En las fresadoras universales, al igual que en las horizontales, el puente es deslizante, conocido en el argot como carnero, puede desplazarse de delante a detrás y viceversa sobre unas guías.

Se utiliza para realizar diferentes mecanizados por arranque de viruta en piezas de forma prismática. Este tipo de máquinas se caracteriza por trabajar en el espacio mediante el movimiento adecuado de la mesa donde se fijan las piezas que deben ser mecanizadas. Esta mesa puede desplazarse a lo largo de tres movimientos diferentes: Longitudinal, transversal y vertical.



Figura 2.3 Máquina fresadora universal

2.2.2- Fresadoras especiales

Además de las fresadoras tradicionales, existen otras fresadoras con características especiales que pueden clasificarse en determinados grupos. Sin embargo, las formas constructivas de estas máquinas varían sustancialmente de unas a otras dentro de cada grupo, debido a las necesidades de cada proceso de fabricación.

Las fresadoras circulares tienen una amplia mesa circular giratoria, por encima de la cual se desplaza el carro portaherramientas, que puede tener uno o varios cabezales verticales, por ejemplo, uno para operaciones de desbaste y otro para operaciones de acabado. Además pueden montarse y desmontarse piezas en una parte de la mesa mientras se mecanizan piezas en el otro lado.



Figura 2.4 Máquina fresadora circular

Las fresadoras copiadoras disponen de dos mesas: una de trabajo sobre la que se sujeta la pieza a mecanizar y otra auxiliar sobre la que se coloca un modelo. El eje vertical de la herramienta está suspendido de un mecanismo con forma de pantógrafo que está conectado también a un palpador sobre la mesa auxiliar. Al seguir con el palpador el contorno del modelo, se define el movimiento de la herramienta que mecaniza la pieza. Otras fresadoras copiadoras utilizan, en lugar de un sistema mecánico de seguimiento, sistemas hidráulicos, electro-hidráulicos o electrónicos.



Figura 2.5 Máquina Fresadora Copiadora

En las fresadoras de pórtico, también conocidas como fresadoras de puente, el cabezal portaherramientas vertical se halla sobre una estructura con dos columnas situadas en lados opuestos de la mesa. La herramienta

puede moverse verticalmente y transversalmente y la pieza puede moverse longitudinalmente. Algunas de estas fresadoras disponen también a cada lado de la mesa sendos cabezales horizontales que pueden desplazarse verticalmente en sus respectivas columnas, además de poder prolongar sus ejes de trabajo horizontalmente. Se utilizan para mecanizar piezas de grandes dimensiones.



Figura 2.6 Máquina Fresadora de Pórtico

En las fresadoras de puente móvil, en lugar de moverse la mesa, se mueve la herramienta en una estructura similar a un puente grúa. Se utilizan principalmente para mecanizar piezas de grandes dimensiones.

Una fresadora para madera es una máquina portátil que utiliza una herramienta rotativa para realizar fresados en superficies planas de madera. Son empleadas en bricolaje y ebanistería para realizar ranurados, como juntas de cola de milano o machihembrados; cajeados, como los necesarios

para alojar cerraduras o bisagras en las puertas; y perfiles, como molduras. Las herramientas de corte que utilizan son fresas para madera, con dientes mayores y más espaciados que los que tienen las fresas para metal

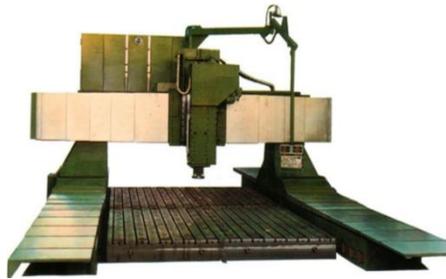


Figura 2.7 Máquina Fresadora de Puente Móvil



Figura 2.8 Máquina fresadora para madera

2.3.- Movimientos de la herramienta

El principal movimiento de la herramienta es el giro sobre su eje. En algunas fresadoras también es posible variar la inclinación de la herramienta o incluso prolongar su posición a lo largo de su eje de giro. En las fresadoras de puente móvil todos los movimientos los realiza la herramienta mientras la pieza permanece inmóvil.

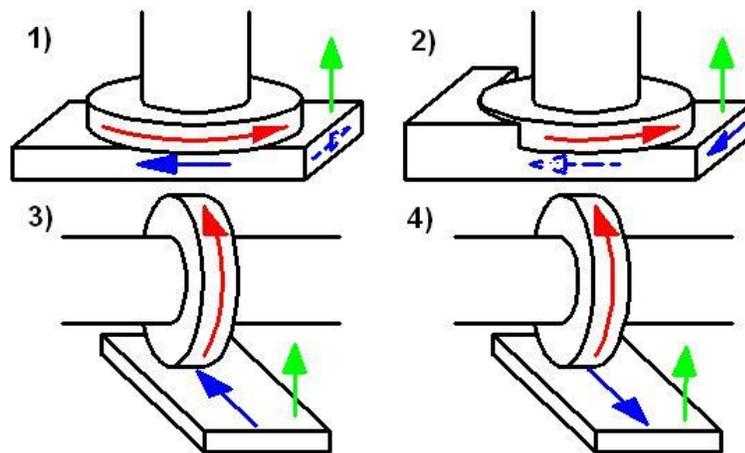


Figura 2.9 Movimientos básicos de fresado.1.- Fresado frontal2.- Fresado frontal y tangencial3.- Fresado tangencial en oposición.4.- Fresado tangencial en concordancia

2.2.1.-Movimientos de la mesa

La mesa de trabajo se puede desplazar de forma manual o automática con velocidades de avance de mecanizado o con velocidades de avance rápido en vacío. Para ello cuenta con una caja de avances expresados de mm/minuto, donde es posible seleccionar el avance de trabajo adecuado a las condiciones tecnológicas del mecanizado.

- Movimiento longitudinal: según el eje X, que corresponde habitualmente al movimiento de trabajo. Para facilitar la sujeción de las piezas la mesa está dotada de unas ranuras en forma de T para permitir la fijación de mordazas u otros elementos de sujeción de las piezas y además puede inclinarse para el tallado de ángulos. Esta mesa puede avanzar de forma automática de acuerdo con las condiciones de corte que permita el mecanizado.
- Movimiento transversal: según el eje Y, que corresponde al desplazamiento transversal de la mesa de trabajo. Se utiliza básicamente para posicionar la herramienta de fresar en la posición correcta.
- Movimiento vertical: según el eje Z, que corresponde al desplazamiento vertical de la mesa de trabajo. Con el desplazamiento de este eje se establece la profundidad de corte del fresado.
- Giro respecto a un eje longitudinal: según el grado de libertad U. Se obtiene con un cabezal divisor o con una mesa oscilante.
- Giro respecto a un eje vertical: según el grado de libertad W. En algunas fresadoras se puede girar la mesa 45° a cada lado, en otras la mesa puede dar vueltas completas.

2.3.2- Movimiento relativo entre pieza y herramienta

El movimiento relativo entre la pieza y la herramienta puede clasificarse en tres tipos básicos:

- El movimiento de corte es el que realiza la punta de la herramienta alrededor del eje del portaherramientas.

- El movimiento de avance es el movimiento de aproximación de la herramienta desde la zona cortada a la zona sin cortar.
- El movimiento de profundización, de perforación, o de profundidad de pasada es un tipo de movimiento de avance que se realiza para aumentar la profundidad del corte.

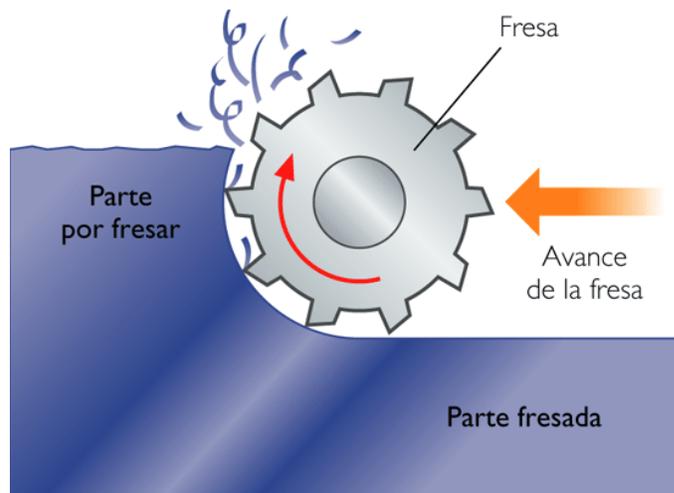


Figura 2.10 Movimiento relativo entre pieza y herramienta

2.4.- Estructura, componentes y características

Los componentes principales de una fresadora son la base, el cuerpo, la consola, el carro, la mesa, el puente y el eje de la herramienta. La base permite un apoyo correcto de la fresadora en el suelo. El cuerpo o bastidor tiene forma de columna y se apoya sobre la base o ambas forman parte de la misma pieza. Habitualmente, la base y la columna son de fundición aleada y estabilizada. La columna tiene en la parte frontal unas guías templadas y rectificadas para el movimiento de la consola y unos mandos para el accionamiento y control de la máquina.

La consola se desliza verticalmente sobre las guías del cuerpo y sirve de sujeción para la mesa. La mesa tiene una superficie ranurada sobre la que se sujeta la pieza a conformar. La mesa se apoya sobre dos carros que permiten el movimiento longitudinal y transversal de la mesa sobre la consola.

El puente es una pieza apoyada en voladizo sobre el bastidor y en él se alojan unas lunetas donde se apoya el eje portaherramientas. En la parte superior del puente suele haber montado uno o varios tornillos de cáncamo para facilitar el transporte de la máquina. El portaherramientas o portafresas es el apoyo de la herramienta y le transmite el movimiento de rotación del mecanismo de accionamiento alojado en el interior del bastidor. Este eje suele ser de acero aleado al cromo-vanadio para herramientas.

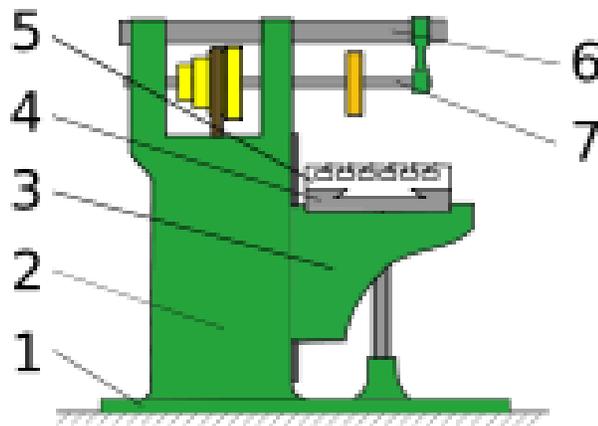


Figura 2.11 Diagrama de una fresadora horizontal. 1: base. 2: columna. 3: consola. 4: carro transversal. 5: mesa. 6: puente. 7: eje portaherramientas.

2.4.1- Características técnicas de una fresadora

Al seleccionar una fresadora para su adquisición y para realizar trabajos

con ella, deben tenerse en cuenta varias características técnicas de la misma. El tamaño de las piezas a mecanizar está limitado por las dimensiones de la superficie de la mesa y los recorridos de los elementos móviles. Dependiendo de las operaciones a realizar, puede ser necesaria la posibilidad de controlar varios ejes a la vez, como los proporcionados por mesas giratorias o por cabezales divisores, o incluso controlar estos ejes de forma automática por CNC, por ejemplo para realizar contorneados. En función del material de la pieza, de las herramientas de corte y de las tolerancias de fabricación requeridas, es necesario utilizar velocidades de corte y de avance diferentes, lo cual puede hacer necesaria la posibilidad de operar con gamas de velocidades, con velocidades máximas y potencias suficientes para lograr flexibilidad en el sistema de producción.

Los dispositivos electrónicos de control, desde la visualización de cotas hasta el control numérico, permiten aumentar la productividad y la precisión del proceso productivo.

Además, una fresadora debe tener dispositivos de seguridad, como botones de parada de emergencia (coloquialmente conocidos como setas de emergencia), dispositivo de seguridad contra sobrecargas (que consiste; bien en un embrague automático que desacopla el movimiento de la herramienta cuando se alcanza un límite de fricción o se vence la acción de unos muelles; o bien en un sistema electrónico) y pantallas de protección contra la proyección de virutas o partes de la pieza o la herramienta de corte.

Otro aspecto a tener en cuenta es el peso de la máquina, que influye en el transporte de la misma y las necesidades de cimentación de la nave para que las vibraciones estén controladas en niveles admisibles. Para un buen funcionamiento de la máquina se requiere que sus holguras e imperfecciones dimensionales estén controladas y no excedan de unas tolerancias determinadas, para lo cual se realizan inspecciones periódicas. Las guías de los componentes deslizantes, como los carros de mesa o el puente, habitualmente son trapezoidales o con forma de cola de milano por esta razón. Los husillos de accionamiento de los movimientos deslizantes son husillos de bolas sin juego para disminuir las fuerzas de rozamiento y así ralentizar el crecimiento de las holguras.

2.5.- Herramientas.

Las herramientas de corte más utilizadas en una fresadora se denominan fresas, aunque también pueden utilizarse otras herramientas para realizar operaciones diferentes al fresado, como brocas para taladrar o escariadores. Las fresas son herramientas de corte de forma, material y dimensiones muy variadas de acuerdo con el tipo de fresado que se quiera realizar. Una fresa está determinada por su diámetro, su forma, material constituyente, números de labios o dientes que tenga y el sistema de sujeción a la máquina.

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.

2.6.- 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 el afilado de brocas, escariadores y fresas frontales y cilíndricas mediante el rectificado con discos de esmeril.

2.7.- 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.)

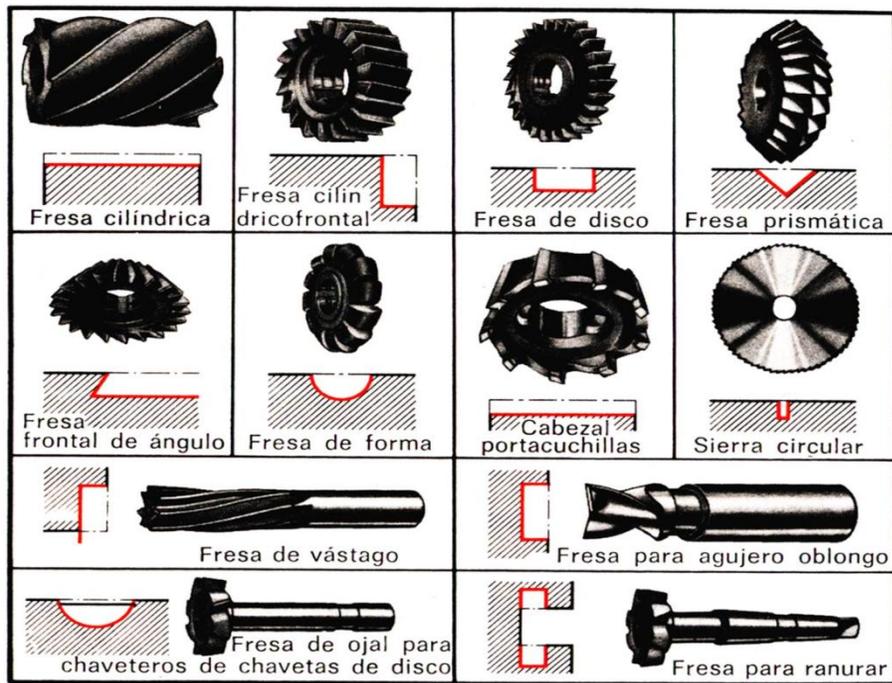


Figura 2.12 Herramientas cilíndricas y frontales



Figura 2.13 Afilado de fresas

No hay unanimidad dentro del sector del mecanizado en las denominaciones de los procedimientos de fresado. El fresado tangencial también es denominado fresado periférico, fresado cilíndrico o fresado helicoidal. Los dos tipos de fresados tangenciales también son conocidos con varias denominaciones:

- Fresado en concordancia: fresado hacia abajo, o fresado equicorriente.
- Fresado en oposición: fresado hacia arriba, o fresado normal.

En el fresado en concordancia, la herramienta gira en el mismo sentido en el que avanza la pieza. Este tipo de fresado es también conocido como fresado hacia abajo debido a que, cuando el eje de giro de la fresa es horizontal, la componente vertical de la fuerza de corte está dirigida hacia la abajo. En el fresado en oposición, también conocido como fresado hacia arriba, ocurre lo contrario, es decir, la herramienta gira en sentido contrario al avance de la pieza y la componente vertical de la fuerza de corte se dirige hacia arriba.

Para obtener una buena calidad en la superficie mecanizada, el fresado en concordancia es el método de fresado más recomendable siempre que la máquina, la herramienta y los utillajes lo permitan.

En el fresado en oposición, el espesor de la viruta y la presión de corte aumentan según avanza la herramienta, por lo que se requiere menos potencia para la máquina. Sin embargo, este método presenta varios inconvenientes. Produce vibraciones en la máquina y una peor calidad

superficial del mecanizado. Hay que tener cuidado con la sujeción de la pieza porque el empuje de la herramienta tenderá a expulsarla del amarre.

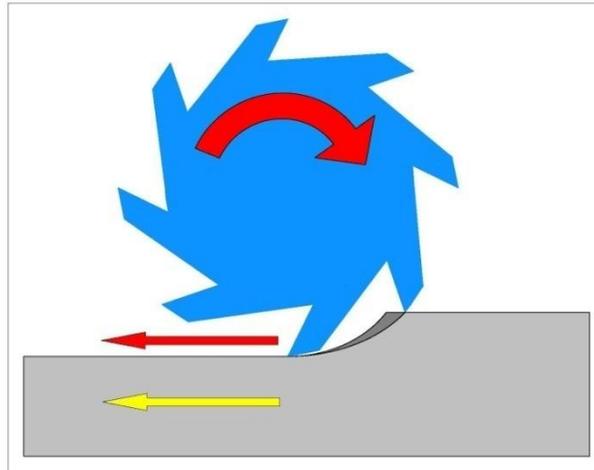


Figura 2.14 Fresado descendente

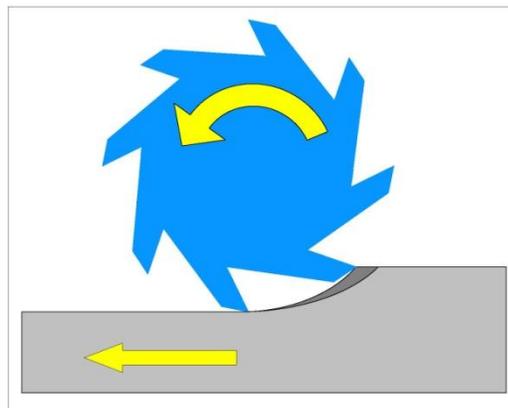


Figura 2.15 Fresado ascendente o convencional

En el fresado en concordancia, los dientes de la fresa inician el corte de la pieza con el máximo espesor de viruta, por lo que se necesita mayor esfuerzo de corte que en el fresado en oposición. Cuando la fresa se retira

de la pieza, el espesor de la viruta es menor y por tanto la presión de trabajo es menor, produciendo así un mejor acabado de la superficie mecanizada. Este método de fresado requiere máquinas de mayor potencia y rigidez. Este fresado favorece la sujeción de la pieza porque tiende a apretarla hacia abajo.

Al utilizar herramientas cuyos filos de corte permiten avanzar el corte en dirección axial y en dirección radial, como en las fresas de planear o las bailarinas, en la mayoría de los casos es recomendable que, cuando la fresa está cortando, se realicen prioritariamente los movimientos de avance en la dirección radial. Esto es debido a que la geometría de los filos de corte, en la mayoría de los casos, está diseñada para que se desgasten más lentamente al avanzar el corte en dirección radial. Teniendo esto en cuenta, los movimientos de profundización con estas herramientas se realizan preferentemente en vacío, se limitan a una perforación inicial o dicha perforación se realiza con otras herramientas, por ejemplo brocas o coronas trepanadoras. No obstante, cuando se utilizan plaquitas redondas en fresas de perfilar es indiferente la dirección de avance.

2.7.1.- Velocidad de corte.

Se define como velocidad de corte la velocidad lineal de la periferia de la fresa u otra herramienta que se utilice en el fresado. La velocidad de corte, que se expresa en metros por minuto (m/min.), tiene que ser elegida antes de iniciar el mecanizado y su valor adecuado depende de muchos factores, especialmente de la calidad y tipo de fresa que se utilice, de la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se mecanice y de la velocidad de

avance empleada. Las limitaciones principales de la máquina son su gama de velocidades, la potencia de los motores y de la rigidez de la fijación de la pieza y de la herramienta.

