

**ESTUDIO DE RUGOSIDAD EN MAQUINADO POR EL PROCESO DE
TORNEADO EN CLIMET LTDA. BASADO EN LAS NORMAS ISO DE
RUGOSIDAD**

**GUTIERREZ AVILA YESID RAFAEL
LOPEZ PLATA KEVIN FABIAN**



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
BARRANQUILLA, ATL. 2014**

**ESTUDIO DE RUGOSIDAD EN MAQUINADO POR EL PROCESO DE
TORNEADO EN CLIMET LTDA. BASADO EN LAS NORMAS ISO DE
RUGOSIDAD**

**GUTIERREZ AVILA YESID RAFAEL
LOPEZ PLATA KEVIN FABIAN**

**ASESOR DISCIPLINARIO:
ING. ANTONIO MANUEL SALTARIN JIMENEZ**

**ASESOR METODOLOGICA:
ING. GUSTAVO GUZMAN DE LOS REYES**



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
BARRANQUILLA, ATL. 2014**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Barranquilla, 20 de Febrero del 2014

Tabla de contenido

INTRODUCCION.....	1
Planteamiento del Problema	2
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos.....	4
JUSTIFICACION	5
MARCO DE REFERENCIAS.....	6
1. Antecedentes.....	6
2. Marco Teórico	8
2.1. Fundamentos del maquinado	8
2.2. Torneado.....	10
2.3. Tornos	11
2.4. Componentes del Torno	12
2.5. Herramientas de Corte.....	13
2.6. Materiales, Avance y Velocidad de Corte	14
2.7. Fuerza de Corte.....	15
2.8. Temperatura de Corte	16
2.9. Fluidos de Corte	18
2.10. Consideraciones de Diseño y Lineamientos para Operaciones	19
2.11. Medición de la Rugosidad	20
2.12. Clasificación de las Diferentes Formas de Rugosidad	22
2.13. Bases para la Medición de Rugosidad.....	23
2.14. Parámetros de Rugosidad	24
2.15. Rz Profundidad Media de la Rugosidad	24
2.16. Ra Valor Medio Aritmético de la Rugosidad	26
2.17. Comparación de las Magnitudes Ra y Rz	29
3. MARCO LEGAL	30
4. MARCO CONCEPTUAL.....	31
4.1. Rugosidad	31

4.2. Factores Geométricos	32
4.3. Factores de Material de Trabajo	32
4.4. Factores de la Vibración y la Máquina Herramienta.....	33
5. METODOLOGIA.....	36
5.1. Tipo de Investigación.....	36
5.2. Cronograma de Actividades	38
5.3. Población y Muestra.....	39
5.4. Fuentes y Técnicas.....	40
6. PRESUPUESTO	40
7. PROCEDIMIENTO	41
8. RESULTADOS Y DISCUSION	42
9. ANALISIS DE DATOS	55
10. CONCLUSIONES	58
11. RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS	63

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Cilindrado	8
Figura 2: Operaciones De Torneado.....	10
Figura 3: Vista de un torno común que muestra sus componentes.....	122
Figura 4: Designación de herramienta de corte derecho.....	13
Figura 5: Velocidades y avances de corte.....	14
Figura 6: Fuerzas de Corte	15
Figura 7: Clasificación de varios cortes de perfil	23
Figura 8: Perfil de Rugosidad de la curva P	24
Figura 9: Perfil de Rugosidad de la curva R.....	25
Figura 10: Simbología de la Rugosidad en el Torneado de Rz	25
Figura 11: Representación gráfica del parámetro Ra.....	26
Figura 12: Influencia de un valle en el parámetro Ra	27
Figura 13: Simbología de la Rugosidad en el Torneado de Ra	27
Figura 14: Dimensionamiento de las probetas de acero 1045	42
Figura 15: Maquinado de las probetas primera fase	43
Figura 16: Toma de las medidas de rugosidad	43
Figura 17: Histograma de Ra para las probetas maquinadas primera fase	44
Figura 18: Distribución normal de los datos Ra primera fase	45
Figura 19: Histograma de Rz para las probetas maquinadas primera fase	46
Figura 20: Distribución normal de los datos Rz primera fase	46
Figura 21: Distribución normal de Ra para las probetas 1, 2 y 3 segunda fase.....	48
Figura 22: Distribución normal de Rz para las probetas 1, 2 y 3 segunda fase	48
Figura 23: Distribución normal de Ra para la probeta 4 segunda fase	50
Figura 24: Distribución normal de Rz para la probeta 4 segunda fase	50
Figura 25: Distribución normal de Ra para la probeta 5 segunda fase	52
Figura 26: Distribución normal de Rz para la probeta 5 segunda fase	52
Figura 27: Distribución normal de Ra para la probeta 6 segunda fase	54
Figura 28: Distribución normal de Rz para la probeta 6 segunda fase	54

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Factores de las operaciones de maquinado	9
Tabla 2: Fluidos de corte para maquinado	18
Tabla 3: Rangos de los valores de rugosidad superficial	21
Tabla 4: Diferencias de forma de rugosidad.....	22
Tabla 5: Clase de la rugosidad según DIN/ISO 1302.....	28
Tabla 6: Comparación de los parámetros Ra y Rz.....	29
Tabla 7: Cronograma de actividades	38
Tabla 8: Presupuesto de la toma de datos del proyecto.....	40
Tabla 9: Parámetros utilizados para el maquinado por la empresa.....	42
Tabla 10: Índice de rugosidad Ra en μm del primer maquinado	44
Tabla 11: Valores estadísticos de los valores de Ra	44
Tabla 12: Índice de rugosidad Rz en μm del primer maquinado	45
Tabla 13: Datos estadísticos de los valores de Rz	440
Tabla 14: Parámetros utilizados para el maquinado de las probetas 1, 2 y 3.....	46
Tabla 15: Datos de la distribución Normal para las probetas 1, 2 y 3.....	47
Tabla 16: Datos estadísticos de las probetas 1, 2 y 3	47
Tabla 17: Parámetros utilizados para el maquinado de la probeta 4.....	49
Tabla 18: Datos de la distribución Normal para la probeta 4.....	49
Tabla 19: Datos estadísticos de la probeta 4	49
Tabla 20: Parámetros utilizados para el maquinado de la probeta 5.....	51
Tabla 21: Datos de la distribución Normal para la probeta 5.....	51
Tabla 22: Datos estadísticos de la probeta 5	51
Tabla 23: Parámetros utilizados para el maquinado de la probeta 6.....	53
Tabla 24: Datos de la distribución Normal para la probeta 6.....	53
Tabla 25: Datos estadísticos de la probeta 6	53
Tabla 26: Prueba de Hipótesis para las probetas 1 2 y 3.....	56
Tabla 27: Datos prueba de hipótesis.....	56