Como cada filo de corte de la fresa trabaja intermitentemente sobre la pieza, cortando únicamente durante una fracción de cada revolución de la herramienta, los filos de corte alcanzan temperaturas inferiores a las que se alcanzan en un torno y, en consecuencia, se utilizan velocidades de corte mayores. No obstante, el trabajo de la fresa en conjunto puede no considerarse intermitente, pues siempre hay un filo de corte en fase de trabajo.

A partir de la determinación de la velocidad de corte se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el husillo portaherramientas según la siguiente fórmula:

$$V_e \left[\frac{m}{min} \right] = \frac{n [min^{-1}] \times \pi \times D_c [mm]}{1000 \left[\frac{mm}{m} \right]} \quad (Ec.2.1)$$

Donde V_c es la velocidad de corte, n es la velocidad de rotación de la herramienta y D_c es el diámetro de la herramienta.

La velocidad de corte es el factor principal que determina la duración de la herramienta. Una alta velocidad de corte permite realizar el mecanizado en menos tiempo pero acelera el desgaste de la herramienta. Los fabricantes de herramientas y prontuarios de mecanizado, ofrecen datos orientativos sobre la velocidad de corte adecuada de las herramientas para una vida útil o

duración determinada de la herramienta, por ejemplo, 15 minutos. En ocasiones, es deseable ajustar la velocidad de corte para una duración diferente de la herramienta, para lo cual, los valores de la velocidad de corte se multiplican por un factor de corrección. La relación entre este factor de corrección y la duración de la herramienta en operación de corte no es lineal.

Una velocidad de corte excesiva puede dar lugar a un desgaste muy rápido del filo de corte de la herramienta, a la deformación plástica del filo de corte con pérdida de tolerancia del mecanizado y, en general, a una calidad del mecanizado deficiente. Por otra parte, una velocidad de corte demasiado baja puede dar lugar a la formación de filo de aportación en la herramienta, a dificultades en la evacuación de viruta y al aumento del tiempo de mecanizado, lo cual se traduce en una baja productividad y un coste elevado del mecanizado.

2.7.2.-Velocidad de rotación de la herramienta.

La velocidad de rotación del husillo portaherramientas se expresa habitualmente en revoluciones por minuto (rpm). En las fresadoras convencionales hay una gama limitada de velocidades, que dependen de la velocidad de giro del motor principal y del número de velocidades de la caja de cambios de la máquina. En las fresadoras de control numérico, esta velocidad es controlada con un sistema de realimentación en el que puede seleccionarse una velocidad cualquiera dentro de un rango de velocidades, hasta una velocidad máxima.

Por otra parte, la velocidad de rotación de la herramienta es directamente proporcional a la velocidad de corte y al diámetro de la herramienta, la ecuación que la define viene dada por

$$n[\text{min}^{-1}] = \frac{V_c \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \times 1000 \left[\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right]}{\pi \times D_c [\text{mm}]} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

2.7.3.-Velocidad de avance

El avance o velocidad de avance en el fresado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte. El avance y el radio de la punta de la herramienta de corte son los dos factores más importantes de los cuales depende la rugosidad de la superficie obtenida en el fresado.

Cada fresa puede cortar adecuadamente en un rango de velocidades de avance por cada revolución de la herramienta, denominado avance por revolución (f_z). Este rango depende fundamentalmente de número de dientes de la fresa, del tamaño de cada diente y de la profundidad de corte, además del tipo de material de la pieza y de la calidad y el tipo de plaquita de corte. Este rango de velocidades se determina experimentalmente y se encuentra en los catálogos de los fabricantes de plaquitas.

Además esta velocidad está limitada por las rigideces de las sujeciones de la pieza y de la herramienta y por la potencia del motor de avance de la máquina. El grosor máximo de viruta en mm es el indicador de limitación más

importante para una herramienta de fresado. El filo de corte de las herramientas se prueba para que tenga un valor determinado entre un mínimo y un máximo de grosor de la viruta.

El avance por revolución (f_n) es el producto del avance por diente por el número de dientes (z) de la herramienta.

$$f_n \left[\frac{mm}{rev} \right] = f_z \left[\frac{mm}{diente} \right] \times Z \left[\frac{diente}{rev} \right] \quad (\text{Ec. 2.3})$$

La velocidad de avance es el producto del avance por revolución por la velocidad de rotación de la herramienta.

$$f \left[\frac{mm}{min} \right] = f_n \left[\frac{mm}{rev} \right] \times n \left[\frac{rev}{min} \right] = f_z \left[\frac{mm}{diente} \right] \times Z \left[\frac{diente}{rev} \right] \times n \left[\frac{rev}{min} \right] \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Al igual que con la velocidad de rotación de la herramienta, en las fresadoras convencionales la velocidad de avance se selecciona de una gama de velocidades disponibles en una caja de cambios, mientras que las fresadoras de control numérico pueden trabajar con cualquier velocidad de avance hasta la máxima velocidad de avance de la máquina.

La velocidad de avance es decisiva para la formación de viruta, el consumo de potencia, la rugosidad superficial obtenida, las tensiones mecánicas, la temperatura en la zona de corte y la productividad. Una elevada velocidad de avance da lugar a un buen control de viruta y una mayor duración de la herramienta por unidad de superficie mecanizada, pero también da lugar a una elevada rugosidad superficial y un mayor riesgo de

deterioro de la herramienta por roturas o por temperaturas excesivas. En cambio, una velocidad de avance baja da lugar a la formación de virutas más largas que pueden formar bucles y un incremento del tiempo de mecanizado, lo cual hace que la duración de la herramienta por unidad de superficie sea menor y que la producción sea más costosa.

2.7.4- Profundidad de corte o de pasada

La profundidad de corte o profundidad de pasada (p) es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta. Habitualmente se expresa en milímetros (mm). La anchura de corte (s), expresado en mm, es la anchura de la parte de la pieza implicada en el corte. Estos parámetros hay que tenerlos en cuenta por la influencia que tiene en el cálculo de la sección de viruta y consecuentemente en la fuerza de corte necesaria para poder realizar el mecanizado.

La profundidad de pasada se establece a priori y depende principalmente de las creces de material a mecanizar, del grado de precisión dimensional a conseguir, de la potencia de la máquina y de la relación con respecto al avance seleccionado y de parámetros propios de la plaquita de corte como su tamaño, el radio de la punta y su perfil. Al realizar mecanizados de desbaste se utilizan filos con mayor longitud de arista de corte que permiten realizar mecanizados con mayores profundidades de pasada y velocidades de avance. Sin embargo, para las operaciones de acabado, se requiere una profundidad de corte menor.

La longitud de corte efectiva (l_a), cuyo valor máximo está directamente relacionado con la longitud de la arista del filo de corte, depende de la profundidad de pasada (p) y del ángulo de posición (κ_r).

$$l_a = p \times \cos(K_T) \quad (\text{Ec. 2.5})$$

2.7.5- Espesor y sección de viruta

La relación que existe entre el avance por diente de la fresa (f_z) y la profundidad de pasada (p) constituye la sección de la viruta. La sección de viruta guarda también relación con el tipo de fresado que se realice, la sección de viruta es igual a

$$S[\text{mm}^2] = p[\text{mm}] \times f_z[\text{mm}] \quad (\text{Ec. 2.6})$$

El espesor de la viruta corresponde al avance por diente de la fresa.

El control de la sección y del espesor de la viruta son factores importantes a la hora de determinar el proceso de mecanizado. Cuanto menor sea el espesor de la viruta en el momento del arranque, la carga del filo será menor y esto permitirá aplicar mayores velocidades de avance por diente sin dañar al mismo, teniendo que reducir la profundidad de corte debido a los menores ángulos de posicionamiento de los filos. El poder controlar la sección de viruta depende principalmente de varios factores como la potencia de la máquina, la fijación o el sistema de amarre de la

pieza, la sección del mango de la herramienta así como de la sujeción de las plaquitas y la geometría de las mismas. El aumento de la sección y espesor de viruta, entre otras variables, implica un aumento de la potencia necesaria para que se realice el arranque de material.

2.8.- Rugosidad Superficial.

Dentro del mundo de la tecnología, se observan gran cantidad de piezas que han de ponerse en contacto con otras y rozarse a altas velocidades. El acabado final y la textura de una superficie es de gran importancia e influencia para definir la capacidad de desgaste, lubricación, resistencia a la fatiga y aspecto externo de una pieza o material, por lo que la rugosidad es un factor importante a tener en cuenta.

El acabado superficial de los cuerpos puede presentar errores de forma macro geométricos y micro geométricos.

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.

2.8.1 Definición de Términos Básicos de Rugosidad Superficial

Superficie geométrica: Superficie ideal cuya forma está especificada por la figura 2.17.

Superficie Real: es la superficie que limita el cuerpo.

Superficie de referencia: Superficie a partir de la cual se determinan los parámetros de rugosidad. Tiene la forma de la superficie geométrica. Se puede calcular por el método de mínimos cuadrados.

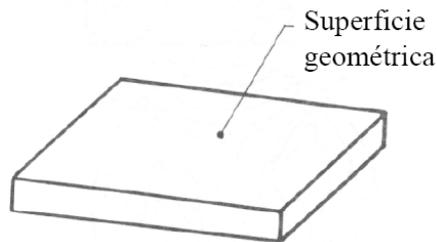
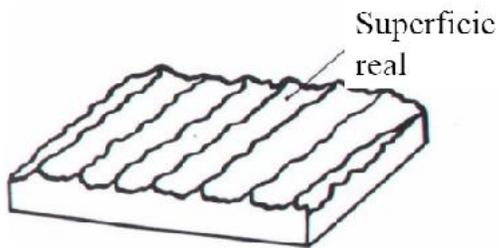


Figura 2.16: Superficie real de una pieza una pieza

Figura 2.17: Superficie geométrica de

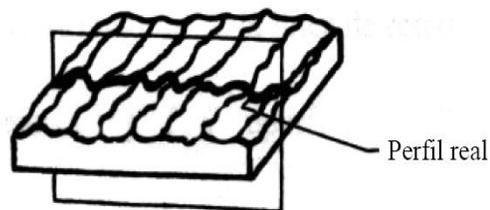


Figura 2.18 Superficie de referencia de una pieza

Perfil real: Es la intersección de la superficie real con un plano normal.

Cresta local del perfil: es la parte del perfil comprendida entre dos mínimos adyacentes del perfil.

Valle local del perfil: Parte del perfil comprendida entre dos máximos adyacentes del perfil.

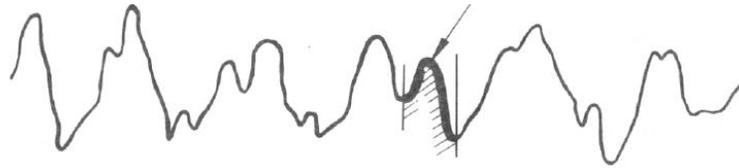


Figura 2.19 Cresta local del perfil

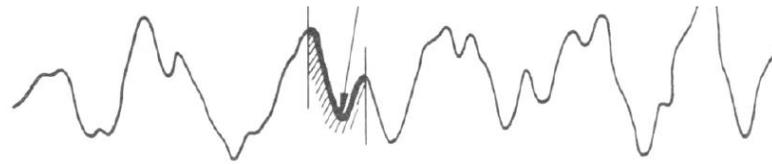


Figura 2.20 Valle local del perfil

Cresta del perfil: Parte del perfil dirigida hacia el exterior del cuerpo uniendo dos intersecciones consecutivas del perfil con la línea media

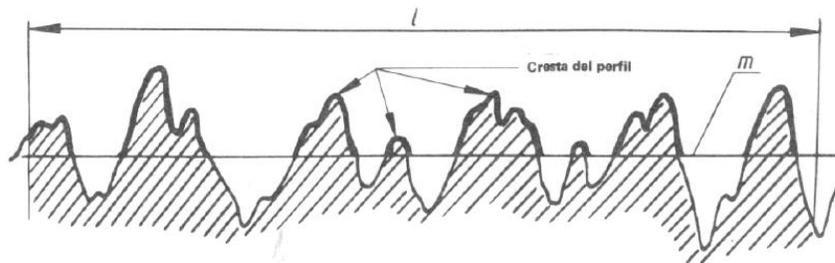


Figura 2.21 Cresta del perfil

Valle del perfil: Parte del perfil dirigida hacia el interior del cuerpo uniendo dos intersecciones consecutivas del perfil con la línea media.

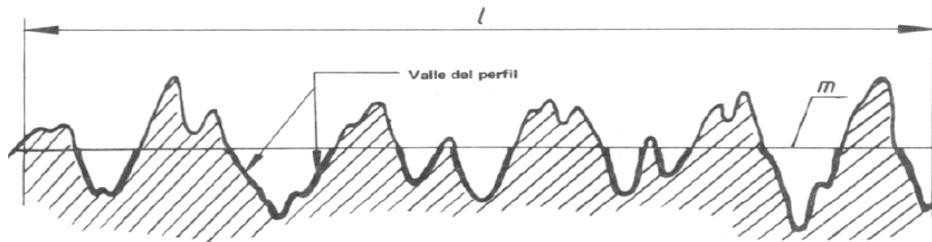


Figura 2.22 Valle del perfil

Altura de una cresta del perfil, y_p : Distancia entre la línea media y el punto más alto de una cresta.

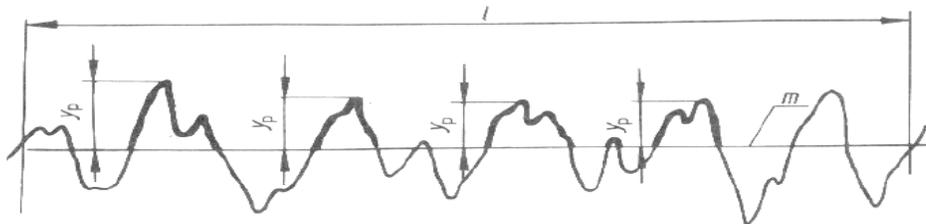


Figura 2.23 Altura de una cresta del perfil

Profundidad de un valle del perfil, y_v : Distancia entre la línea media y el punto más bajo de un valle

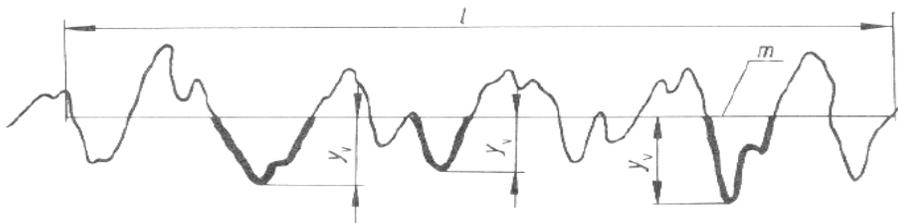


Figura 2.24 Profundidad de un valle del perfil

Altura de una irregularidad del perfil: Suma de la altura de una cresta y de la profundidad de un valle adyacente.

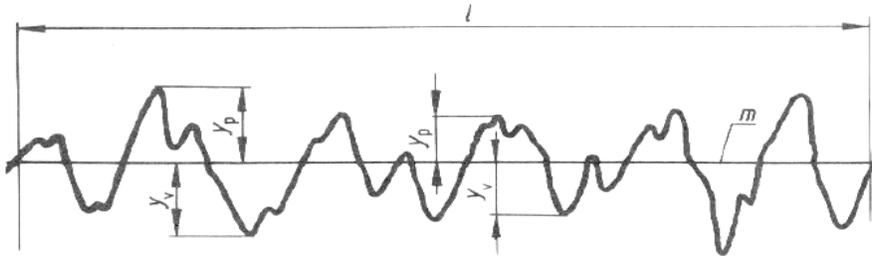


Figura 2.25 Altura de una irregularidad del perfil

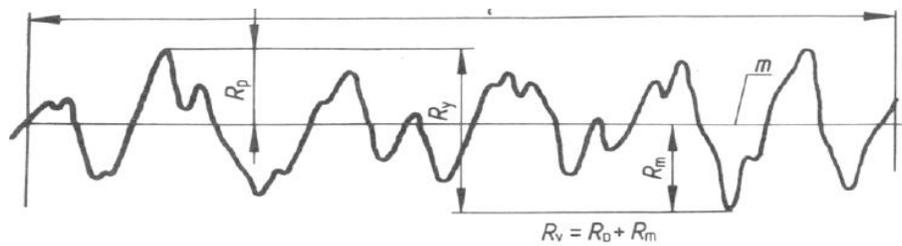


Figura 2.26: Altura máximas del perfil

Altura máxima de una cresta, R_p : Distancia del punto más alto del perfil a la línea media, dentro de l .

Profundidad máxima de un valle, R_m : Distancia del punto más bajo del perfil a la línea media, dentro de l .

Altura máxima del perfil, R_{max} : Máxima distancia entre la cresta más alta (R_p) y el valle más bajo (R_m).

Desviación media aritmética del perfil, R_a : es la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones del perfil, en los límites de la longitud básica l .

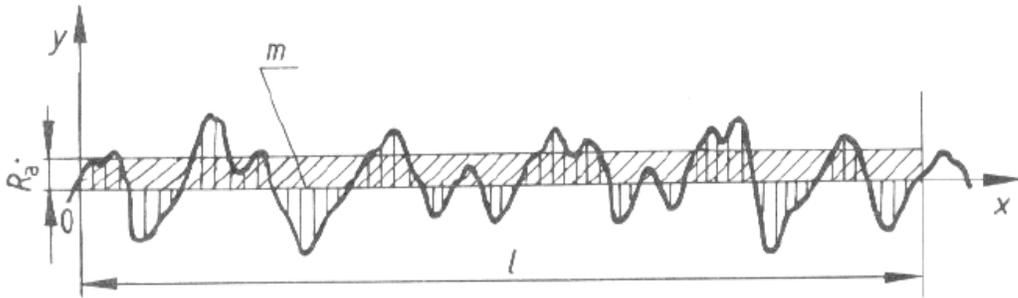


Figura 2.27 Desviación media aritmética del perfil

2.8.2 Medidas de la Rugosidad.

a. Comparadores viso táctiles: Elementos para evaluar el acabado superficial de piezas por comparación visual y táctil con superficies de diferentes acabados obtenidas por el mismo proceso de fabricación.

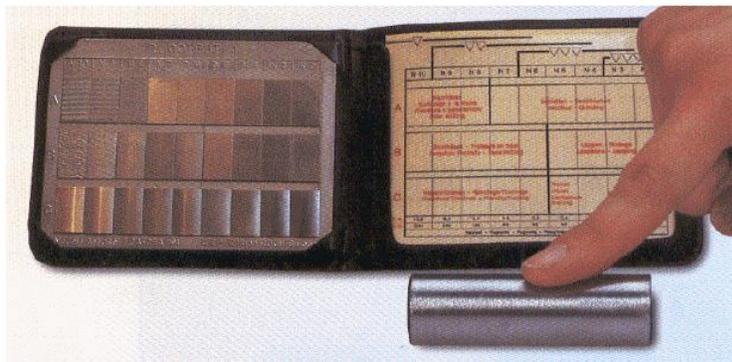


Figura 2.28 Comparadores visotáctiles

b. 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.
- Rugosímetro 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.

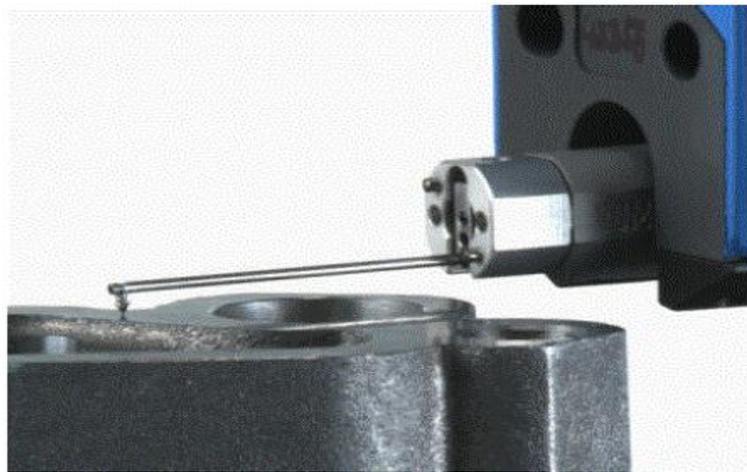


Figura 2.29 Rugosímetro de palpador mecánico

- Rugosímetro Palpador capacitivo: El desplazamiento vertical del palpador aproxima las dos láminas de un condensador, modificando su capacidad y con ella la señal eléctrica.
- Rugosímetro Palpador piezoeléctrico: El desplazamiento de la aguja del palpador deforma elásticamente un material

piezoeléctrico, que responde a dicha deformación generando una señal eléctrica.