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los procesos de fabricación son una herramienta esencial dentro de la ingeniería, debido a que con estos se pueden desarrollar diferentes proyectos para realizar nuevas propuestas que ayuden a las industrias a mejorar las técnicas de trabajo.

Existen diversas técnicas de fabricación, entre las cuales se encuentra el mecanizado, que consiste en la remoción de material de una pieza de trabajo con el fin de obtener geometrías uniformes con pequeñas tolerancias y buenos acabados. Uno de los procesos de maquinados de mayor relevancia en la industria es el torneado, en donde se realizan geometrías cilíndricas como ejes roscas entre otras¹. Existen dos tipos de técnicas para desarrollar este procesos, que son de forma manual y automatizada, el primero consiste en un torno mecánico que es manipulado por un operario el cual define la tolerancia y acabado según su experiencia, mientras que el automatizado es por medio de una maquina CNC (Control numérico computacional).

El torneado manual tiene una gran desventaja con el CNC (Control numérico computacional), debido a que los procedimientos que emplea el operario no siempre son los más indicados por lo tanto puede tener tolerancias y acabados no deseados. Con este proyecto se quiere identificar en qué nivel se encuentra los parámetros antes mencionados de este proceso en la ciudad de barranquilla.

¹Boothroyd, G. y Knight, W.A., Fundamental of Metal Machining and Machine Tools, 2ª.Ed., Marcel Dekker, Inc., New York, 1989.

Planteamiento del Problema

Climet Ltda. es una empresa dedicada a la industria metalmecánica en la ciudad de Barranquilla, que realiza la tarea de maquinado por medio de tornos convencionales. El proceso de torneado es afectado por diversos factores que pueden conllevar a un mal acabado superficial². Estos índices se pueden medir por medio de la rugosidad que tienen sus maquinados en el acabado superficial final.

El proceso de corte del torneado genera fricción, y ésta a su vez genera calor, por lo que tiene que utilizarse un líquido lubricante enfriador para reducir el desgaste de la herramienta cortante, para elevar la calidad de la superficie maquinada y disminuir los gastos de energía. La selección del refrigerante para los trabajos de torneado, muchas veces no es el adecuado debido a que normalmente los operarios solo utilizan un tipo de refrigerante para todos los procesos realizados como lo es el agua con un porcentaje de aceite soluble (taladrina)³, lo cual causa problemas en el maquinado.

El acabado de una pieza torneada depende de muchas variables como lo son el tipo de máquina mecánica utilizada, las condiciones del estado de esta, la herramienta de corte (buril), la velocidad de avance y de giro con la que se realice el maquinado y capacidad que tenga el operario para realizar el trabajo. La buena combinación de estas variantes ayudaría a realizar un acabado superficial de mejor calidad.⁴

Por lo tanto la idea de este proyecto es tomar 6 muestras de Climet Ltda. Y realizar un análisis estadístico para comparar los niveles de calidad de los

² Mason, F. y Freeman, N.B., "Turning Centers Come of Age" Special report 773, American Machinist, Febrero de 1985 pp. 97-116

³ A.L. CASILLAS – Máquinas Cálculos de Taller – 1 ed. ©COPYRIGHT. Impreso en España.

⁴ HERMANN SCHULZE - Manual Práctico de torneado, 3 ed. EDITORIAL GUSTAVO GILI, S. A. Barcelona, Traducido por José María Mantero

acabados superficiales producidos por esta industria, con la finalidad de sugerir como se debe emplear las técnicas de trabajo con el fin de que ayude a mejorar los acabados superficiales de las piezas producidas en esta.

Pregunta Problema

¿Qué tan lejos se encuentra los acabados superficiales desarrollados en Climet Ltda. Por medio de torno convencional de los propuestos por las normas de rugosidad ISO?

¿Cuáles serían las condiciones necesarias que debe tener la operación de maquinado en torno convencional para alcanzar un buen acabado superficial por medio del índice de rugosidad?

OBJETIVOS

Objetivo General

Estudiar a través de un análisis estadístico el nivel de rugosidad en maquinado por el proceso de torneado en Climet Ltda con respecto a los indicados por las normas ISO sobre rugosidad.

Objetivos Específicos

- ✓ Identificar los procesos de torneado por cilindrado para definir las variables a manejar en el diseño de experimentos
- ✓ Realizar un análisis estadístico del acabado superficial de 6 muestras obtenidas en Climet Ltda. y 6 muestras obtenidas en el laboratorio de maquinado de la universidad autónoma del Caribe.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos por la medida de rugosidad en las probetas de la empresa con respecto a los resultados obtenidos en el laboratorio de la Universidad Autónoma del Caribe, basados en las normas ISO de rugosidad.
- ✓ Realizar propuestas de mejora para que los niveles de rugosidad de los acabados superficiales de las piezas de trabajo en la empresa estudiada sean cercanas a las normas ISO.

JUSTIFICACIÓN

Con este estudio se pretende desarrollar y dar a conocer información y conocimientos asociados al proceso de torneado de piezas metálicas utilizados en una empresas del sector industrial de la ciudad de Barranquilla, para que puedan así incrementar su nivel de capacidad y desempeño. Esto se puede generar por medio de la incorporación de parámetros adecuados y la verificación de los niveles de integridad superficial obtenidos en los componentes fabricados.

Este estudio se realizará para mejorar los acabados superficiales en Climet Ltda.de la ciudad de Barranquilla, con el fin de sugerir la implementación de nuevas combinaciones de los parámetros del proceso de torneado para obtener mejores acabados superficiales. Lo cual se corroborará por medio de los resultados obtenidos por las probetas sometidas a operaciones de cilindrado con diferentes combinaciones de parámetros de corte (velocidad de corte, avance y profundidad de corte.)

MARCO REFERENCIA

1. Antecedentes

- ✓ EVALUACION DE LA INTEGRIDAD SUPERFICIAL DEL ACERO AISI-12L14 PARA MAQUINARIA, SOMETIDO A PROCESOS DE MAQUINADO. POR JORGE ENRIQUE POSADA RAMIREZ. (Tesis sometida ante la facultad de Minas de la universidad Nacional de Colombia sede Medellín en parcial cumplimiento de los requisitos para grado magister en Ingeniería Área Materiales y Procesos 2009). Director del proyecto. JUAN MANUEL VELEZ RESTREPO (Ingeniero Mecánico MSC. PHD)

El objetivo que orienta la realización y presentación de este proyecto consiste en estudiar y profundizar en el conocimiento del comportamiento del acero AISI-12L14, acero de libre maquinado, frente a los procesos de transformación por arranque de viruta; sus características funcionales y de calidad, una vez se han obtenido piezas específicas que constituyen partes integrales de máquinas y equipos.

El acero AISI-12L14 es un acero de bajo contenido de carbono, aleado con elementos como el Azufre (S), Manganeso (Mn), Plomo (Pb) y Fósforo (P) que cumplen la función de mejorar su Maquinabilidad, lo que lo hace apto para ser utilizado en la producción de grandes volúmenes de piezas que requieren un acabado superficial fino, una resistencia mecánica relativamente baja, mediante procesos de maquinado en los cuales el costo constituye un parámetro determinante.

Se ha diseñado un proceso de torneado en el cual se pretenden establecer las características básicas que alcanzan las piezas, en su aspecto superficial, su rugosidad y topografía frente a las combinaciones moderadas de avance y velocidad de corte.

Finalmente se ha llegado a unas curvas de comportamiento, muy parciales por la magnitud del proceso de investigación, que están de acuerdo con las logradas por otros autores.

- ✓ INSPECCION DEL ACABADO SUPERFICIAL PARA PROCESOS DE RECTIFICADO Y FRESADO MEDIANTE UN ESPARCIMETRO DE LUZ LASE. POR J. ANTONIO ROPDRIGUEZ TIRADO (Tesis para obtención de grado de maestro en tecnología avanzada. Director de tesis Dr. Jorge Adalberto Huerta Ruelas – INSTITUTO TECNICO NACIONAL) esta tesis trata sobre la evaluación de la rugosidad en superficies de maquinado utilizando la medición de la intensidad de la luz láser esparcida mediante un arreglo de detectores, relacionándola con la medición de diferentes parámetros de rugosidad Ra obtenidos mediante un Rugosímetro convencional. La experimentación fue realizada sobre un patrón que contiene especímenes con diferente rugosidad y agrupadas en función de diferentes tipo de proceso de maquinado, y con muestras elaboradas con placa de acero inoxidable 304, en un taller típico y elaboradas bajo condiciones estándar.

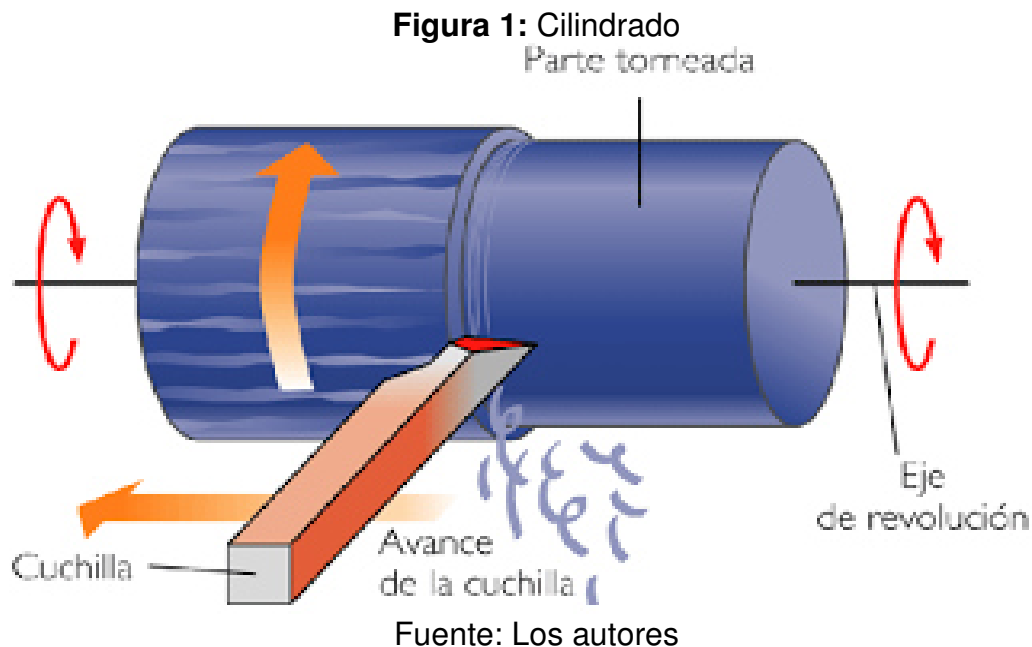
- ✓ TRANSFORMADA DE HOUGH PARA LA CARACTERIZACION DEL ACABADO SUPERFICIAL DE PIEZAS MAQUINADAS EN TORNO CNC POR ANGEL SALVADOR XEQUE MORALES (Tesis para obtener el grado de Maestro en ciencias en ingeniería electrónica con asesores de tesis Dr. Luis Alberto Morales Hernández y Dr. Alberto Jorge Rosales Silva – INSTITUTO TECNICO NACIONAL) En esta tesis se emplea la transforma estándar de Hough para segmentar y procesar las rectas del cavado superficial de piezas elaboradas con máquinas de control numérico computarizado (CNC), las cuales varían sus características dependiendo de las condiciones de la herramienta de corte, permitiendo determinar el cambio en el estado de la herramienta al cuantificar las variaciones en dichas rectas.