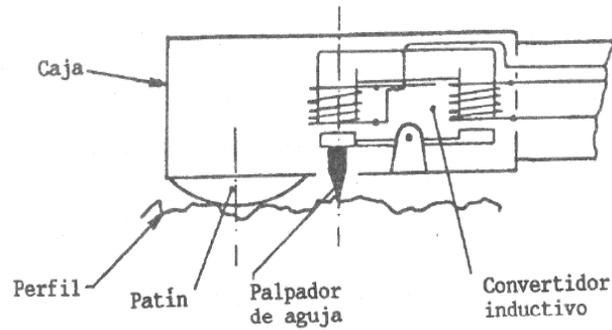


Figura 2.30 Palpador inductivo

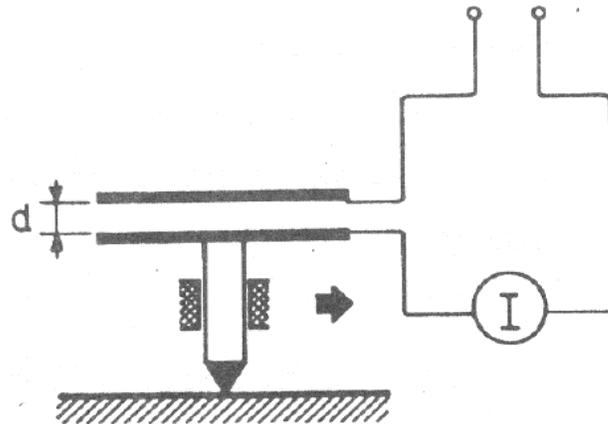


Figura 2.31 Palpador capacitivo.

- Rugosímetro Patín mecánico: El patín describirá las ondulaciones de la superficie mientras la aguja recorra los picos y valles del perfil. Así se separan mecánicamente ondulación y rugosidad que son simplemente desviaciones respecto de la superficie geométrica con distinta longitud de onda.

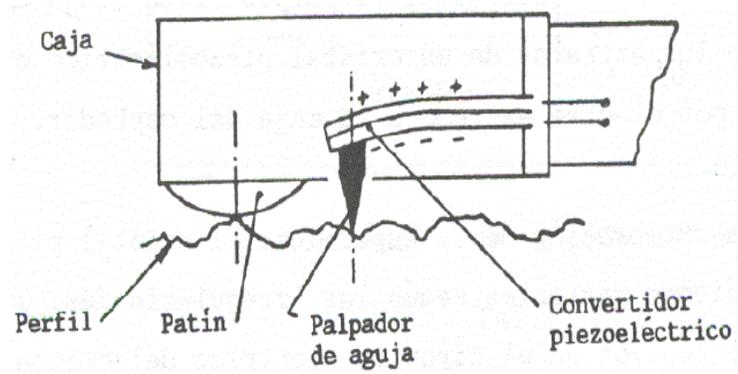


Figura 2.32 Palpador piezoeléctrico.

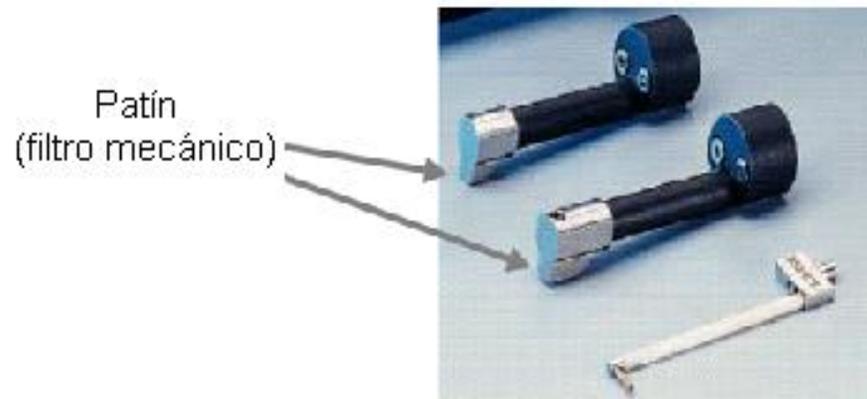


Figura 2.33 Palpador mecánico.

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

Se consideran las piezas en bruto, aquellas que se han de utilizar tal y como se obtienen después de su proceso de fabricación (fundidas, forja, laminación, etc.).

Las piezas mecanizadas por arranque de viruta se consiguen determinado grado de calidad superficial que es mejorado en un posterior acabado con métodos abrasivos de rectificado y lapeado.

La unidad de rugosidad es la micra o micrón ($1\text{micra} = 1\ \mu\text{m} = 0,000001\text{ m} = 0,001\text{mm}$) y se utiliza la micropulgada en los países anglosajones.

La tolerancia superficial se indica en los planos constructivos de las piezas mediante signos y valores numéricos, de acuerdo a las normas de calidad existentes.

Las normas de rugosidad son las siguientes: DIN 4762, DIN 4768, DIN 4771, DIN 4775, el alcance de la rugosidad de superficies se encuentra en la norma DIN 4766-1.

2.9 Modelos empíricos para el cálculo de rugosidad superficial

Para las operaciones 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.

2.9.1 Fresa de Múltiplos Dientes

$$R_a = \frac{0.15f^2}{\left(\frac{D}{2}\right) \pm \frac{f \cdot n_t}{\pi}} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

$$f = \frac{f_r}{N \cdot n_t} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

f: Carga de viruta (mm/diente) f_r : Velocidad de avance del material (mm/min)

D: Diámetro de la fresa (mm) n_t : Número de dientes de la fresa (dientes)

+: Fresado ascendente - : Fresado descendente

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

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 velocidad de corte. Es factor se obtiene de la grafica mostrada en la **figura 2.35**

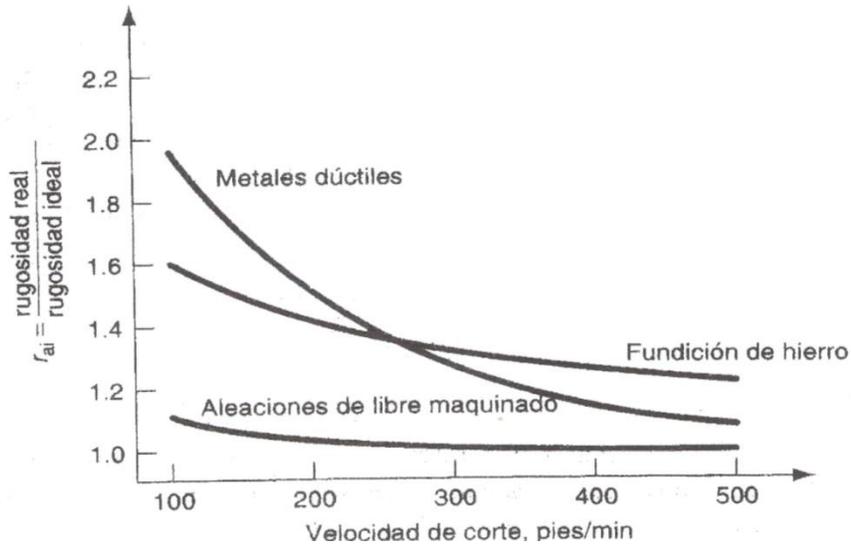


Figura 2.34 Relación entre rugosidad real y la rugosidad natural (ra_i)
Fuente: Ensayos de General Electric Co.

Por lo tanto es posible determinar la rugosidad real como:

$$R_a = R_{a_i} + R_{a_n} = r_{a_i} \cdot R_{a_i} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde: R_{a_i} : es la rugosidad ideal

R_{a_n} : es la rugosidad natural

r_{a_i} : relación entre la rugosidad real y la rugosidad ideal

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1.-Nivel de la Investigación.

La investigación fue de carácter descriptivo, ya que se caracterizó la rugosidad superficial obtenida en operaciones de maquinado de aleaciones de aluminio con el fin de determinar la relación entre rugosidad superficial y parámetros de mecanizado en conjunto con la geometría del filo de corte, en operaciones de fresado de aleaciones de aluminio.

También puede decirse que fue de nivel experimental y de laboratorio debido a que se realizan una serie de ensayos y experimentos con el objeto de conocer el defecto que tienen las variables de corte sobre la rugosidad, así como las consecuencias del número de filos de la herramienta de corte sobre la misma variable resultante (acabado superficial), cuando se mecanizan aluminio en operaciones de fresado.

3.2.- Diseño de la Investigación.

La estrategia que se adoptó es la investigación experimental de laboratorio porque se realizarán una serie de ensayos de mecanizado a probetas en laboratorio de procesos de fabricación con el objeto de conocer el efecto que tienen las variables de corte: velocidad de corte, velocidad de avance, profundidad de corte, número de filos cortantes de la herramienta,

sobre la rugosidad superficial cuando se mecanizan aleaciones de aluminio comercial.

3.3.- Población y Muestra.

La población a utilizar es el conjunto de mediciones directas e indirectas realizadas a las probetas de aleaciones de aluminio, utilizando distintos instrumentos de precisión, que fueron mecanizadas en la fresadora universal con condiciones de corte determinadas.

La población de este trabajo estuvo conformada por tres aleaciones de aluminio, a saber: 6063, 6062 y la 6261.

Todas las muestras tenían una longitud total de 150 mm, poseen 25mm en uno de sus extremos para la sujeción con el plato divisor ya que las misma fueron maquinadas por tres caras las cuales están a 120° , su diámetro es de una pulgada y media (1 1/2 in). Se utilizarán ochenta y una (81) muestras por material a ensayar, es decir, un total de 243 muestras.

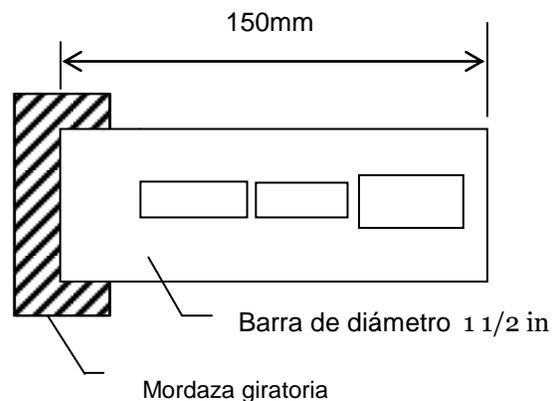


Figura 3.1 Dimensiones de las muestras utilizadas (todas las dimensiones están en milímetros)

3.4.- Equipos, Materiales y Herramientas

3.4.1.- Máquina fresadora

Para la realización de las operaciones de desbaste con fresa de mango cilíndrico vertical o de vástago se utilizó una fresadora vertical universal, marca INDUMA modelo 78, que tiene 12 niveles de velocidad en RPM, de la siguiente manera:

Tabla 3.1 Niveles de velocidad de fresadora universal en (Rev/min)

40	76	145
60	114	215
290	550	1050
430	820	1600

Un avance desde 15 hasta 400 mm/min. Con 10 niveles intermedios, y una profundidad de corte en mm, en la Figura. 3.2 se observa la fresadora utilizada.

3.4.2.- Herramientas de corte

Para la elaboración de los ensayos se utilizaron tres tipos de herramientas para fresar con las siguientes características:

Fresas de Vástago de acero Rápido (HSS)

Z= 2 Dientes; D = 20mm; L= 100mm

Z= 4 Dientes; D = 20mm; L= 105mm

Z= 6 Dientes; D = 25mm; L= 120mm



Figura 3.2 Máquina fresadora universal con cabezal vertical marca INDUMA



Figura 3.3 Fresas de vástagos de acero rápido

3.4.3.- Rugosímetro.

Los valores de la rugosidad se midieron con un Rugosímetro portátil, Marca: MITUTOYO Modelo: Tipo SJ-201P, utilizando un recorrido de rango intermedio de 2,5 mm de recorrido y parámetro de medición **Ra**.



Figura 3.4 Rugosímetro Marca: MITUTOYO Modelo: Tipo SJ-201P

3.4.4.- Materiales

Los materiales utilizados fueron las siguientes aleaciones de aluminio comerciales con un alto grado de pureza, 6063, 6261 y la 6061, las cuales poseen un buenas condiciones de maquinado por poseer un alto porcentaje de silicio. Para cada material se fabricaron un mismo tipo de probeta diseñado con dimensiones adecuadas para que las mismas sean de fácil sujeción en el plato divisor de la fresadora, una adecuada profundidad de corte y un buen rango para lectura del Rugosímetro.

Composición química de las aleaciones de aluminio

Tabla 3.2 concentración de los elementos existentes en la aleación 6063

COMPOSICIÓN QUÍMICA 6063									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
0,60 0.20	0.35	0,10	0,10	0.90	0.10	0.10	0.10	0,15	Resto

Fuente: Norma Covenin1281-80

Tabla 3.3 concentración de los elementos existentes en la aleación 6061

COMPOSICIÓN QUÍMICA 6061									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
0.80 0.40	0,70	0,40 0,15	0,15	1,20 0,80	0,35 0,04	0,25	0,15	0,15	Resto

Fuente: Norma Covenin1281-80

Tabla 3.4 concentración de los elementos existentes en la aleación 6261

COMPOSICIÓN QUÍMICA 6261									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
1.004	0.3591	1.3554	0.738	0.8107	0.06	0.0086	0.036	0.16	Resto

Fuente: Norma Covenin1281-80

3.4.4 Fluido Refrigerante

Los ensayos fueron realizados con un solo fluido de corte, kerosene comercial.

3.5.- Parámetros de Mecanizados

Para estos ensayos se eligieron los siguientes parámetros de mecanizado, tomando en cuenta el material de trabajo y el material de la herramienta de

corte, originando un total de 243 ensayos por cada tipo de aleación y herramienta. Los parámetros utilizados en esta investigación se mencionan a continuación.

3.5.1.-Profundidades de Corte

Considerando las propiedades del material de trabajo y las características de las herramientas de corte, los valores de profundidad de corte según estudios realizado por: Massoud Jani y Ruiz Rubén (trabajo especial e grado presentado en la universidad de Carabobo), año 2006, varían de 0.3 y 2.5mm por lo tanto se seleccionaron tres valores de profundidad; 0.5, 1.0, y 1.5 mm

3.5.2.-Velocidad de Corte

Los niveles de velocidad de giro de la herramienta fueron 290, 550 y 1050 rpm, debido a que los ensayos pilotos realizados en el laboratorio de procesos de la universidad de Carabobo, hicieron ver que a estas velocidades se obtienen acabados superficiales con rangos aceptables.

Para hallar el valor aproximado de la velocidad de corte se aplica la ecuación 2.1

$$V_e \left[\frac{m}{min} \right] = \frac{n [min^{-1}] \times \pi \times D_c [mm]}{1000 \left[\frac{mm}{m} \right]} \quad (Ec.2.1)$$

Utilizando la ecuación 2.1 con D= 25 mm para 6 filos de corte.

Resulta V1= 22.77 m/min; V2 = 43.19 m/min y V3= 82.46 m/min

Utilizando la ecuación 2.1 para 2 y 4 filos.

Finalmente resulta V1= 18.22 m/min; V2 = 34.55 m/min y V3= 65.97m/min

3.6.1.- Procedimiento experimental

1. Se realizaron los ensayos considerando los parámetros de corte, velocidad de avance, velocidad y profundidad de corte en conjunto con los filos de corte de la herramienta.
2. Se obtuvieron 27 ensayos por cara uno de los filos de corte de la herramienta de trabajo utilizando kerosén comercial como refrigerante, haciendo un total de 81 ensayos por cada aleación usada.
3. Cada muestra se identificó con una etiqueta donde aparece el número de ensayo aleatorio, material y parámetros de trabajo utilizado.
4. Después de realizar los ensayos, las probetas se llevaron a laboratorio para proceder a medir la rugosidad promedio.
5. Se realizaron las medidas con especial cuidado en regiones donde existen ralladuras o porosidades del material ya que pueden producir lecturas erróneas en el Rugosímetro.
6. Por cada condición de corte se tomaron 3 medidas de Ra para obtener un promedio por condición de trabajo.

3.7 Aspectos Administrativos.

3.7.1.- recursos a utilizados

Materiales y equipos.

- Aleaciones de aluminio 6063, 6061 y la 6261

- Equipos: Fresadora universal vertical, Rugosímetro.
- Papel, computadora, calculadora e impresora.

Humanos

- Tutor: Carmelo Torres
- Técnicos de laboratorios

Financieros

- Recursos propios por parte de los investigadores
- Presupuesto según se muestra a continuación

Tabla 3.6 Presupuesto de la investigación

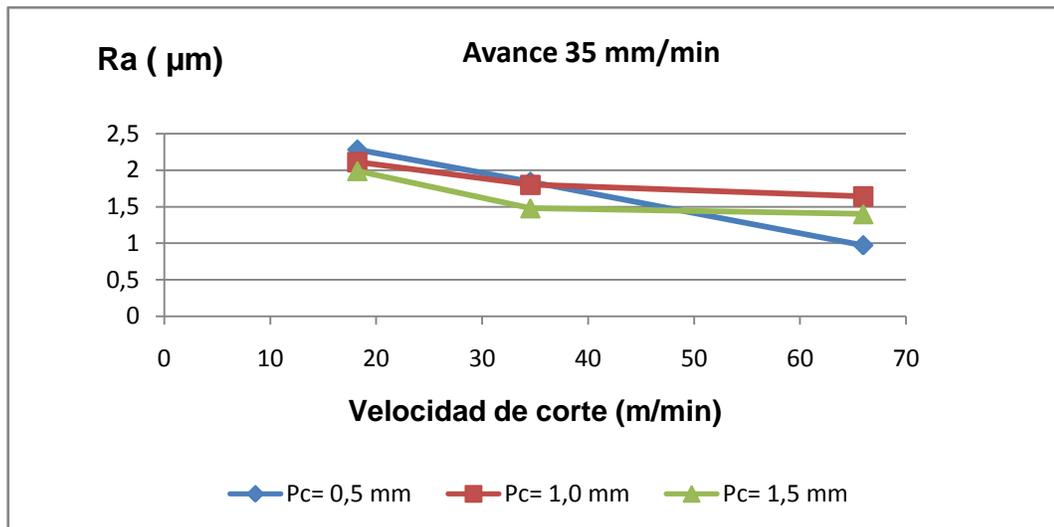
Descripción	CANT	UNIDA D	Bs.F
Barra de aleación de aluminio 6061 1mx 1 1/2 ”	2	220	440
Barra de aleación de aluminio 6062 1mx 1 1/2”	2	220	440
Barra de aleación de aluminio 6063 1mx 1 1/2 ”	2	220	440
Herramientas de corte 2, 4 y 6 filos de corte	3	350	1050
Papel, impresiones y otros artículos de oficina	-	-	200
TOTAL			2570

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

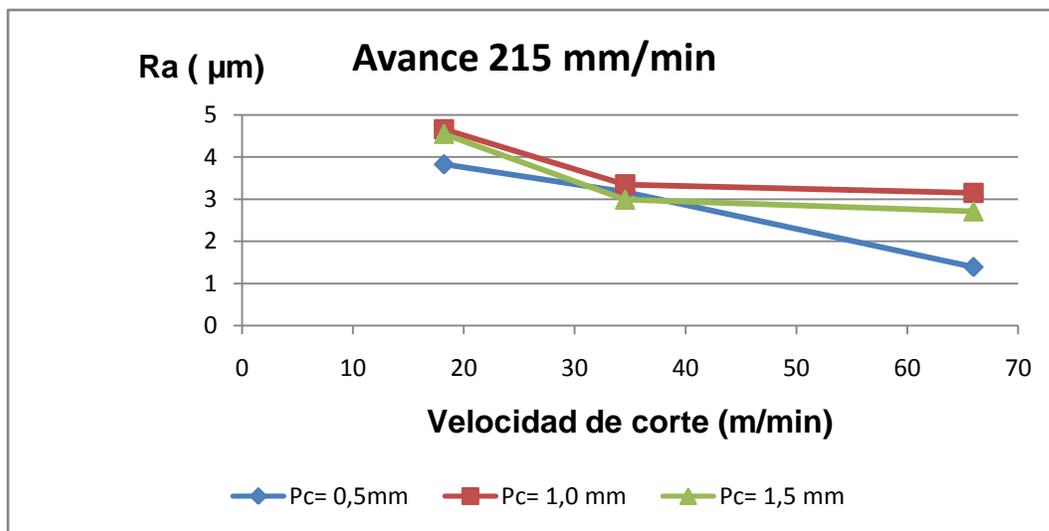
En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de los ensayos, éstos se presentan gráficamente para mostrar el efecto de las variables independientes (velocidad de avance, velocidad de corte, profundidad de corte, número de filos cortantes de la herramienta) sobre el acabado superficial. En el análisis se seleccionaron 4 muestras de cada grafica por cada filo cortante, las cuales contienen puntos de interés para el análisis y discusión. Los datos obtenidos de rugosidad y los niveles de las variables independientes utilizadas se muestran en el Anexo A.