2. Marco Teórico

2.1 Fundamentos de Maquinado

Los procesos de corte retiran material de la superficie de una pieza de trabajo mediante la producción de virutas. Dentro de estos procesos de remoción de material tenemos los siguientes, Cilindrado, tronzado, fresado de careado, fresado frontal.

En el presente proyecto vamos a realizar el proceso de cilindrado por medio del torno mecánico, en el que se gira la pieza de trabajo y una herramienta de corte retira una capa de material al moverse hacia la izquierda. Dentro de este proceso la herramienta se ajusta a cierta profundidad de corte y se desplaza hacia la izquierda con determinada velocidad mientras la pieza de trabajo gira.⁵



⁵S. Kalpakjian – S. R. Schmid, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, 2008. PEARSON, Prentice Hall, Quinta Edición.

Veamos algunos Factores que influyen en las operaciones de maquinado:

Tabla 1: Factores que influyen en las operaciones de maquinado

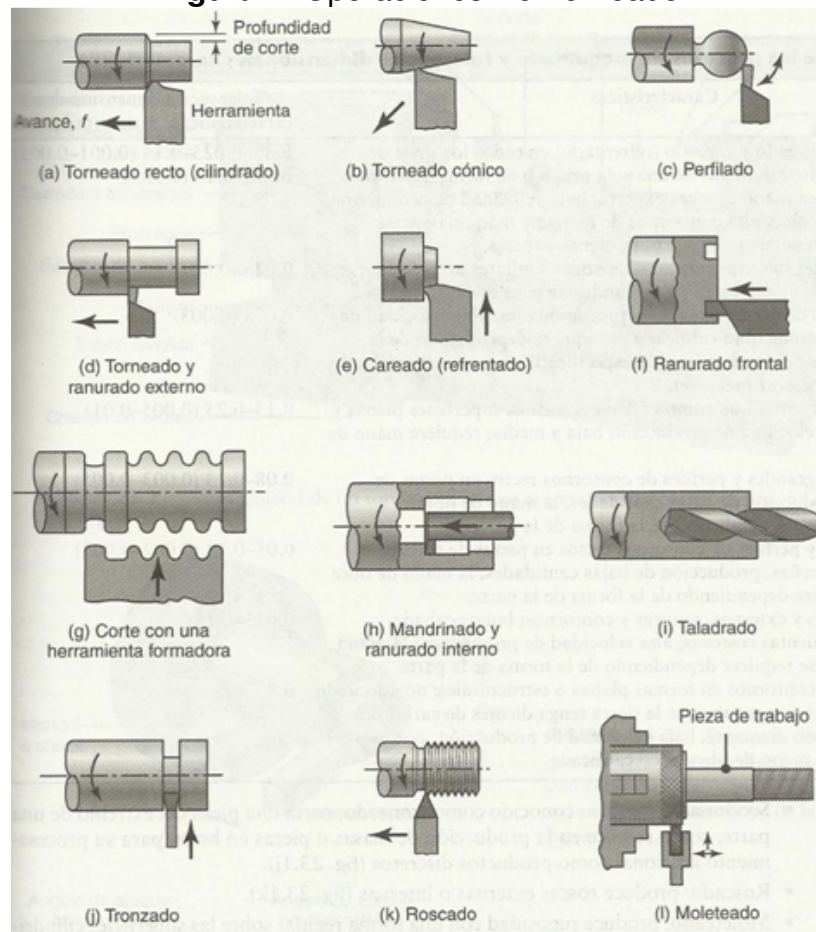
Parámetro	Influencia y Relación
Velocidad de corte, profundidad de corte, avance, fluidos de corte	Fuerzas, potencia, elevación de temperatura, vida útil de la herramienta, tipo de viruta, acabado e integridad superficial
Viruta Continua	Buen acabado superficial; fuerzas estables de corte; indeseables en particular en la maquinaria automatizada.
Viruta de borde acumulado o recrecido	Acabado e integridad superficial deficientes; si es delgado y estable, el borde acumulado puede proteger las superficies de las herramientas.
Viruta Discontinua	Deseable para facilitar la disposición de la viruta; fuerzas fluctuantes de corte; puede afectar el acabado superficial y provocar vibración o traqueteo.
Elevación de la temperatura	Influye en la vida útil de la herramienta, en particular en la caracterización y en la precisión dimensional de la pieza de trabajo; puede provocar daño térmico a la superficie
Desgaste de la herramienta	Influye en el acabado e integridad superficial, la precisión dimensional, la elevación de la temperatura, las fuerzas y la potencia.
Maquinabilidad	Relacionada con la vida útil de la herramienta, el acabado superficial, las fuerzas y la potencia y el tipo de viruta.

Id 2. Cap. 21. Pág. 610. Tabla. 21.1

2.2 Torneado

Uno de los procesos de maquinado más básicos es el torneado, en el cual la parte rota mientras se está maquinando. Por lo común, el material inicial es una pieza de trabajo que se ha fabricado mediante otros procesos, como fundición, forjado, extracción, estirado, metalurgia de polvo. A continuación los procesos que pueden realizar en el torno:⁶

Figura 2: Operaciones De Torneado



Id 2. Cap. 23. Pág. 675.