4.1 Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6063 con herramienta de 2 filos de corte y fluido de corte kerosene



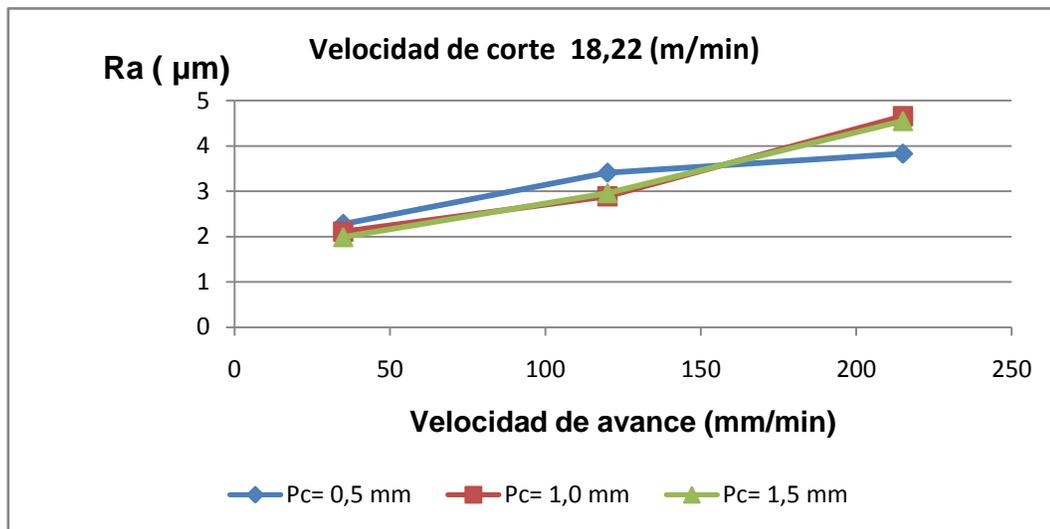
Gráfica 4.1.1 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min

En esta gráfica se observa que para niveles de velocidad de corte bajas (18,22 m/min) y niveles de avance bajos 35 (mm/min), el resultado de la rugosidad obtenida es alrededor de 2 μm , Pero cuando comienza a aumentar los niveles de velocidad de corte, los valores de rugosidad disminuyen de manera independiente para cada uno de los niveles de profundidad de corte, por ejemplo: para una velocidad de 34,55 m/min el valor de la rugosidad para las profundidades de corte 0,5 y 1,0 son aproximadamente iguales y para 1,5 mm es 1,48 μm , este efecto es más notable en la profundidad de corte de 0,5 mm donde se obtienen valores de 0,97 μm para velocidades de corte de 65,97 m/min.



Gráfica 4.1.2 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min

En esta gráfica se observa a medida que se aumenta la velocidad de corte la rugosidad disminuye considerablemente, con un avance grande y constante de 215 mm/min, se puede apreciar que para una menor profundidad de corte el comportamiento es casi lineal y desciende bruscamente en comparación con las otras profundidades de corte.

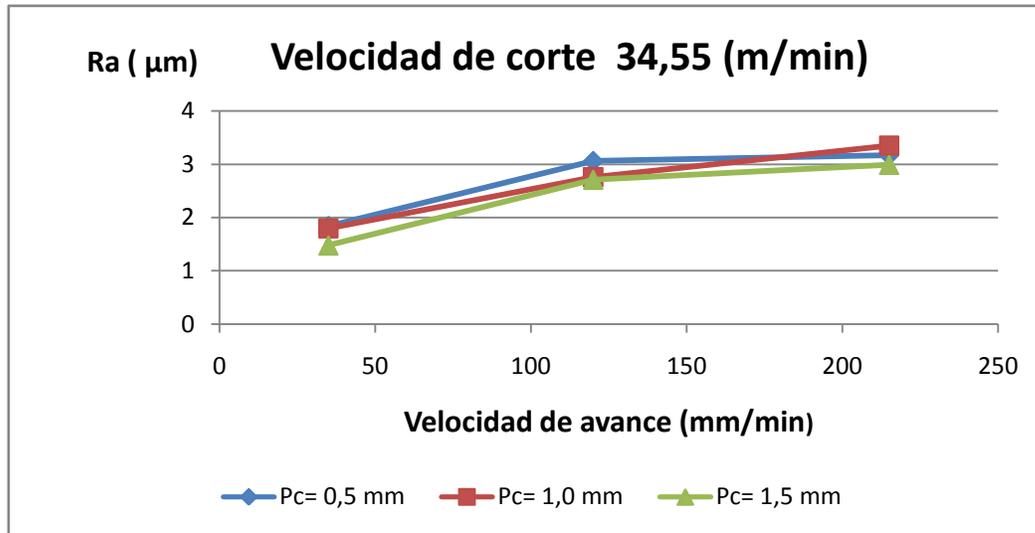


Gráfica 4.1.3 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte con velocidad de corte 18,22 m/min.

En esta gráfica se puede observar que a velocidades de corte constante (18,22 m/min) y avance (35 mm/min) pequeños se obtienen valores de rugosidad medios (aproximadamente 1,90 y 2,3 μm) para los tres niveles de profundidad de corte, pero a medida que aumenta el avance, también se incrementa moderadamente la rugosidad, se puede notar que para profundidades de corte de 1,0 y 1,5 mm lo hace de forma similar y para la 0,5 mm posee comportamiento independiente arrojando valores menores de rugosidad cuando alcanza un nivel de avance grande.

En la **gráfica 4.1.4** se observa que a velocidad de corte constante (34,55 m/min) y a medida que aumenta el rango en los niveles de avance se obtienen incrementos moderados de la rugosidad, iniciando en 1,80 μm para avance de 35 y terminando en 3 μm para avance de 215 mm/min, además el comportamiento es similar para los niveles de profundidad de corte. Este efecto es confirmado por la teoría de mecanizado, la cual anuncia que a

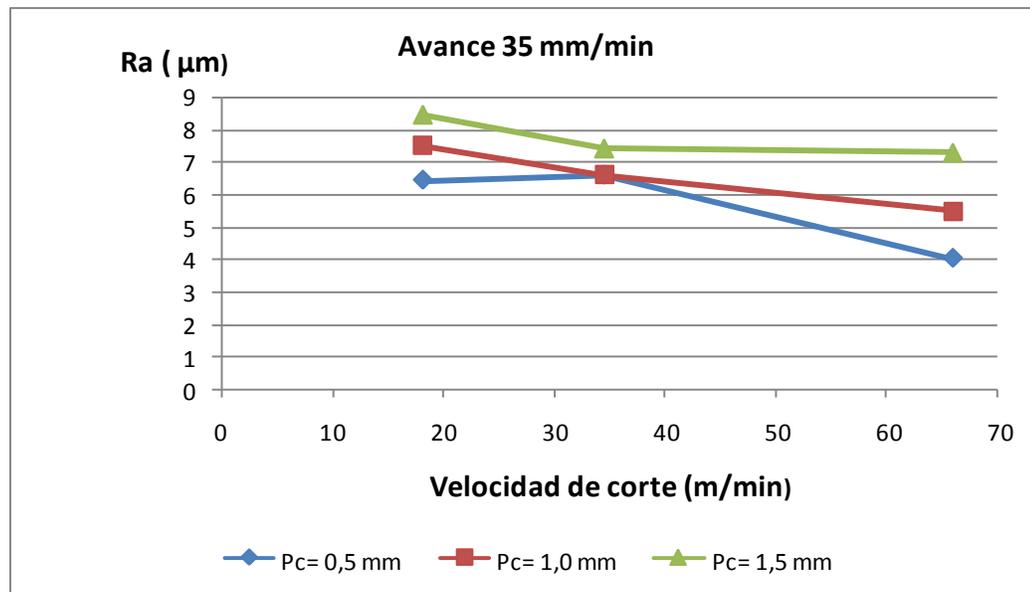
medida que se incrementa el avance, los valores de rugosidad aumentan, ósea desmejora el acabado superficial, además puede ser consecuencia de utilizar una herramienta de corte de 2 filos y del refrigerante.



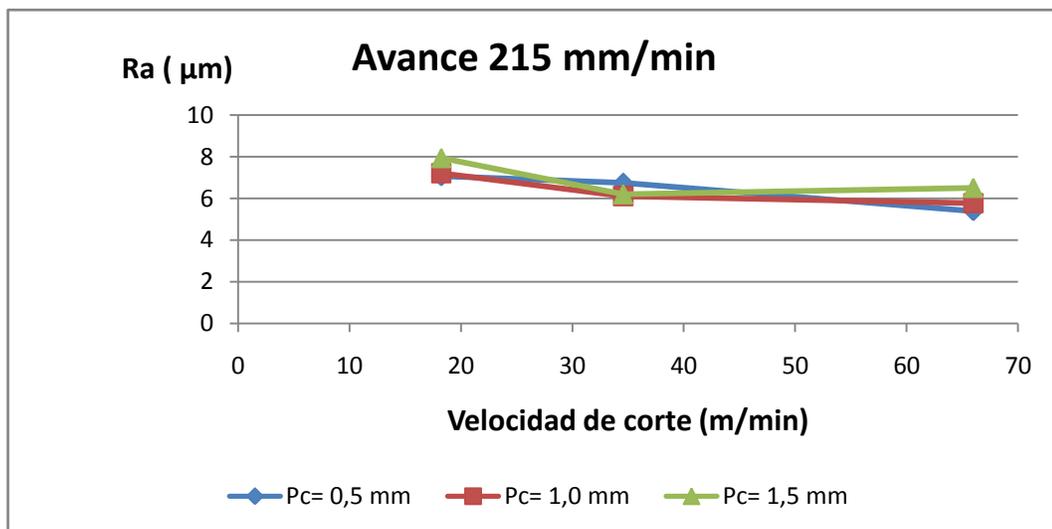
Gráfica 4.1.4 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte constante de 34,55 m/min

4.2 Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6063 con herramienta de 4 filos de corte y fluido de corte kerosene

La **gráfica 4.2.1** presenta la tendencia que predice el patrón de teoría de mecanizado, donde a medida que aumentan los niveles de velocidad de corte con un avance pequeño y constante de 35 mm/min, los valores de rugosidad disminuyen para cada una de las profundidades de corte utilizadas. Cabe destacar que para la menor profundidad de corte (0,5 mm) este efecto es más notable que en las otras, esto se debe a que hay menor remoción de viruta y por ende mejora el acabado superficial.



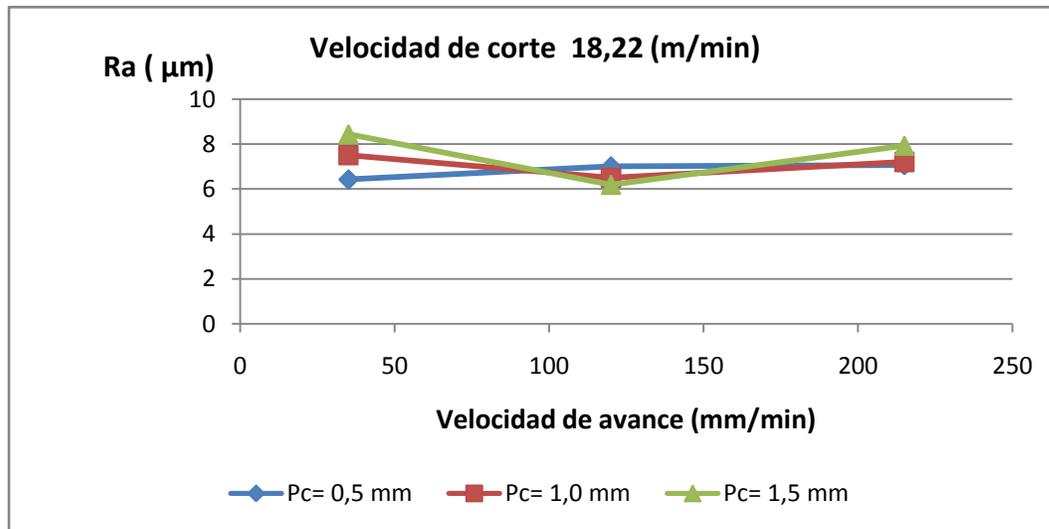
Gráfica 4.2.1 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min.



Gráfica 4.2.2 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min

En la gráfica se observa que para velocidades de corte bajas (18,22 m/min) y avance grande constante de (215 mm/min) se obtienen valores altos de rugosidad superficial, pero al aumentar la velocidad de corte, los valores de rugosidad disminuyen, también se puede observar que la profundidad de corte es una variable que influye poco en el comportamiento de la rugosidad en este tipo de aluminio ya que las curvas poseen similar comportamiento.

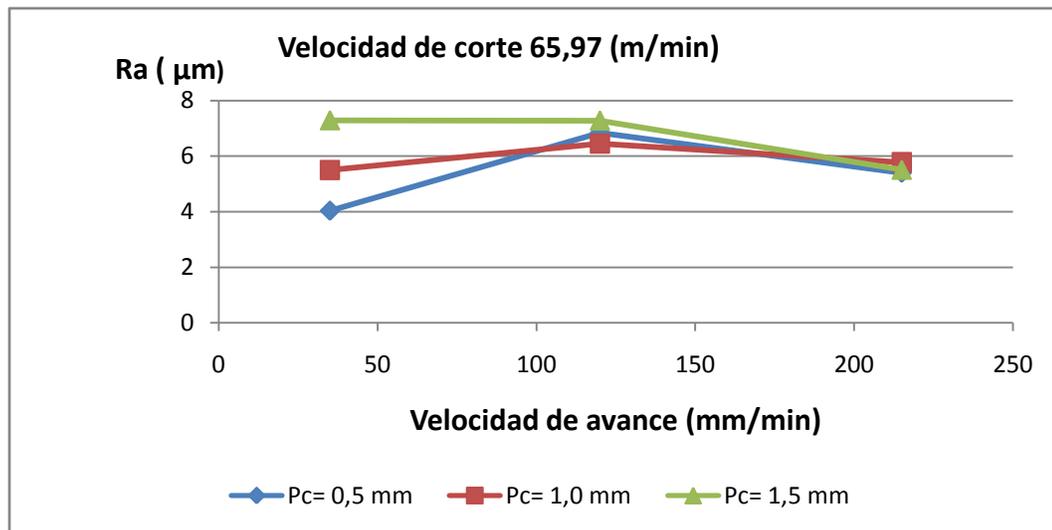
Al utilizar este avance grande constante (215 mm/min), se incrementa el movimiento lineal de la fresa y aumenta la cantidad de material arrancado por diente originando desmejoras en el acabado superficial



Gráfica 4.2.3 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 18,22 m/min

En línea general la gráfica presenta una tendencia que sigue el patrón teórico del avance en el acabado superficial, donde a medida que aumenta los niveles de avance también cercen los valores de rugosidad, en este caso

particular la rugosidad oscila entre 6 y 8 μm . Estos parámetros de corte no deben utilizar si se desea obtener buenos valores de rugosidad superficial



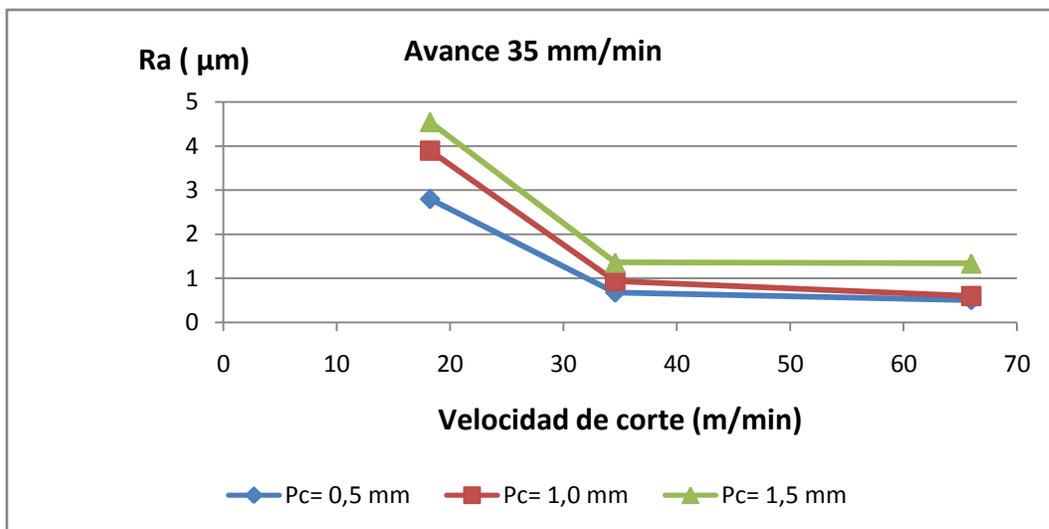
En esta gráfica se puede observar que aumentando la velocidad de corte a un valor constante de 65,95 m/min se obtienen mejores resultados de mecanizado a un avance de 35 mm/min en comparación con la gráfica 4.2.3, ya que la rugosidad disminuye, también se observa que al aumentar la profundidad de corte los valores de rugosidad aumentan y que las curvas mantienen un patrón similar de comportamiento a partir de 120 mm/min en niveles de velocidad de avance.

4.3 Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6063 con

Gráfica 4.2.4 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte 18.22 m/min y velocidad de corte 65,97 m/min

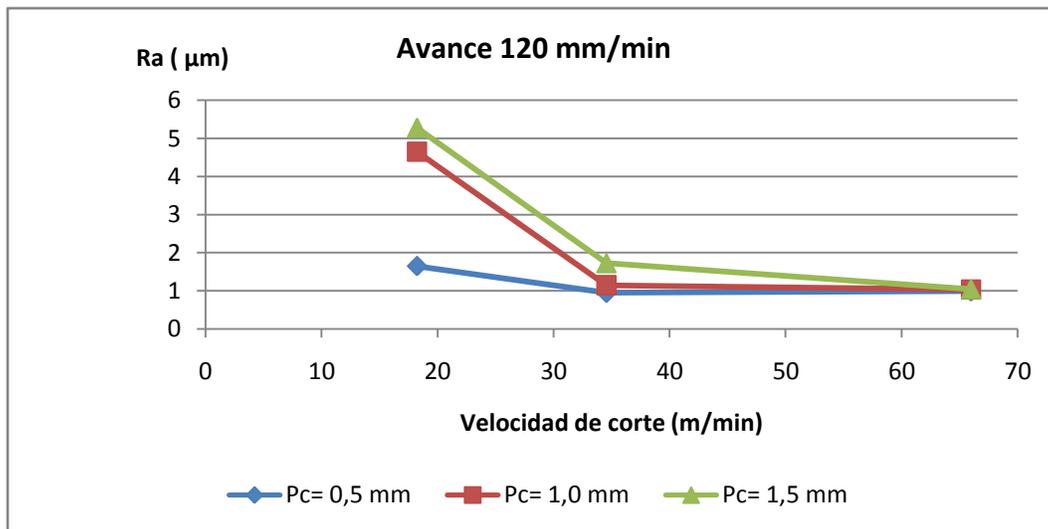
herramienta de 6 filamentos de corte y fluido de corte kerosene

En la gráfica 4.3.1 se presenta una tendencia que predice el patrón teórico de velocidad de corte, para nuestro caso de 18,22 m/min a 65,97 m/min con un avance constante de 35 mm/min, los valores de rugosidad disminuyen paulatinamente de aproximadamente 4 μm a 1 μm . esta relación es más acentuada para niveles de profundidad de corte 0,5 mm, es de hacer notar que se pueden utilizar estos parámetros de corte para obtener valores de rugosidad aceptables.