Podemos ver en la figura anterior que todas las partes son cilíndricas, propiedad a la que se conoce como simetría respecto de un eje. Las herramientas utilizadas, su forma y los parámetros de procesamiento.

⁶Id 2. Cap. 23. Pág. 675.

2.3 Tornos

Se considera que los tornos son las maquinas herramientas más antiguas. Aunque los tornos para trabajos en madera se desarrollaron originalmente durante el periodo 1001 a 1000 a.C., los tornos para trabajos en metales con tornillos reguladores no se construyeron sino hasta finales del siglo XVIII. El más común se conocía como torno mecánico, porque se accionaba mediante poleas aéreas y bandas desde los motores circundantes en el piso de la fábrica. En la actualidad, todos estos tornos están equipados con motores eléctricos individuales.

La velocidad máxima del husillo de los tornos es por lo regular de unos 4000rpm, pero en el caso de tornos grandes puede ser de solo 200rpm. En aplicaciones especiales, las velocidades pueden llegar hasta 10,000rpm, 40,000rpm o más, para maquinado de muy alta velocidad. El costo de los tornos va de alrededor de \$2000 dólares para los de tipo banco, hasta de unos \$100,000 dólares para unidades grandes.⁷

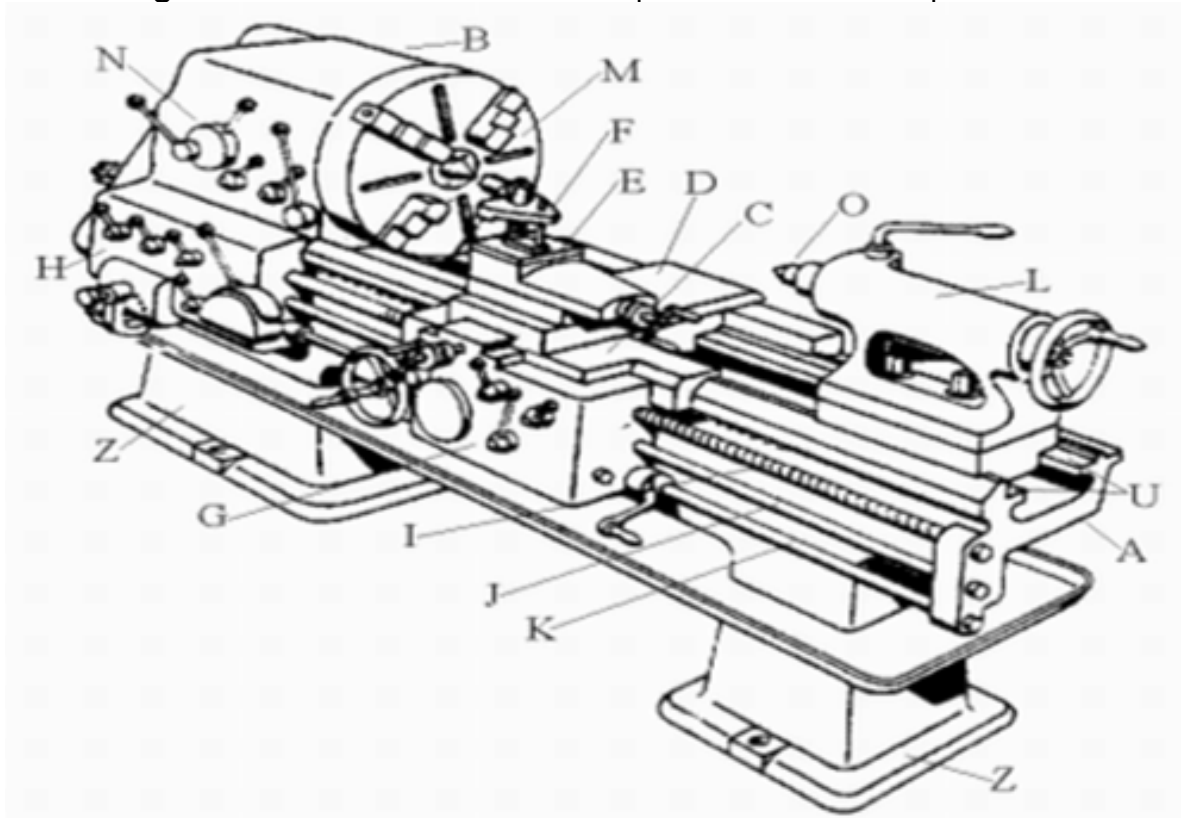
Un torno mecánico requiere un maquinista experto, porque todos los controles se manipulan en forma manual. Por lo tanto, es poco eficaz en operaciones repetitivas y líneas de producción grandes.

⁷Id 2. Cap. 23. Pág. 686.

2.4 Componentes de Torno

Los tornos están equipados con varios componentes y accesorios. Veamos en la siguiente figura.

Figura 3: Vista de un torno común que muestra sus componentes



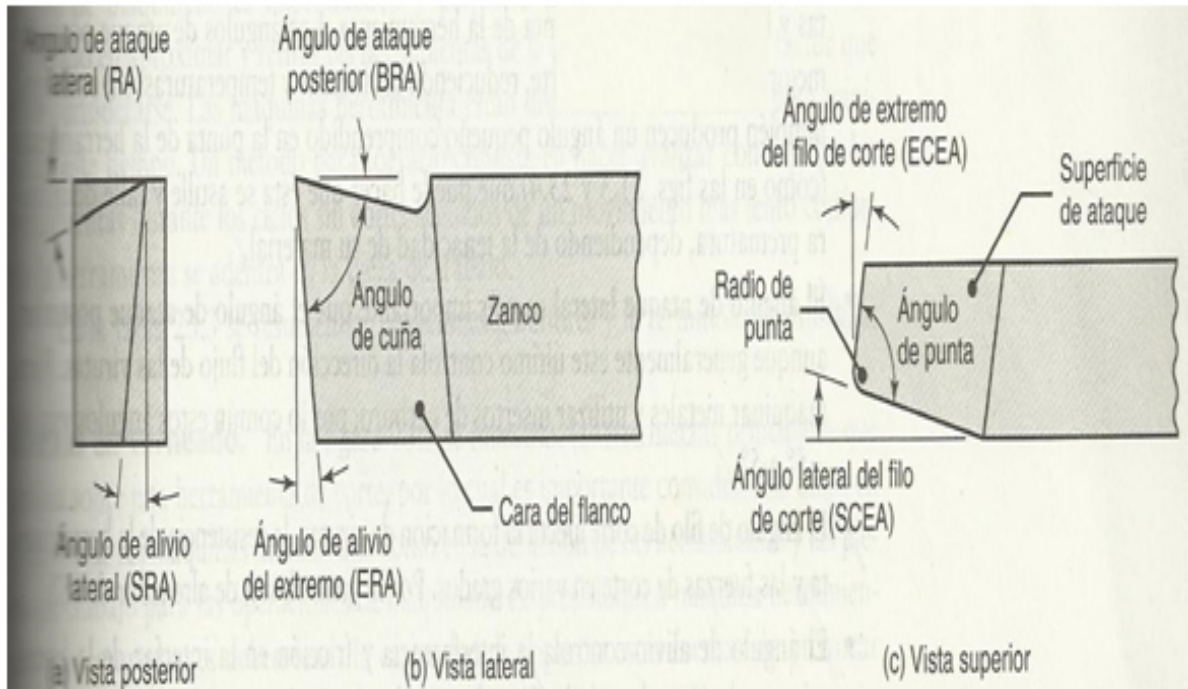
Fuente: Heidenreich and Harbeck

A= La bancada, B= Cabezal fijo, C= Carro principal de bancada, D= Carro de desplazamiento transversal, E= Carro superior porta herramienta, F= Porta herramienta, G= Caja de movimiento transversal, H= Mecanismo de avance, I= Tornillo de roscar o patrón, J= Barra de cilindrar, K= Barra de avance, L= Cabezal móvil, M= Plato de mordaza (usillo), N= Palancas de comando del movimiento de rotación, O= Contrapunta, U= Guía y Z= Patas de apoyo.

2.5 Herramienta de Corte

Los diversos ángulos en una herramienta de un solo punto de corte tienen funciones importantes en las operaciones de maquinado. Se miden en un sistema de coordenadas que consta de los tres ejes principales del zanco de la herramienta. Como se ve en la figura.⁸

Figura 4: Designación de herramienta de corte derecho.



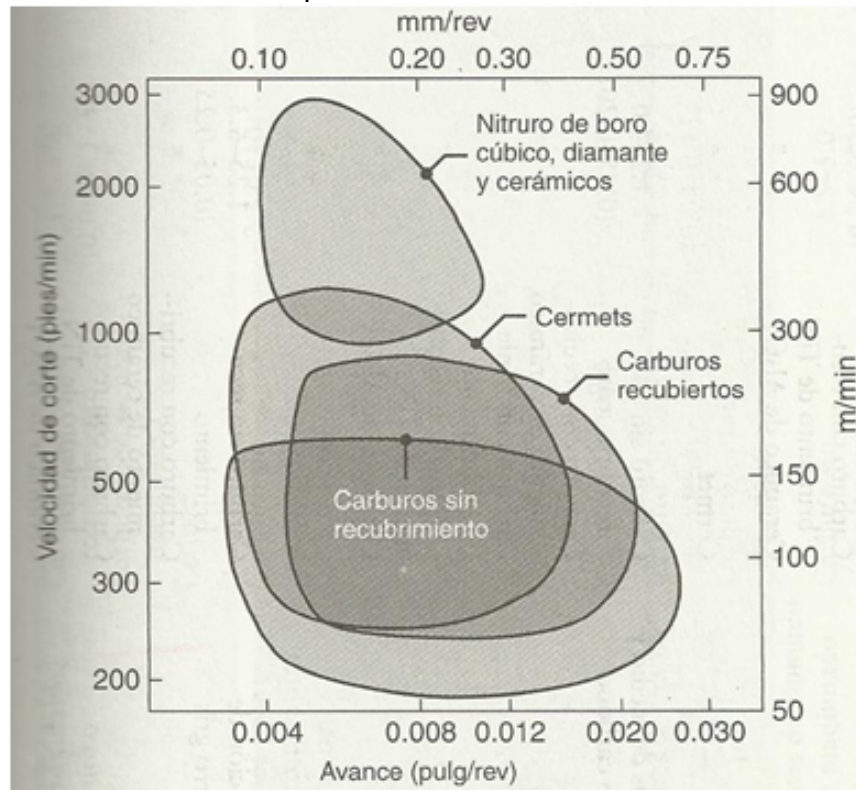
Fuente: S. Kalpakjian – S. R. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, 2008. PEARSON, Prentice Hall, Quinta Edición. Cap.23.Pág.680

⁸ Byers, J., *Advanced Machining Technology Handbook*, Mc-Graw-Hill, 1998.

2.6 Materiales, Avances y Velocidades de Corte

En la figura 5 se proporciona una amplia variedad de velocidades de corte y avance aplicables a dichos materiales, como guía general de las operaciones de torneado.

Figura 5: Velocidades y avances de corte aplicables a una variedad de materiales para herramientas.