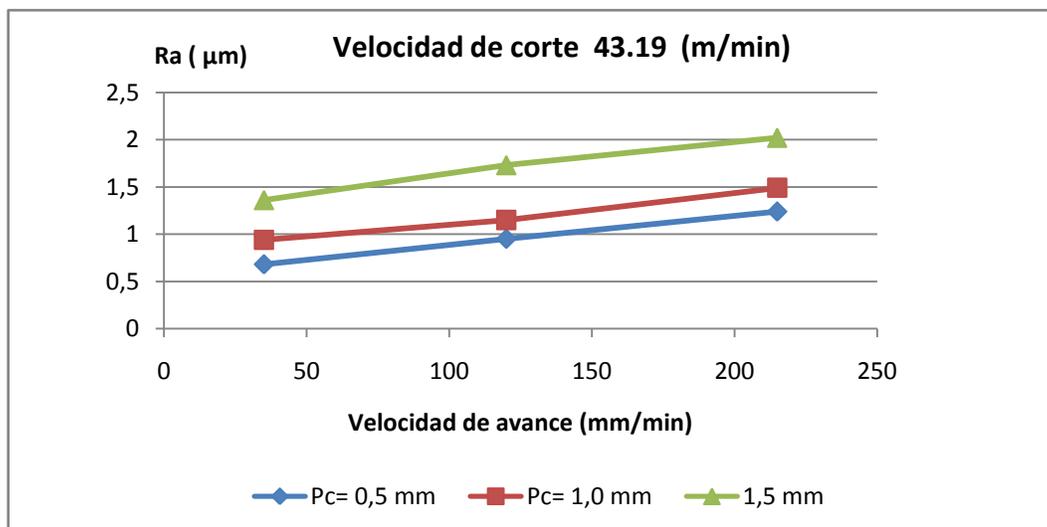


Gráfica 4.3.1 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min

En línea general la gráfica 4.3.2 presenta una tendencia que sigue el patrón teórico de la velocidad de corte en mecanizado de aleaciones de aluminio, donde a medida que aumenta los niveles de velocidad decrecen los niveles de rugosidad, en este caso para avance constante de 120 mm/min la rugosidad disminuyó de aproximadamente 5 μm a 1 μm en profundidades de corte de 1 y 1,5 mm, es de hacer notar que para la profundidad de corte 0,5 mm la rugosidad se mucho menor, debe ser a consecuencia que a medida que la remoción de material es mayor la rugosidad aumenta.



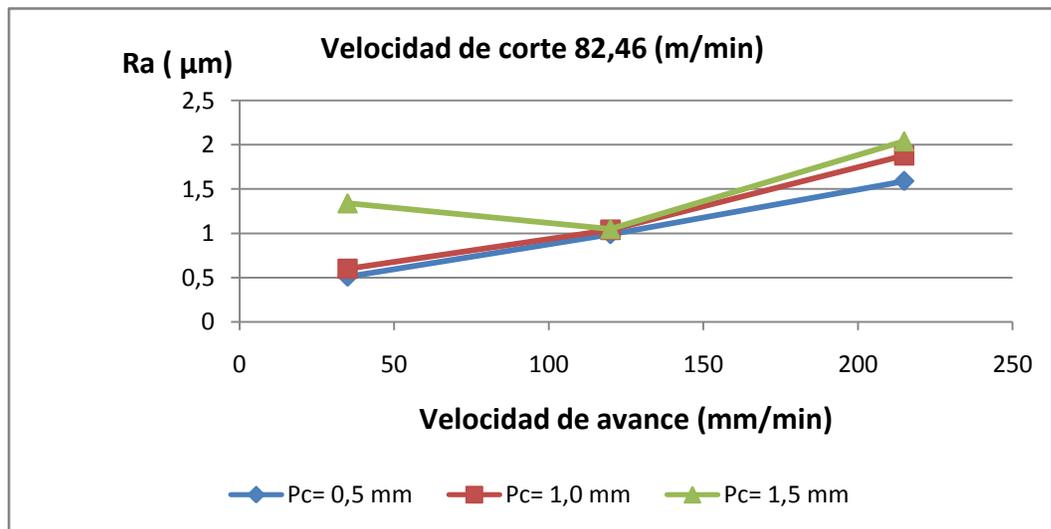
Gráfica 4.3.2 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 120 mm/min



Gráfica 4.3.3 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 43,19 m/min

En La gráfica 4.3.3, se observa que se cumple, que a medida que aumentamos la velocidad de avance la rugosidad aumenta, se observa que

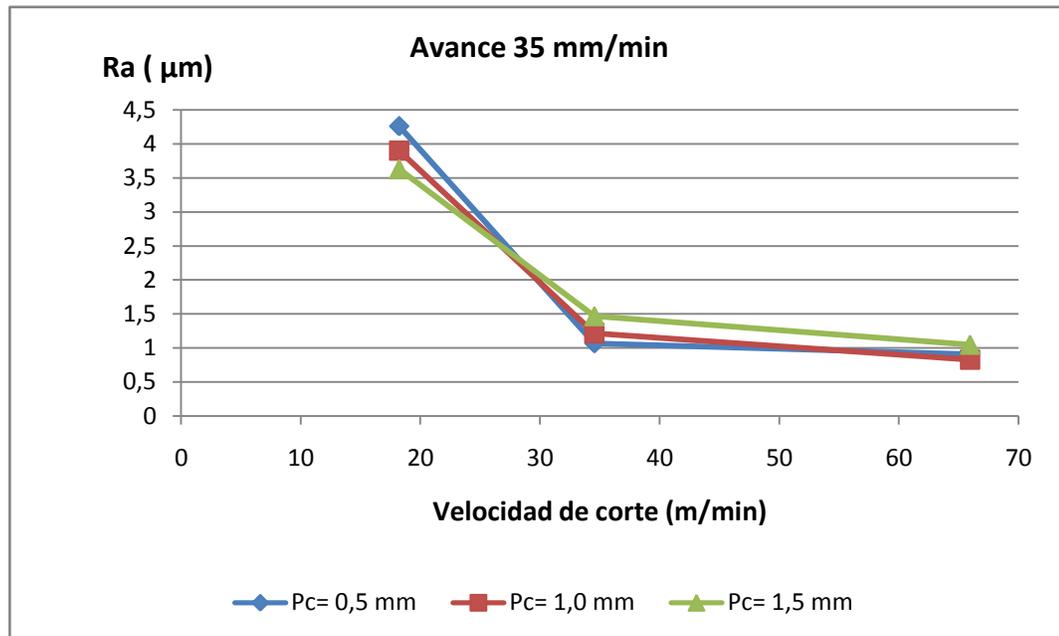
se tienen mejores resultados con avances pequeños, ya que la remoción del material es lenta en cuanto al movimiento de la fresa por diente, lo cual genera un buen acabado superficial. También es de hacer notar que a menor profundidad de corte la rugosidad es menor cuando se trabaja con estos parámetros.



Gráfica 4.3.4 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 82,46 m/min.

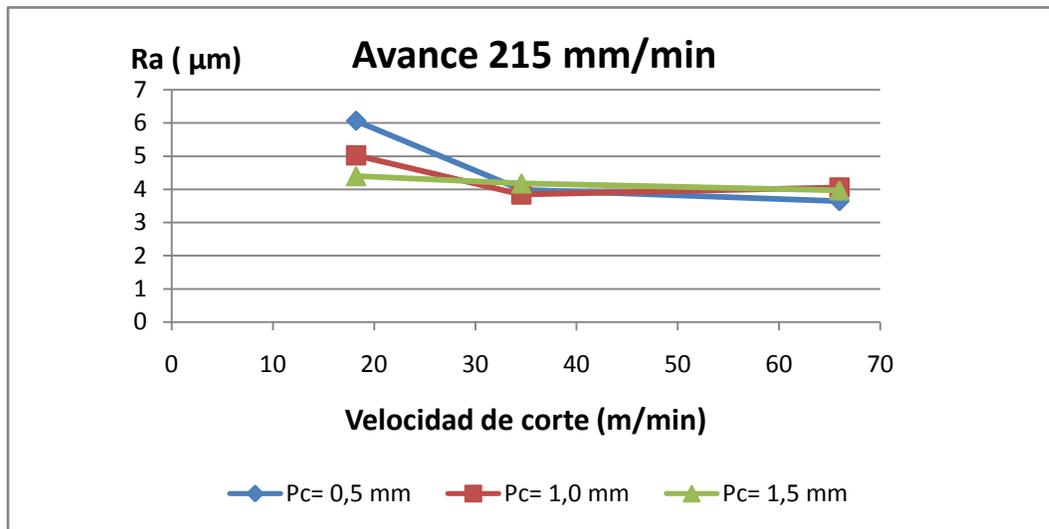
En la gráfica se observa lo que podría denominar una tendencia ideal de los parámetros de mecanizado de aleaciones de aluminio comercial, ya que al aumentar los niveles de avance de 35 mm/min hasta 215 mm/min con una velocidad de corte constante y considerable de 82,46 m/min, los valores de rugosidad crecen, lo cual pudiera ser consecuencia que al utilizar avances mayores se incrementa el movimiento lineal de la fresa y aumenta la cantidad de material arrancado por diente originando un deficiente acabado superficial. Es de hacer notar que, con estos parámetros de corte se obtienen excelentes valores de rugosidad superficial.

4.4 Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6061 con herramienta de 2 filos de corte y fluido de corte kerosene



Gráfica 4.4.1 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min.

La tendencia que presenta las curvas para esta gráfica es la que predice la teoría de mecanizado, donde a medida que aumentan los niveles de velocidad de corte con un avance pequeño y constante (35 mm/min), los valores de rugosidad decrecen considerablemente, se puede observar en la gráfica que de aproximadamente $4\mu\text{m}$ se redujo a $1\mu\text{m}$ el valor de rugosidad y el comportamiento de las tres curvas fue independiente de la variable de profundidad de corte ya que las mismas poseen comportamientos similares, es de hacer notar que estos parámetros de corte son excelentes para obtener un buen acabado superficial.

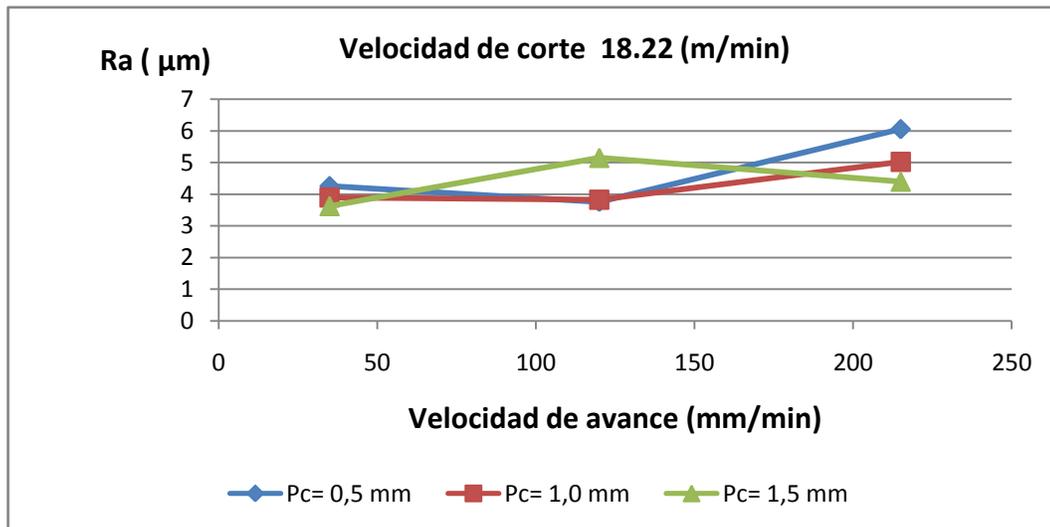


Gráfica 4.4.2 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min

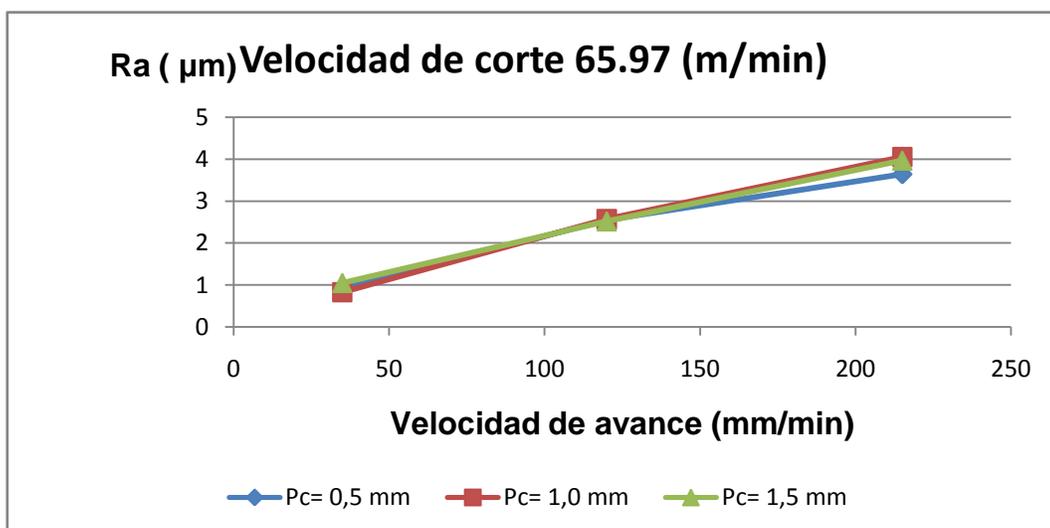
Aquí se puede observar que al variar el avance a un valor grande y constante, sigue manteniendo el mismo comportamiento, que a medida que la velocidad de corte aumenta la rugosidad superficial es menor, sólo que con estos parámetros se obtienen buenos valores de rugosidad como cuando se selecciona un avance pequeño, ya que con un avance pequeño la remoción de material se hace lenta y evita que esto influya sobre el acabado superficial de la pieza a mecanizar.

En línea general la gráfica 4.4.3 presenta la tendencia que sigue el patrón teórico del avance en el acabado superficial, donde a medida que aumentamos los niveles de avance también crecen los niveles de rugosidad, en este caso se observa que cuando se mantiene una velocidad de corte constante y pequeña (18,22 m/min), la rugosidad aumenta en pequeña escala en comparación con velocidades mayores, también es de hacer notar que la profundidad de corte es una variable que no influye tanto en el rango

de 0,5 y 1,0 mm pero a medida que aumenta los valores de profundidad si se hace notar



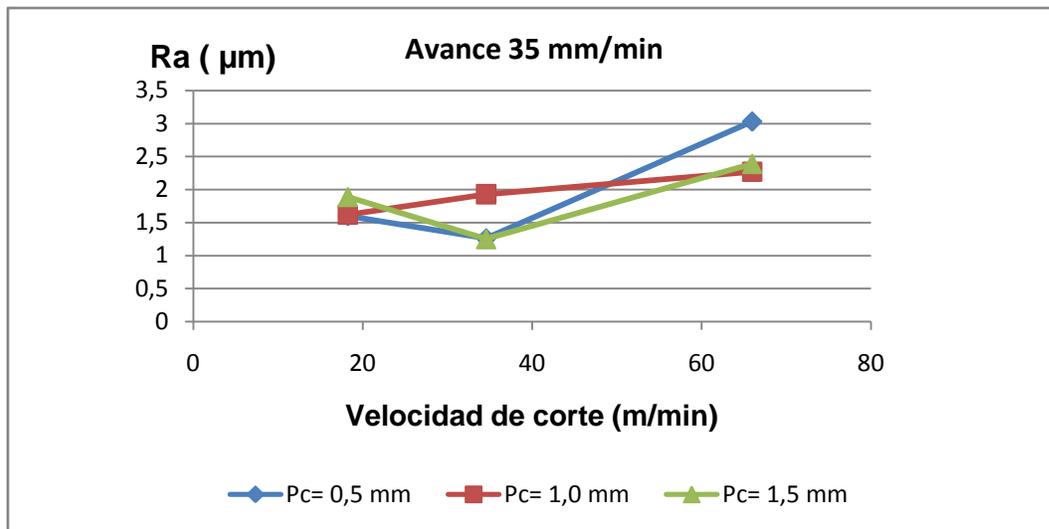
Gráfica 4.4.3 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 18,22 m/min



Gráfica 4.4.4 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 65,97 m/min

En esta gráfica se puede comprobar claramente que manteniendo una velocidad de corte constante y variando la velocidad de avance en un rango de 25 mm/min hasta 215 mm/min, se puede observar como la rugosidad va en aumento, de aproximadamente $1\mu\text{m}$ hasta $4\mu\text{m}$, también se puede observar que la profundidad de corte es una variable de efecto menos notable ya que las tres curvas tienen comportamientos similares

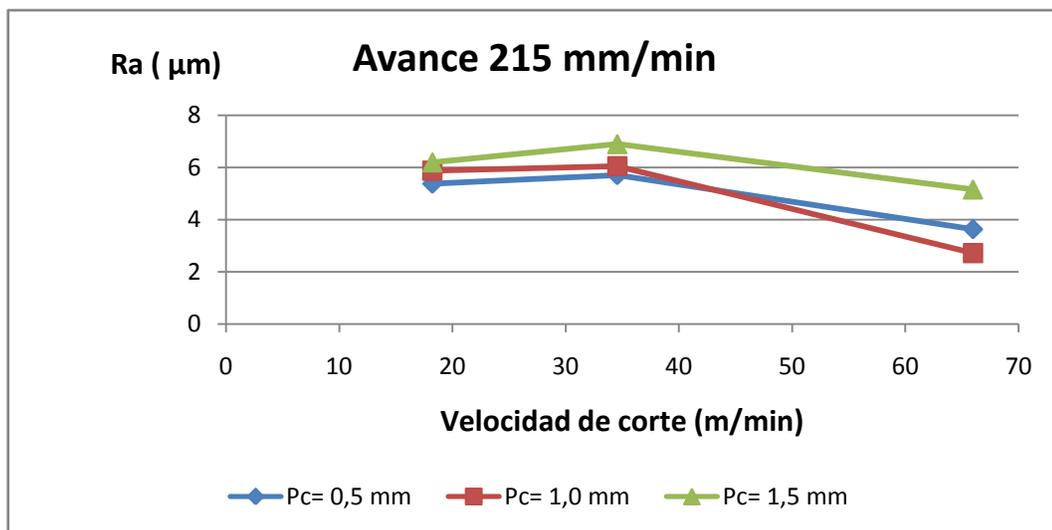
4.5 Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6061 con herramienta de 4 filos de corte y fluido de corte kerosene



Gráfica 4.5.1 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min

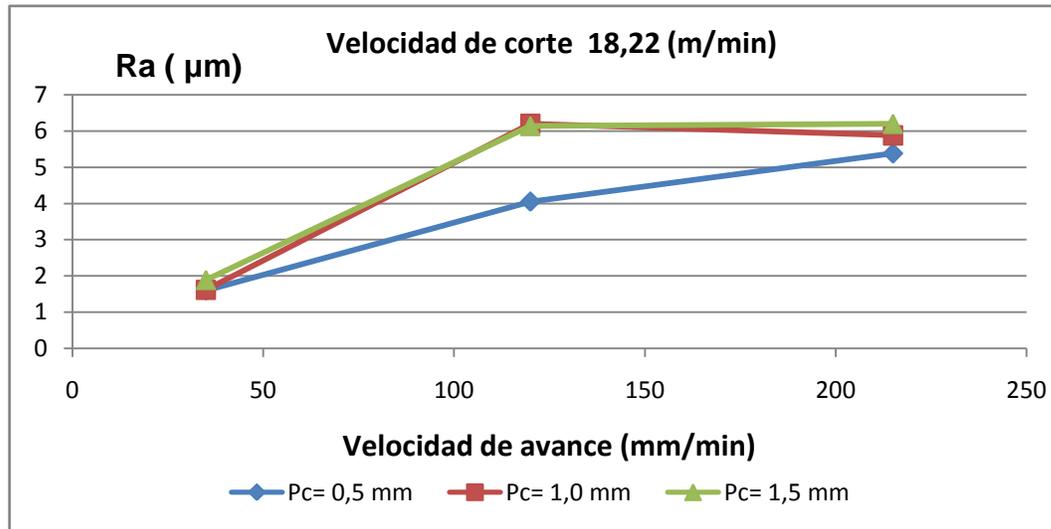
En la gráfica se observa que cada curva poseen comportamientos independientes, se observa que para las profundidades de 0,5 mm y 1,5 mm a mitad que aumenta la velocidad de corte la rugosidad disminuye, esto sólo se cumple hasta una velocidad de corte intermedia de 35,55 m/min, y luego comienza a crecer notablemente con una pendiente pronunciada, en

realidad esto escapa de los patrones de comportamientos que se tienen sobre en mecanizado de aleaciones de aluminio, ya que deberían de decrecer los valores de rugosidad a medida que aumentamos la velocidad de corte. Puede ser consecuencia de un mal mecanizado o un error al momento de realizar la medición.