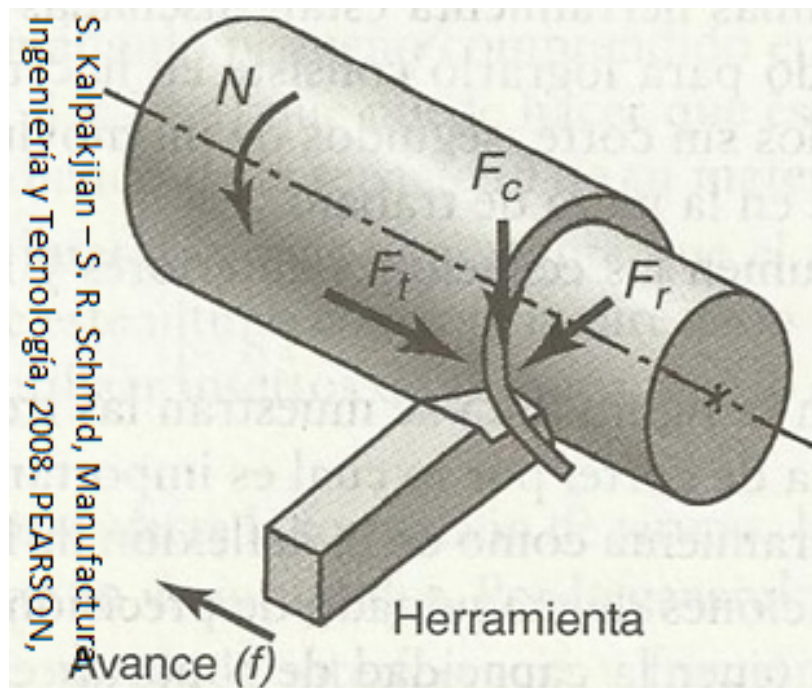


Fuente: S. Kalpakjian – S. R. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, 2008. PEARSON, Prentice Hall, Quinta Edición.

2.7 Fuerza de Corte

En la figura 6, se muestran las tres fuerzas principales que actúan sobre una herramienta de corte, por lo cual es importante considerarlas tanto en el diseño de las maquinas herramientas como en la deflexión de la herramientas y las piezas de trabajo para las operaciones de maquinado de precisión. La máquina herramienta y sus componentes deben tener la capacidad de soportar estas fuerzas sin provocar deflexiones, vibraciones ni traqueteos significativos en toda la operación.⁹

Figura 6: Fuerzas que actúan sobre la herramienta de corte en el torneado



Fuente: S. Kalpakjian – S. R. Schmid, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, 2008. PEARSON, Prentice Hall, Quinta Edición.

⁹2007 John Wiley & Sons, Inc. MP Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing 3 Ed.

2.8 Temperatura de Corte

Casi toda la energía que se consume en el maquinado (aproximadamente el 98%) es convertida en calor. Este calor puede hacer que las temperaturas sean muy altas en la interface herramienta-viruta; las temperaturas de más de 1000 °F (540°C) no son inusuales. La energía restante (cerca del 2%) se detiene como energía elástica en la viruta.¹⁰

Como en todos los procesos de trabajo de los metales en los que se involucra la deformación plástica, la energía disipada en el corte se convierte calor, que a su vez eleva la temperatura en la zona de corte. La elevación de la temperatura es un factor muy importante en el maquinado por sus principales efectos adversos:

- ✓ La temperatura excesiva reduce la resistencia, la dureza, la rigidez y la resistencia al desgaste de la herramienta; las herramientas también se pueden reblandecer y sufrir deformación plástica, alterando de esta manera su forma.
- ✓ El aumento de calor provoca cambios dimensionales desequilibrados en la parte que se está, maquinando, lo que dificulta el control de su precisión dimensional y de sus tolerancias.
- ✓ La elevación excesiva de temperatura puede ocasionar daños térmicos y cambios metalúrgicos en la superficie maquinada, afectando de manera adversa sus propiedades.

¹⁰ L. HECKER, G. M. FLORES, DIEGO VICENTE. Sistema para el monitoreo de fuerzas y temperatura en torneado. Argentina – U. N. de la Pampa. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. Vol. 16, 2012

Las operaciones de maquinado se realizan usando herramientas de corte. Las altas fuerzas y temperaturas durante el maquinado crean un ambiente muy agresivo para la herramienta. Las fuerzas de corte demasiado grande fracturan la herramienta. Si la temperatura de corte se eleva demasiado, el material de la herramienta se ablanda y falla. La tecnología de las herramientas de corte tiene dos aspectos principales: 1) el material de la herramienta y 2) la geometría de la herramienta. La primera se refiere al desarrollo de materiales que puedan soportar las fuerzas, las temperaturas y la acción de desgaste en el proceso de maquinado. La segunda se ocupa de optimizar la geometría de la herramienta de corte para el material de la herramienta para una operación dada.¹¹

¹¹Mikell P. Groover, Fundamentos de Manufactura Moderna, 1987, PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Primera Edición, Cap. 3, Pág. 562

2.9 Fluidos de Corte

Muchos materiales metálicos y no metálicos se pueden maquinar sin fluidos de corte, pero en la mayoría de los casos la aplicación de un fluido mejora la operación de manera significativa. En la tabla (tabla 23.5) se dan recomendaciones generales sobre fluidos de corte apropiados para diversos materiales de piezas de trabajo.¹²

Tabla 2: Fluidos de corte para el maquinado. Nota, CSN=químicos y sintéticos; D= seco; E= emulsión; EP= presión extrema; FO=aceite grasoso; MO= aceite mineral

Recomendaciones generales de fluidos corte para maquinado	
MATERIAL	TIPOS DE FLUIDOS
Aluminio	D, MO, E, MO+FO, CSN
Berilio	MC, E, CSN
Cobre	D, E, CSN, MO+FO
Magnesio	D, MO, MO+FO
Níquel	MC, E, CSN
Metales refractarios	MC, E, EP
Aceros	
al Carbono y baja	D, MO, E, CSN, EP
aleación inoxidable	D, MO, E, CSN
Titanio	CSN, EP, MO
Zinc	C, MC, E, CSN
Zirconio	D, E, CSN

Fuente: Nachtman, E. S. y Kalpakjian, S., Lubricants and Lubrication in Metalworking Operations, Marcel Dekker, 1985

¹²Nachtman, E. S. y Kalpakjian, S., Lubricants and Lubrication in Metalworking Operations, Marcel Dekker, 1985