Gráfica 4.5.2 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min

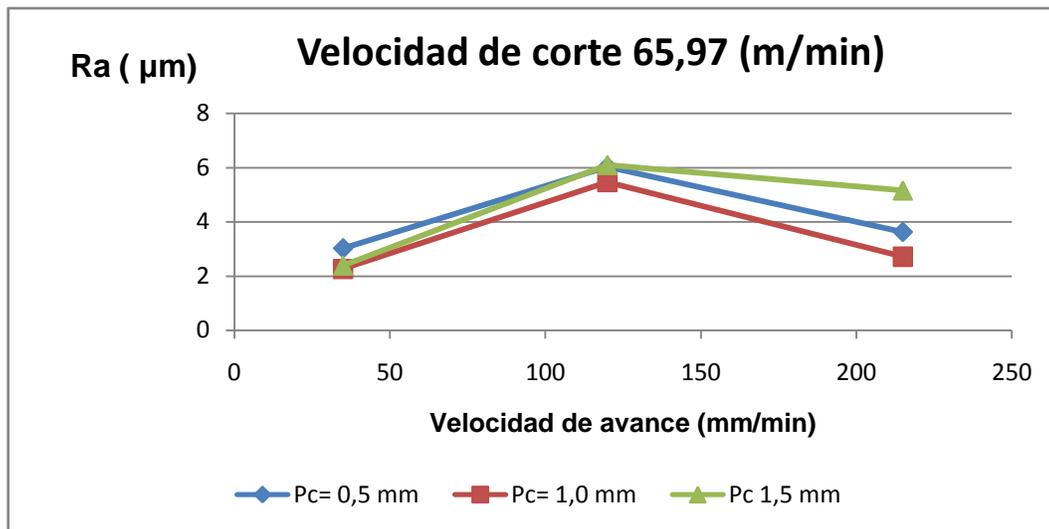
En esta gráfica si se puede apreciar que a medida que la velocidad de corte incrementa la rugosidad disminuye cuando se mantiene un avance constante, es de hacer notar que cuando se seleccionan avances grandes la rugosidad es mucho mayor, en este caso se puede observar que a pequeñas velocidades de corte la rugosidad está por encima de 5 μm , se observa también que la profundidad de corte se hizo notar, ya que cada gráfica presentó comportamientos independientes para cada nivel de profundidad.



Gráfica 4.5.3 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 18,22 m/min

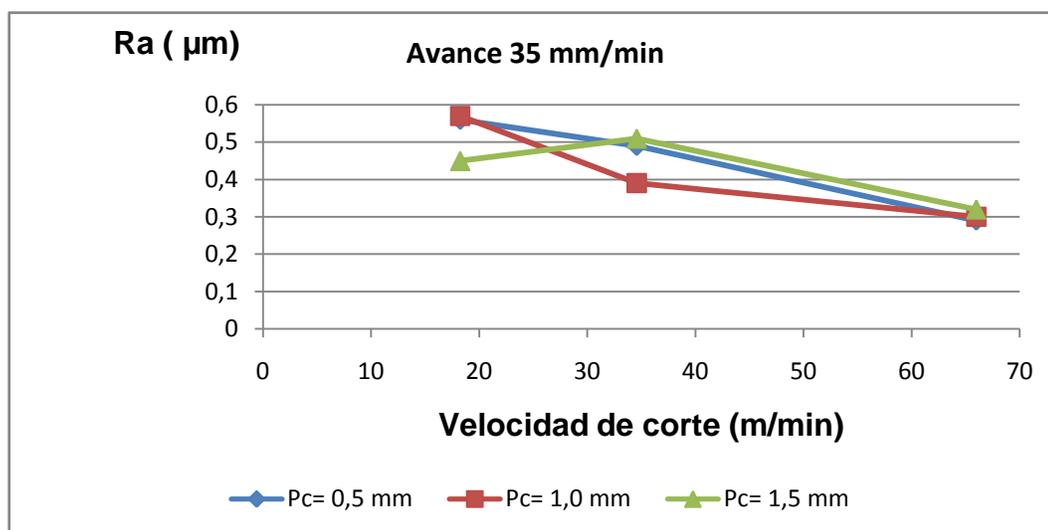
En la gráfica se observa que a medida que aumentan los niveles de avances se obtienen incrementos grandes en la rugosidad, iniciando en 1,5 μm y terminando en 6 μm aproximadamente, además este comportamiento es similar para las profundidades de corte de 1,0 y 1,5 mm. Este efecto es confirmado por teoría de mecanizado, la cual enuncia que a medida que se incrementa el avance, los valores de rugosidad aumentan, ósea desmejora el acabado superficial.

La tendencia que presentan las curvas para la gráfica 4.5.4 es la que predice la teoría de mecanizado para este tipo de aleaciones, se observa que para esa velocidad de corte grande y constate, al aumentar los niveles de avance la rugosidad incrementa considerablemente aunque se muestra que a partir de cierto avance intermedio de 120 mm/min disminuye un poco en este caso en particular, puede ser consecuencia de que trabajar con velocidades de corte altas y niveles de avance mayores que 120 mm/min tiende a disminuir un poco el valor de la rugosidad.



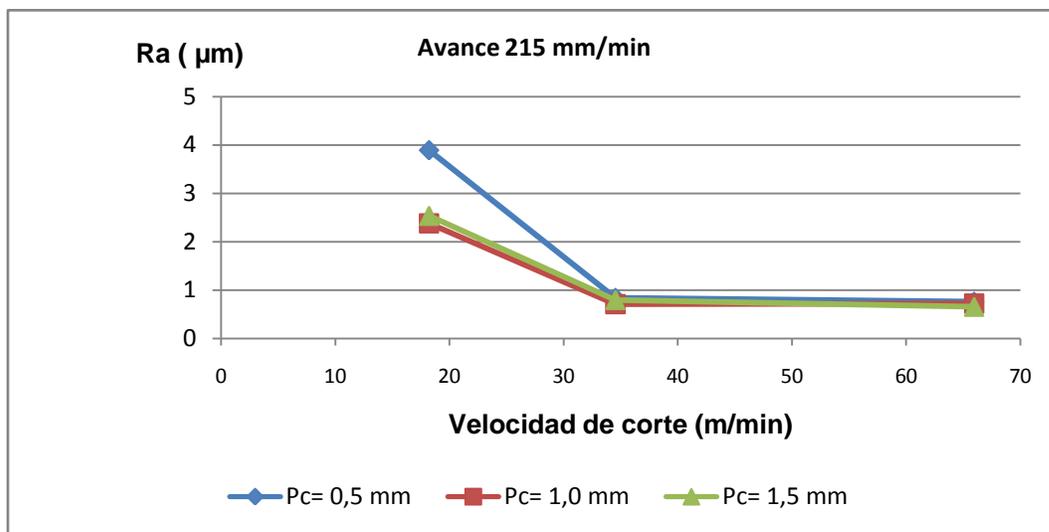
Gráfica 4.5.4 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 65,97 m/min

4.6 Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6061 con herramienta de 6 filos de corte y fluido de corte kerosene



Gráfica 4.6.1 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min

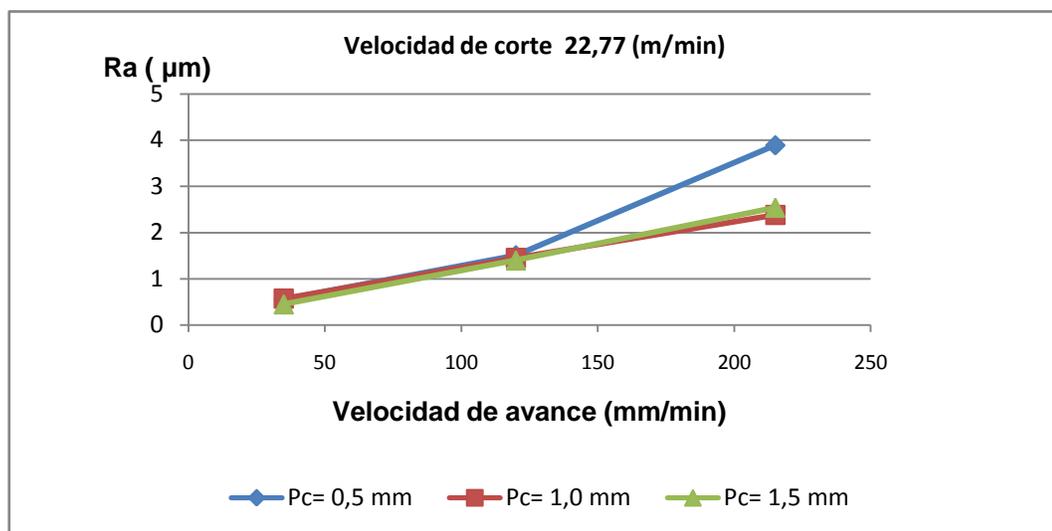
En línea general la gráfica presenta tres comportamientos diferentes para cada una de las profundidades, respetando la teoría de mecanizado para este tipo de aleaciones, que afirma que para avances bajos y constantes (35 mm/min) y aumentando la velocidad de corte la rugosidad tiende a disminuir. Se observa que para esta herramienta de 6 filos y estos parámetros de corte se obtiene excelente acabado superficial ya que para todas las profundidades de corte el valor de rugosidad no excedió de $1\mu\text{m}$.



Gráfica 4.6.2 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min

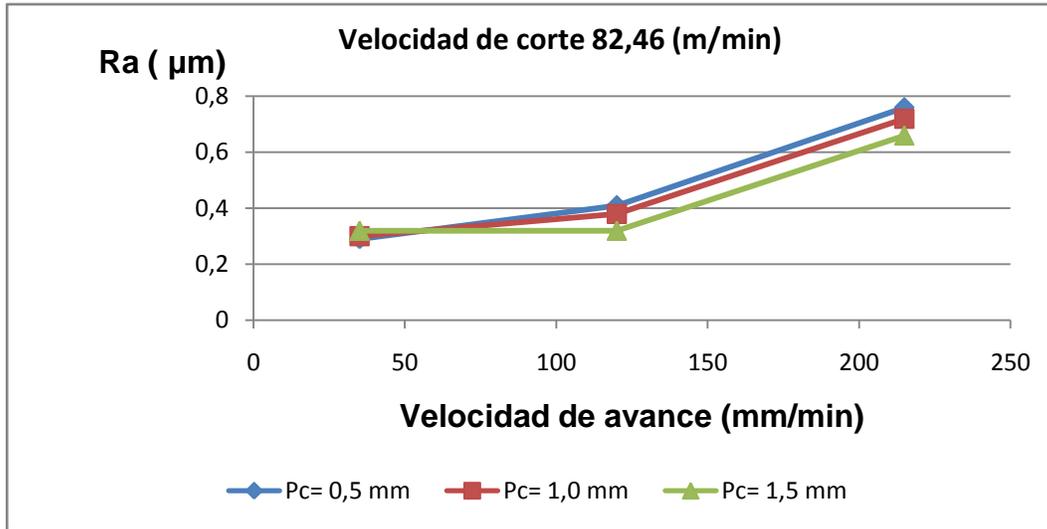
En la gráfica se observa que para velocidades de corte bajas (22,77 m/min) y avances grandes (215 mm/min) se obtienen valores de rugosidad muy altos, además este efecto es más notable al utilizar profundidades de corte de 0,5 mm. Pero al incrementar la velocidad de corte, los valores de rugosidad tienden a disminuir notablemente y cuando alcanza una profundidad de corte de 43,19 m/min las curvas siguen disminuyendo independientemente de las profundidades de corte utilizadas.

En línea general la gráfica 4.6.3 presenta una tendencia que sigue un patrón teórico del avance en el acabado superficial, donde a medida que aumenta los niveles del avance también crecen los valores de rugosidad, para nuestro caso de (0,5 a 2 μm) en profundidades de corte de 1,0 y 1,5 mm y a 4 μm en la profundidad de corte de 0,5 mm



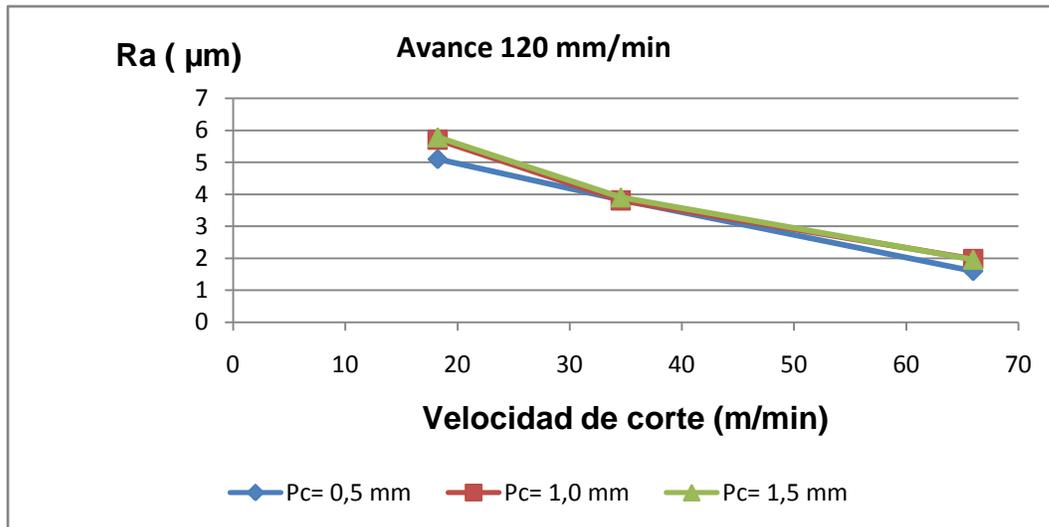
Gráfica 4.6.3 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 22,77 m/min

En la gráfica 4.6.4 se puede observar que con una velocidad de corte grande (82,46 m/min) y constante, con respecto al rango de aumento de los niveles de avance de 35 mm/min a 215 mm/min, los valores de rugosidad obtenidos varían muy pocos (aproximadamente de 0,3 a 0,7 μm). Este comportamiento es similar para los tres niveles de profundidad de corte utilizados, lo que quiere decir que este parámetro no influye mucho en el mecanizado bajo estas condiciones de corte, en las cuales se obtienen un excelente acabado superficial.



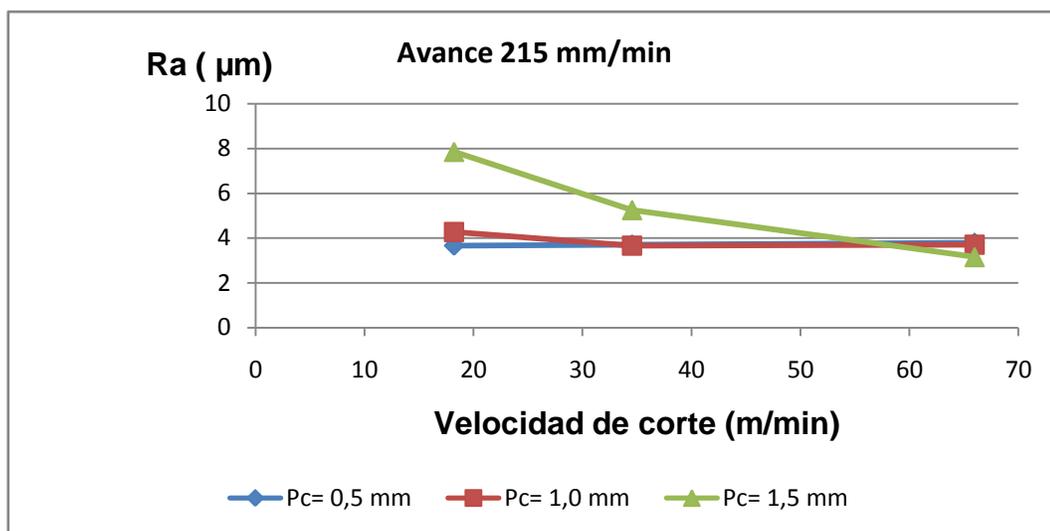
Gráfica 4.6.4 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 82,46 m/min

4.7 Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6261 con herramienta de 2 filos de corte y fluido de corte kerosene



Gráfica 4.7.1 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 120 mm/min

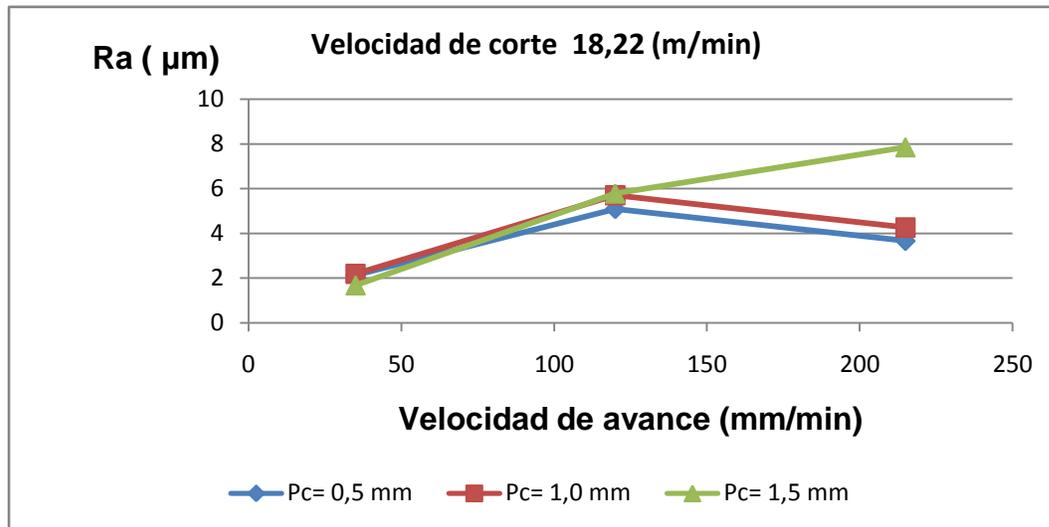
En esta gráfica se observa que para niveles de velocidad de corte bajas (18,22 mm/min) y un avance intermedio y constante (120 mm/min) el resultado de la rugosidad obtenido es pésimo, alrededor de 5 μm , siendo este comportamiento similar en cada una de las profundidades de corte utilizadas. Pero cuando comienza a aumentar los niveles de velocidad de corte, los valores de rugosidad disminuyen. También se puede observar que para las profundidades de corte de 1,0 y 1,5 mm las curvas poseen igual comportamiento en todo el rango de velocidad de corte



Grafica 4.7.2 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min

En línea general esta gráfica cumple con el patrón de teoría de mecanizado de aleaciones de aluminio, donde a medida que aumentan los niveles de velocidad de corte con un avance grande y constante de 215 mm/min, los valores de rugosidad disminuyen para cada una de las profundidades de corte utilizadas, cabe destacar que para menores profundidades de corte 0,5 y 1,0 mm este efecto es más notable, esto se

debe que para esas profundidades hay menor remoción de viruta y por ende mejora el acabado superficial.

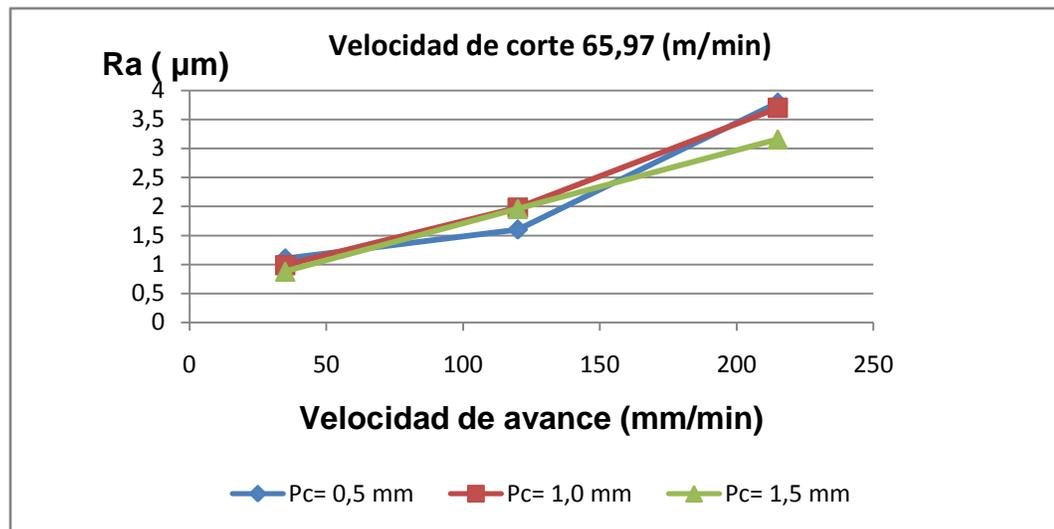


Gráfica 4.7.3 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 18,22 m/min

En la gráfica se puede decir que hay una tendencia referida al comportamiento teórico de mecanizado, ya que al aumentar los niveles de avance hay incremento en los valores de la rugosidad; este efecto se observa independientemente para cada uno de los niveles de profundidad de corte. Es de hacer notar que en la profundidad de corte de 1,5 mm es donde se nota más este efecto, ya que de casi $2\mu\text{m}$ llego a aproximadamente a $8\mu\text{m}$.

En la gráfica 4.7.4 se puede observar que con una velocidad de corte grande ($65,97\text{ m/min}$) y constante, con respecto al rango de aumento de los niveles de avance de 35 mm/min a 215 mm/min , los valores de rugosidad obtenidos varían muy pocos (aproximadamente de $1,0$ a $3,5\mu\text{m}$). Este comportamiento es similar para los tres niveles de profundidad

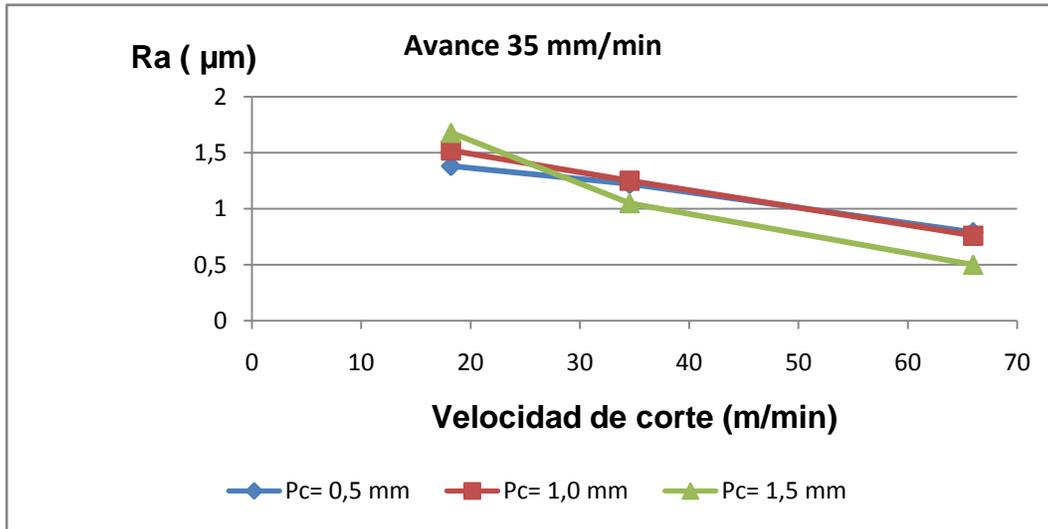
de corte utilizados, lo que quiere decir que este parámetro no influye mucho en el mecanizado bajo estos parámetros de corte.



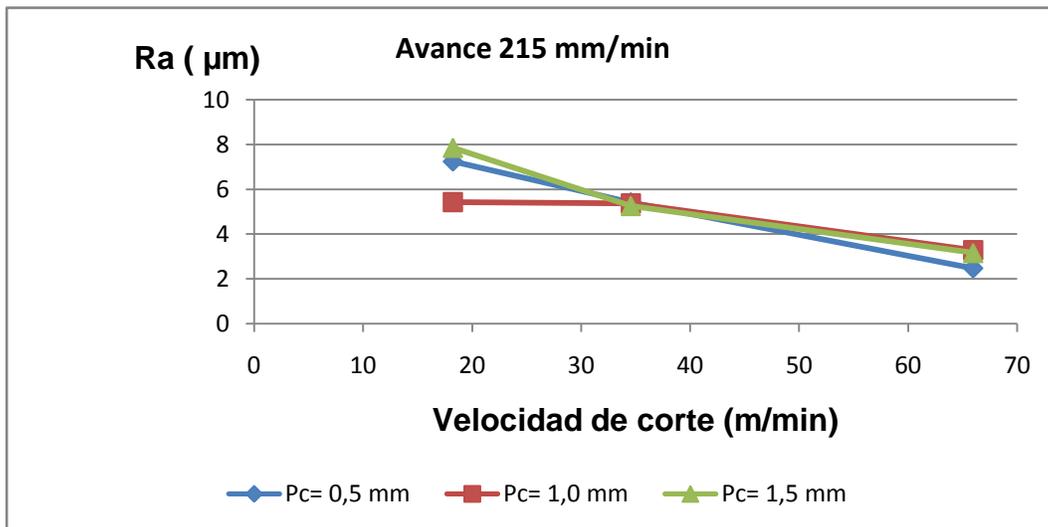
Gráfica 4.7.4 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 65,97 m/min

4.8 Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6261 con herramienta de 4 filos de corte y fluido de corte kerosene

En la gráfica se presenta una tendencia que predice el patrón teórico de velocidad de corte, para este caso de 18,22 m/min a 65,97 m/min con un avance constante de 35 mm/min, los valores de rugosidad disminuyen paulatinamente de aproximadamente 1,5 µm a 0,8 µm. esta relación es más acentuada para niveles de profundidad de corte 1,5 mm, es de hacer notar que se pueden utilizar estos parámetros de corte para obtener valores de rugosidad aceptables.



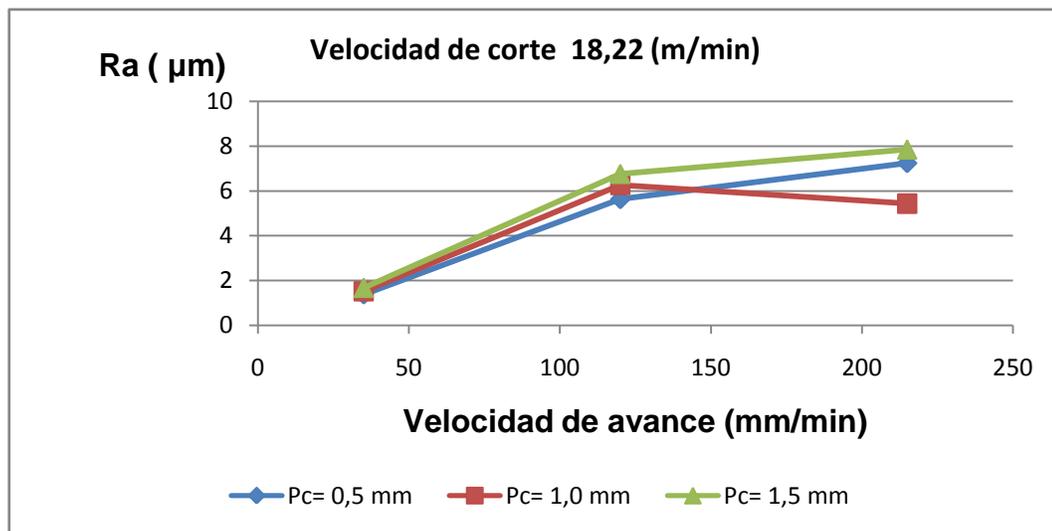
Grafica 4.8.1 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/min



Grafica 4.8.2 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 215 mm/min

En línea general se observa que al variar el avance a un valor grande y constante (215 mm/min), sigue manteniendo el mismo comportamiento que la gráfica anterior, que a medida que la velocidad de corte aumenta la

rugosidad superficial es menor, sólo que con estos parámetros no se obtienen buenos valores de rugosidad como cuando se selecciona un avance pequeño, ya que con un avance pequeño la remoción de material se hace lenta y evita que esto influya sobre el acabado superficial de la pieza a mecanizar.

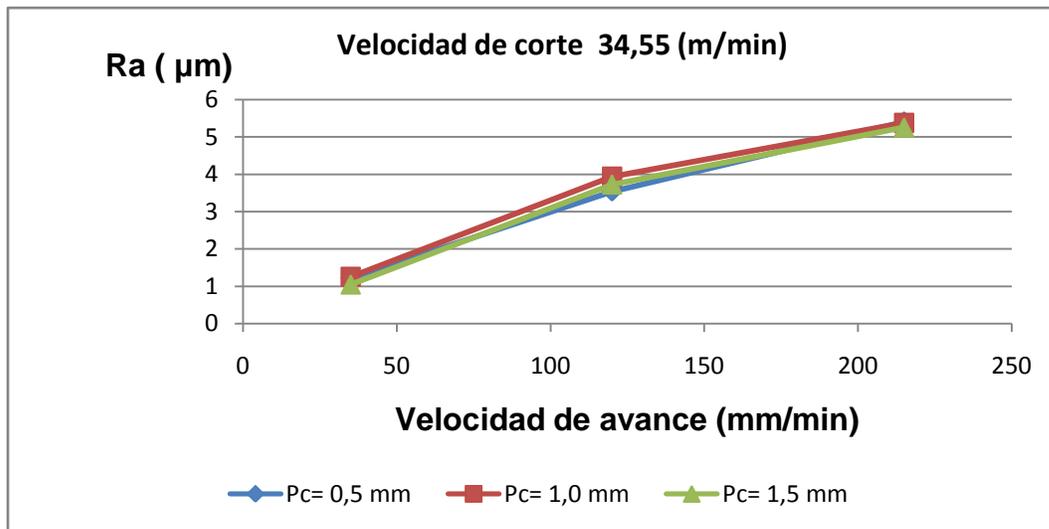


Gráfica 4.8.3 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 18,22 m/min.

En la gráfica 4.8.3 se puede comprobar claramente que manteniendo una velocidad de corte constante y variando la velocidad de avance de 25 mm/min hasta 215 mm/min, se observa como la rugosidad va en aumento, de aproximadamente $1\mu\text{m}$ hasta $7\mu\text{m}$, también se puede observar que la profundidad de corte es una variable de efecto menos notable ya que algunas curvas poseen similar comportamiento.

En la gráfica 4.8.4 se observa lo que podría denominar una tendencia ideal de los parámetros de mecanizado de aleaciones de aluminio comercial, ya que al aumentar los niveles de avance de 35 mm/min hasta 215 mm/min con

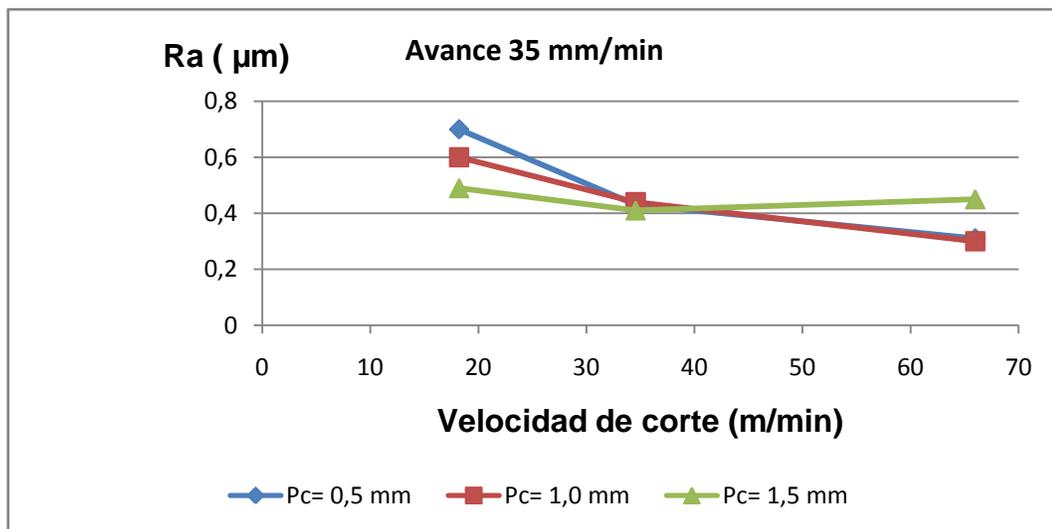
una velocidad de corte constante (34,55 m/min), los valores de rugosidad crecen, lo cual pudiera ser consecuencia que al utilizar avances mayores se incrementa el movimiento lineal de la fresa y aumenta la cantidad de material arrancado por diente originando un deficiente acabado superficial.



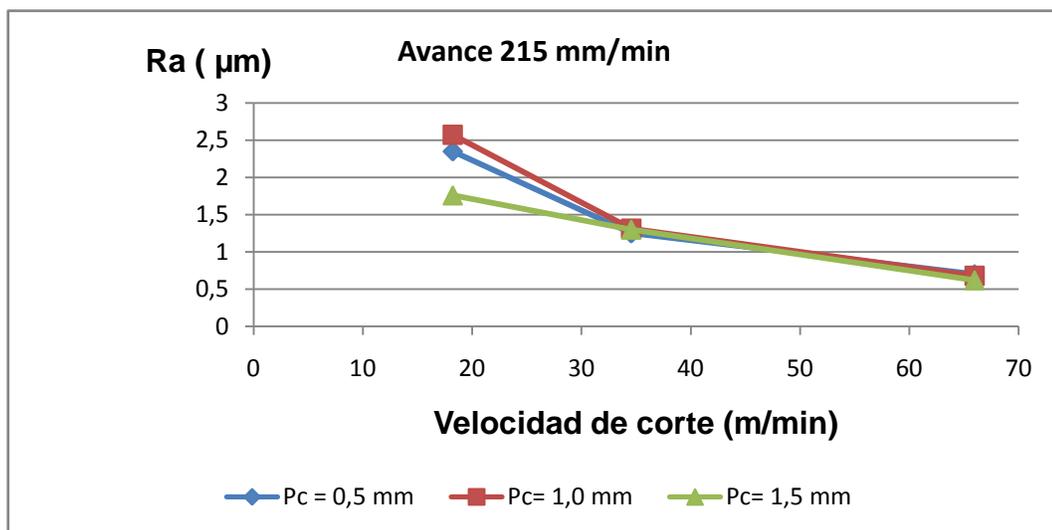
Gráfica 4.8.4 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de y velocidad de corte 34,55 m/min

4.9 Resultado del mecanizado de la aleación de aluminio 6261 con herramienta de 6 filos de corte y fluido de corte kerosene

En la gráfica se presenta una tendencia que predice el patrón teórico de velocidad de corte, en este caso de 18,22 m/min a 65,97 m/min con un avance constante de 35 mm/min, los valores de rugosidad disminuyen paulatinamente, se observa que para las profundidades de 0,5 y 1,0 mm lo hace de forma mas acentuada, es de hacer notar que se pueden utilizar estos parámetros de corte para obtener valores de rugosidad aceptables.



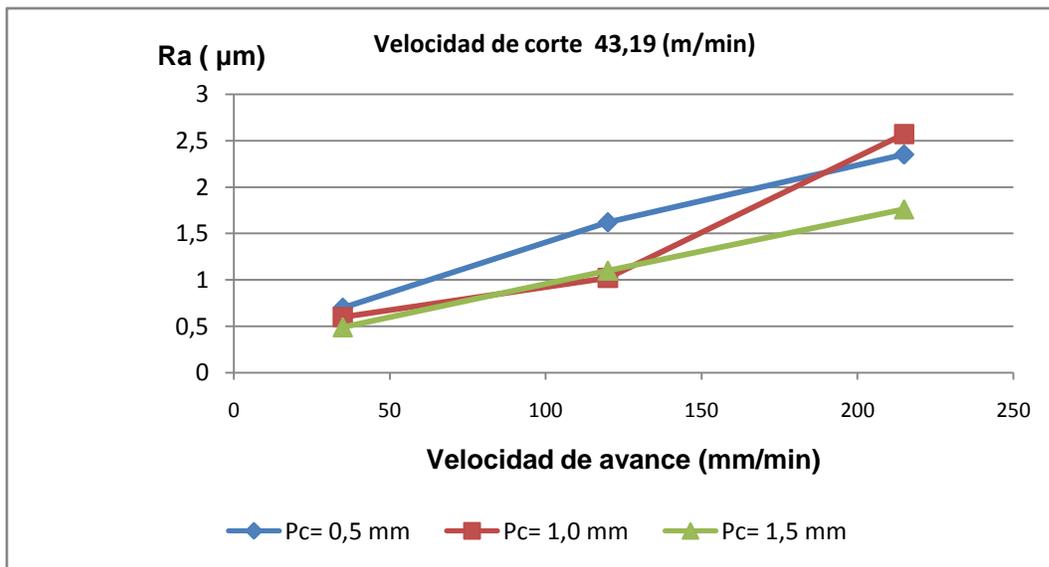
Gráfica 4.9.1 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 35 mm/mi



Gráfica 4.9.2 Rugosidad vs Velocidad de corte para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de avance 120 mm/min

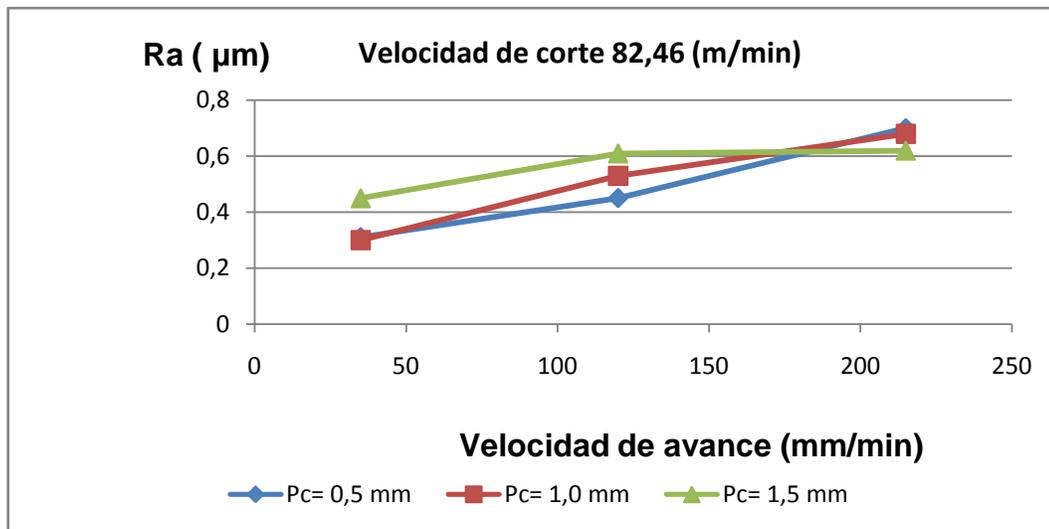
En línea general se observa que al variar el avance a un valor grande y constante (215 mm/min), sigue manteniendo el mismo comportamiento que

la gráfica anterior, que a medida que la velocidad de corte aumenta la rugosidad superficial es menor, sólo que con estos parámetros no se obtienen buenos valores de rugosidad como cuando se selecciona un avance pequeño, ya que la remoción de material se hace lenta y evita que esto influya sobre el acabado superficial de la pieza a mecanizar.



Gráfica 4.9.3 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 43,19 m/min

En esta gráfica se observa que a velocidad de corte constante (43,19 m/min) y a medida que aumenta el rango en los niveles de avance se obtienen incrementos moderados de la rugosidad, iniciando en 0,5 µm para avance de 35 y terminando en 2 µm para avance de 215 mm/min, además el comportamiento es similar para los tres niveles de profundidad de corte. Este efecto es confirmado por la teoría de mecanizado, la cual anuncia que a medida que se incrementa el avance, los valores de rugosidad aumentan, ósea desmejora el acabado superficial.

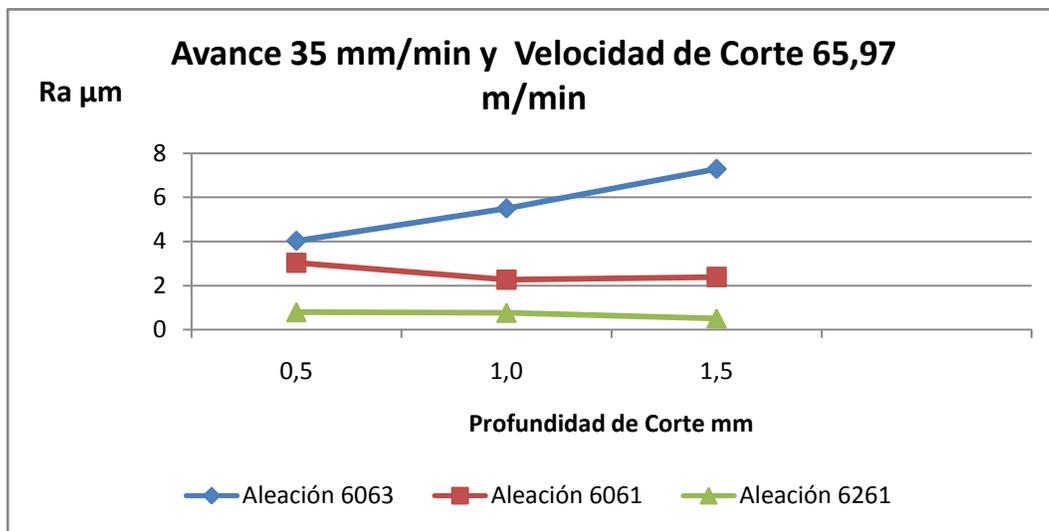


Gráfica 4.9.4 Rugosidad vs Velocidad de avance para tres niveles de profundidad de corte y velocidad de corte 82,46 m/min

En la gráfica se observa lo que se podría denominar una tendencia ideal de los parámetros de mecanizado de aleaciones de aluminio comercial, ya que al aumentar los niveles de avance de 35 mm/min hasta 215 mm/min con una velocidad de corte constante y considerable de 82,46 m/min, los valores de rugosidad crecen, también es de hacer notar que los parámetros de corte son excelentes para obtener un buen acabado superficial.

En términos generales en la gráfica 4.10, se puede decir que para las profundidades de corte estudiadas, los valores de rugosidad varían muy poco para condiciones iguales, en términos generales se puede observar en la gráfica que la profundidad de corte no afecta en grandes rasgos el acabado superficial en las aleaciones 6061 y 6261 ya que su comportamiento es casi lineal, ósea, varía muy poco en comparación con la aleación 6063 donde se

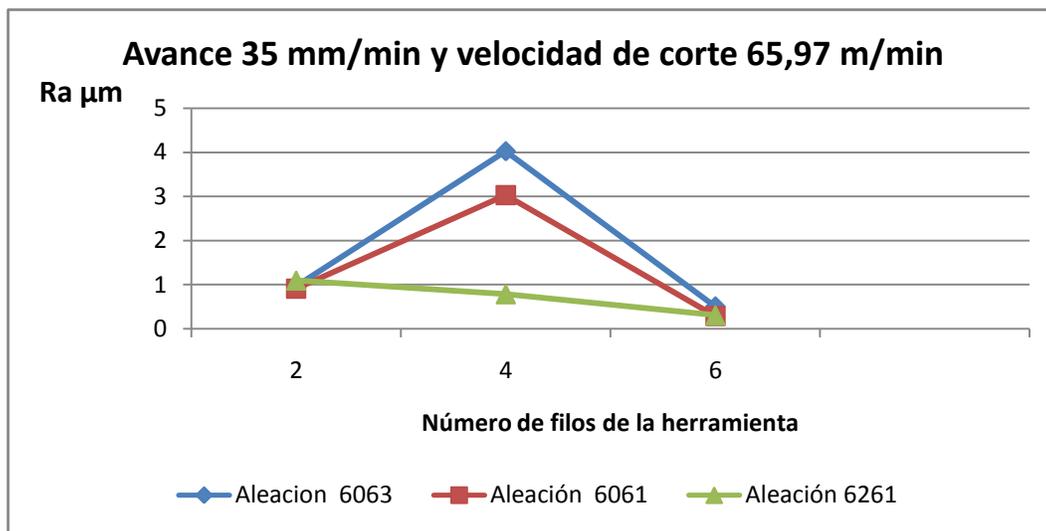
observa que a medida que el valor de profundidad aumenta la rugosidad superficial desmejora notablemente. Es de hacer notar que se tomaron los parámetros de corte: avance y velocidad de corte para este ensayo (avance 35 mm/min y velocidad de corte 65,97 m/min), porque con ellos se obtuvieron los mejores resultados de rugosidad superficial en el estudio de esta aleaciones.



Gráfica 4.10 Rugosidad Vs Profundidad de corte, con avance de 35 mm/min y velocidad de corte 65,97 m/min con herramienta de 4 filos de corte.

En la gráfica 4.11 se puede observar que a medida que se aumenta el número de filos de la herramienta la rugosidad disminuye notablemente debe ser consecuencia que al aumentar el número de filos el tamaño de la viruta disminuye cuando se remueve el material lo cual ayuda a mejorar el acabado superficial de la pieza a mecanizar. También se puede observar en la gráfica que la aleación 6261 tiene un excelente comportamiento a la hora de ser maquinada ya que al variar el número de filos en la herramienta varió muy poco el valor de rugosidad superficial. Es de hacer notar que se tomaron los

parámetros de corte: avance y velocidad de corte para este ensayo (avance 35 mm/min y velocidad de corte 65,97 m/min), porque con ellos se obtuvieron los mejores resultados de rugosidad superficial en el estudio de esta aleaciones.

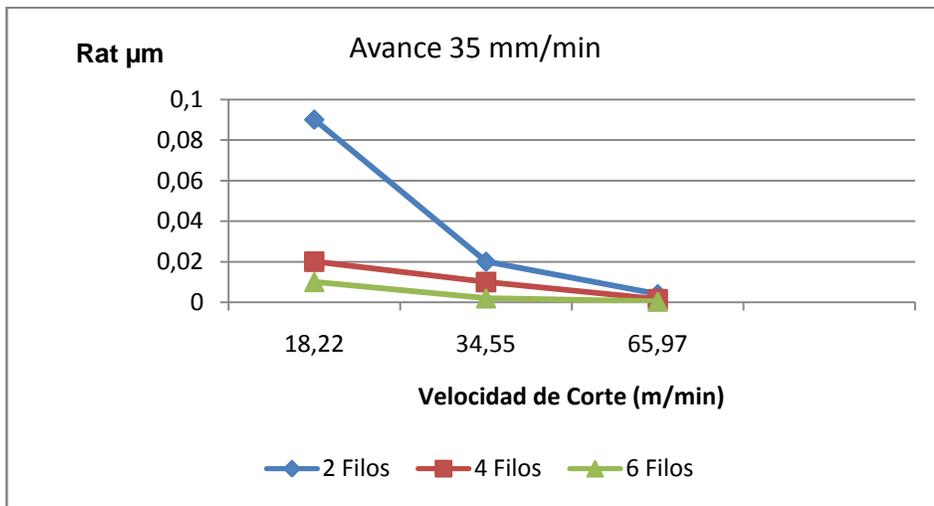


Gráfica 4.11 Rugosidad vs Numero de filos de corte con avance de 35 mm/min y velocidad de corte de 65,97 m/min

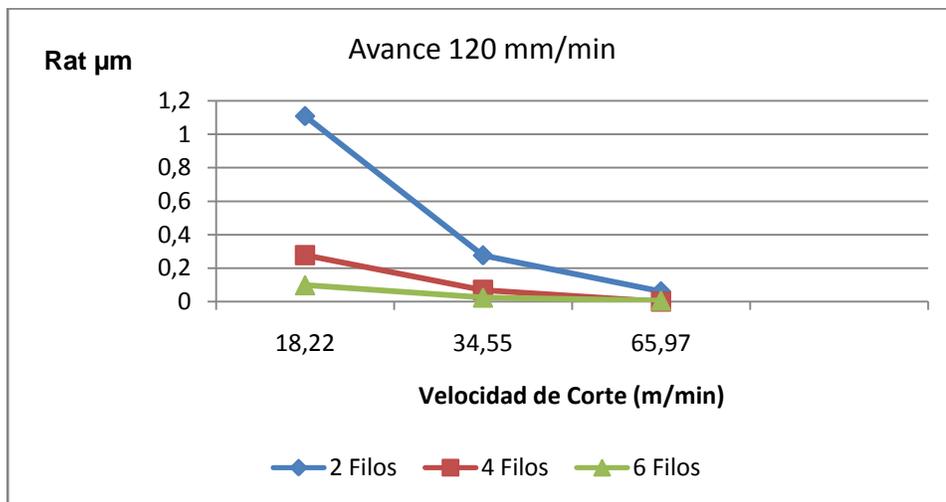
4.10 Resultado de los valores de la rugosidad real teórica en función de los parámetros geométricos y factores del material de trabajo.

En las tres gráficas que se presentan a continuación, la 4.12, 4.13 y 4.14, se puede observar el comportamiento teórico de la velocidad de corte vs rugosidad real teórica, además, puede observarse que al aumentar la velocidad de corte los valores de la rugosidad real teórica disminuyen notablemente. También es de hacer notar que, los filos de corte influyen en

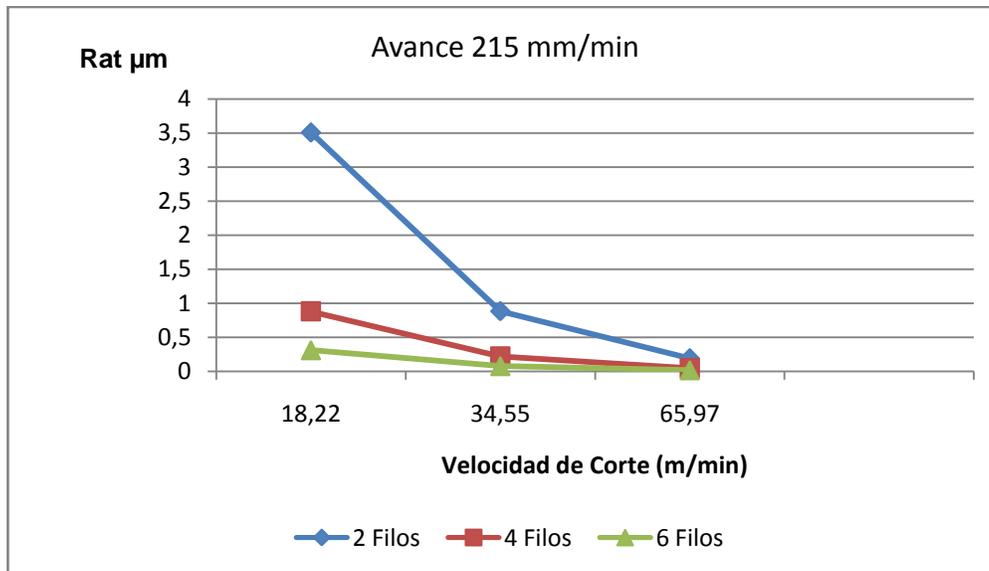
la rugosidad del material, ya que para 2 filos cortante los valores de rugosidad obtenidos fueron más altos que para los otros estudiados (4 filos, 6 filos), indicando de esta manera que a mayor número de filo la rugosidad real teórica mejora significativamente



Gráfica 4.12 Rugosidad teórica vs velocidad de corte con avance de 35 mm/min



Gráfica 4.13 Rugosidad teórica vs velocidad de corte con avance de 35 mm/min



Gráfica 4.14 Rugosidad teórica vs velocidad de corte con avance de 215 mm/min

4.11 Análisis de los parámetros sobre la rugosidad de las aleaciones de aluminio.

a. Velocidad de corte:

Los mejores resultados de mecanizado se obtuvieron con la velocidad de corte de 82,46 m/min. El patrón de la teoría de mecanizado indica que aumentando este parámetro de corte los valores de la rugosidad superficial disminuyen o se mantienen constante, también es de hacer notar que se obtienen buenos valores de rugosidad superficial, si se mantiene un avance pequeño y constante (35 mm/min) y se varia la velocidad de corte, pero, tomando en cuenta que valores muy altos de velocidad de corte genera

vibraciones en la máquina herramienta, lo cual puede producir un mal acabado superficial.

a. Avance:

Este parámetro de corte resulta muy importante, ya que a medida que se incrementa también crece el valor de la rugosidad, obteniéndose mejores resultados de rugosidad con pequeños niveles de avance, ya que la remoción de material se hace lenta en cuanto al movimiento de la fresa por cada diente, lo cual genera un buen acabado superficial; en cambio utilizar avances mayores aumenta el movimiento lineal de la fresa y aumenta la cantidad de material arrancado por diente originando un deficiente acabado superficial.

b. Profundidad de corte:

En términos generales se puede decir que para las profundidades de corte estudiadas, los valores de rugosidad varían muy poco para condiciones iguales, en consecuencia se puede decir que la profundidad de corte hasta valores de 1,0 mm no afecta en grandes rasgos en el acabado superficial

c. Filos de corte:

Una vez finalizado el análisis se observa que los filos de corte influyen en el acabado superficial, los mejores acabados se obtuvieron para 6 filos de corte donde los mejores valores de rugosidad oscilaban entre 0,3 a 0,7 μm en los tres tipos de aluminios estudiados. Indicando

de esta manera que a mayor número de dientes tiende a mejorar el acabado superficial en este tipo de aleaciones.

d. Material:

En términos generales las tres aleaciones mantuvieron similar comportamiento ya que en todos los casos se mantuvo el patrón de conducta de mecanizado de este tipo de aleaciones. En la aleación 6261 los mejores valores de rugosidad oscilaron entre 0,3 a 0,7 μm , para una velocidad de corte de 82,46 m/min y 6 filos de corte, de igual manera se comportó la 6061 donde los valores también oscilaron de 0,3 a 0,7 μm para una velocidad e corte de 82,46 m/min y 6 filos de corte y por último la aleación 6063 la cual obtuvo buenos valores de rugosidad para iguales condiciones de corte, los cuales oscilaron de 0,5 a 2,0 μm aproximadamente.

CONCLUSIONES

- Los mejores parámetros de mecanizado, donde los ensayos arrojaron excelentes valores de rugosidad fueron los siguientes: avance 35 mm/min, velocidad de corte 82,46 m/min, 6 filos de corte y profundidades de corte de 0,5 mm y 1,0 mm
- Se pudo observar que los parámetros de corte para fresado que se seleccionaron en los ensayos, cumplieron con el patrón teórico de mecanizado de este tipo de aleaciones, ya que al aumentar los valores de velocidad de corte, la rugosidad superficial disminuye notablemente.
- El número de filos de corte es un parámetro de mucha importancia a la hora de mecanizar estas aleaciones de aluminio, ya que a mayor número de filos los resultados de la rugosidad superficial son excelentes, debe ser porque en 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.
- Para el ensayo de la aleación de aluminio 6261 se obtuvieron muy buenos resultados de rugosidad, alrededor de $(0,30\mu\text{m})$, utilizando velocidad de corte de 82,46 m/min, velocidad de avance de baja 35

mm/min, herramienta con 6 filos cortantes, y profundidades de corte de 0,5 y 1,0 mm, de igual manera para un avance de 35 mm/min y variando la velocidad de corte en esta aleación los resultados de la rugosidad variaron muy poco.

- Con la aleación 6061 se demostró también que utilizando velocidad de corte alta 82,46 m/min, avance 35 mm/min, herramienta de 6 filos cortantes, las tres profundidades obtuvieron similar comportamiento rugosidades en el orden de 0,3 a 0,7 μm , similar comportamiento se obtuvo con un avance de 35 mm/min, herramienta de 6 filos de corte y las tres velocidades de corte, donde la rugosidad vario de 0,3 a 0,6 μm .
- La aleación 6063 fue un poco diferente ya que los mejores resultados de rugosidad obtenidos están en el orden de 0,5 y 2 μm para velocidades de corte constantes de 43,19 m/min y 82,46 m/min, con 6 filos de corte y variando el avance de 35 a 215 mm/min

RECOMENDACIONES

- Realizar el mismo experimento para fresado periférico y comparar con el fresado frontal.
- Determinar la relación del desgaste de la herramienta, el material y la rugosidad superficial para estas aleaciones de aluminio.
- Realizar un estudio similar utilizando mayor velocidad de corte y avance con la intención de extender el estudio.
- Realizar el estudio con herramientas de punta de diamante, metal duro como cerámica, carburos y para otros materiales de herramientas y determinar los parámetros que originan mejor acabado superficial.
- Realizar un estudio con el fin de determinar un modelo matemático que nos permita determinar la rugosidad superficial teórica, considerando todos los parámetros geométricos y las características propias de este tipo de aleaciones.

REFERENCIAS

- Groover, M. P. (1997). Fundamentos de Manufactura Moderna: materiales, procesos y sistemas. 1ra. Edición, España Hispanoamérica, S.A
- Pereira F. Juan Carlos. Procesos de fabricación por arranque de viruta. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de ingeniería mecánica
- Burghardt-Axelrod-Anderson,(1995). Manejos de las máquinas Herramientas, 4ta. Edición, New york, Mc Graw- Hill.
- Manuel Correa y otros. (2005) Factores que afectan el acabado superficial en los procesos de mecanizados: técnicas y análisis. [On Line] Disponible en: www.ceafac.es/actividades/jornadas/XXV/documentos/75-arlencicor.pdf
- Sebastián Pérez y otros. (2003). Estudio de los parámetros de acabado superficial en el mecanizado de la aleación de Al-Cu AA2024. Aplicación de UNE-EN ISO 4288 Y UNE-EN ISO 1302. [On Line]. Disponible: www.ingegraf.es/pdf/titulos/COMUNICACIONES%20ACEPTADAS/P10.pdf
- Dos santos Reinaldo. (2006). Influencia en los parámetros de corte y la geometría de la herramienta en la rugosidad superficial obtenida en el torneado en la aleación AA A356 T6. Universidad de Carabobo, Valencia.
- Alting, L. Procesos para Ingeniería de manufactura (1996) Alfaomega Grupo Editor. S.A de C.V. pág. 245 a 278
- Torres. C, problemario de mecanizado. Trabajo de ascenso. Nov. 2001. Pág. 49 a 75.

- Mitutoyo, Manual de operación "Medidor de acabado superficial-Rugosímetro 201, Pág. 17-40
- Mitutoyo, parámetros de medición de rugosidad. Rugosímetro 201, pág. 1 a 11
- Kibbe, Neely, Meyer y White. (1990). Manual de máquinas herramientas, México Limusa Noriega Ediciones.
- Brothroyd G. (1978). Fundamentos del corte de metales y de las máquinas herramientas. México, McGraw-Hill.
- Marks. Manual del Ingeniero mecánico. Pág. 13-81
- Donald R. A. (1987), La Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 1ra. Edición, México, Editorial Iberoamericana.
- Ricard R. K. John E. N. y otros. 1993, Manual de Máquinas Herramientas, Vol. 2, 1ra. Edición, Limusa, México
- Zeleny J.R y González G.C (1999) Metrología Dimensional, México, Mc Graw-Hill Interamericana.
- Torres C., (2002) Programación del seminario y normas para la elaboración del trabajo especial de grado escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad de Carabobo.

ANEXOS

A. DATOS DE ACABADO SUPERFICIAL DE LAS ALEACIONES

6063,6061,6261

B. RUGOSIDAD SUPERFICIAL

C. CERTIFICADO DE ALEACIONES

ANEXO A.4 DATOS DE RUGOSIDAD REAL TEORICA COMBINANDO PARAMETROS GEOMETRICOS Y FACTORES DEL MATERIAL DE TRABAJO

	AVANCE (mm/min)								
	35			120			215		
	NUMERO DE DIENTES								
	2	4	6	2	4	6	2	4	6
rpm (Rev./min)	RUGOSIDAD IDEAL (μm)								
290	0,045	0,011	0,004	0,528	0,132	0,047	1,670	0,419	0,149
550	0,013	0,003	0,002	0,147	0,037	0,013	0,471	0,117	0,042
1050	0,003	0,001	0,001	0,041	0,010	0,004	0,130	0,032	0,012
Vc (m/min)	RUGOSIDAD REAL TEÓRICA (μm)								
18.22	0,090	0,020	0,010	1,108	0,277	0,098	3,507	0,879	0,312
34.55	0,020	0,010	0,003	0,276	0,069	0,024	0,884	0,219	0,078
65.97	0,004	0,0015	0,001	0,061	0,015	0,006	0,192	0,047	0,017