2.10 Consideraciones de Diseño y Lineamientos Para Operaciones

Es importante considerar diversos factores cuando se diseñen partes a maquinar de manera económica mediante operaciones de torneado. Como el maquinado en general (a) requiere tiempo considerable, lo que incrementa el costo de la producción; (b) desperdicia material, y (c) no es tan económico como el formado o moldeado de partes, debe evitarse hasta donde sea posible. Cuando sean necesarias las operaciones de torneado, deben seguirse los siguientes lineamientos generales de diseño:¹³

1. Las partes se deben diseñar de modo que puedan fijarse y sujetarse con facilidad en los dispositivos de sujeción de trabajo. Es difícil soportar de manera apropiada las piezas de trabajo delgadas y esbeltas para que puedan tolerar las fuerzas de sujeción y de corte.
2. La precisión dimensional y el acabado superficial especificados deben ser tan amplios como se permita para que la parte siga funcionando adecuadamente.
3. Se deben evitar esquinas filosas, conicidades, escalones y variaciones dimensionales importantes en la parte.
4. Las piezas en bruto a maquinar se deben aproximar tanto como sea posible, de modo que se reduzca el tiempo de producción.
5. Las partes se deben diseñar de manera que las herramientas de corte puedan avanzar a través de la pieza de trabajo sin obstrucciones.
6. Las características de diseño se deben facilitar el uso de herramientas estándar de corte, insertos y portaherramientas, disponibles comercialmente.
7. Los materiales de la pieza de trabajo deben seleccionarse en función de su Maquinabilidad hasta donde sea posible.

¹³S. Kalpakjian – S. R. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, 2008. PEARSON, Prentice Hall, Quinta Edición.

2.11 Medición de la Rugosidad

Aunque durante mucho tiempo la medición de rugosidad no fue considerada como una rama de la metrología, en la actualidad es un requerimiento importante debido al reconocimiento creciente de la importancia y necesidad de ésta medición.

Una superficie perfecta es una abstracción ya que cualquier superficie real por perfecta que parezca presentara irregularidades que se originan durante el proceso de fabricación. Las irregularidades mayores (macrogeométricas) son errores de forma asociados con la variación en tamaño de una pieza, paralelismo entre superficies y planitud de una superficie o conicidad, redondez y cilindridad, y que pueden medirse con instrumentos convencionales.

Las irregularidades menores (microgeométricas) son la ondulación y la rugosidad. La primera pueden ocasionarla la flexión de la pieza durante el maquinado; falta de homogeneidad del material, liberación de esfuerzos residuales, deformaciones por tratamiento térmico, vibraciones, etcétera; la segunda la provoca el elemento utilizado para realizar el maquinado, por ejemplo: la herramienta de corte o la piedra de rectificado.

Los errores superficiales mencionados se presentan simultáneamente sobre una superficie, lo que dificulta la medición individual de cada uno de ellos.¹⁴

No es posible fabricar una superficie absolutamente plana. En realidad tiene una estructura de valles y montañas llamado rugosidad. La diferencia de la superficie real en comparación con la superficie teórica es la diferencia de forma (o estructura).

La rugosidad de una superficie maquinada tiene bastante influencia sobre:

- ✓ El desgaste en la pieza
- ✓ Características de fricción y deslizamientos
- ✓ Capacidad de adherencia al aceite
- ✓ Resistencia a la corrosión
- ✓ Características de ajustes

¹⁴ González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995. CAP. 17 P. 427

Tabla 3: Rangos típicos de los valores de rugosidad superficial que pueden obtenerse mediante métodos de fabricación.

Rugosidad promedio en micrómetros – Ra μm														
Proceso	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.80	0.40	0.20	0.10	0.05	0.025	0.012	
Arenado	■	■	■											
Aserrado	■	■	■	■	■	■								
Brochado				■	■	■	■	■						
Bruñido							■	■	■					
Cepillado		■	■	■	■	■								
Cizallado	■	■	■	■										
Corte con soplete	■													
Corte electroquímico		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Corte láser		■	■	■	■	■	■	■						
Electroerosión				■	■	■	■	■						
Estampado		■	■	■	■									
Esmerilado						■	■	■	■	■	■	■		
Extrusión						■	■	■						
Forjado		■	■	■	■	■	■	■						
Fresado		■	■	■	■	■	■	■						
Fundición a cera perdida				■	■	■	■	■						
Fundición a presión					■	■	■	■						
Fundición en arena		■	■	■	■									
Fundición en coquilla				■	■	■								
Granallado					■	■	■	■	■	■	■			
Laminado en caliente	■	■	■											
Laminado en frío				■	■	■	■	■						
Lapidado							■	■	■	■	■	■	■	
Limado				■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Mandrilado		■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Mortajado				■	■	■	■	■						
Oxicorte	■	■	■											
Pulido							■	■	■	■	■	■	■	
Recalado			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Rectificado				■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Superacabado							■	■	■	■	■	■	■	
Taladrado		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Torneado		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Trefilado				■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Aplicación frecuente										Aplicación menos frecuente			






Fuente: Apéndice B de la norma ANSI/ASME B46.1-1985

2.12 Clasificación de las Diferentes de Formas de rugosidad

Para la producción de una pieza es importante tomar en cuenta las siguientes diferencias:

Tolerancia de la medida, tolerancia de forma, ondulación y rugosidad.

Tabla 4: Diferencias de forma de rugosidad

Diferencia de forma		Tipo de diferencia	Normas
1° Clase: Diferencia de forma 		Rectitud, Planitud, Forma cilíndrica, forma de línea o superficie	DIN ISO 1101
2° Clase: Ondulación 		Ondulación	DIN 4774
3° Clase 	R u g o s i d a d	Rugosidad (ranuras)	DIN 4771 DIN 4762
4° Clase 		Rugosidad (estrías)	DIN 4768
5° Clase: grafica no posible		Estructura Cristalina	DIN 4776
6° Clase: grafica no posible		Construcción de los cristales	
		Superposición de las diferencias de forma de la clase 1 hasta la 4	

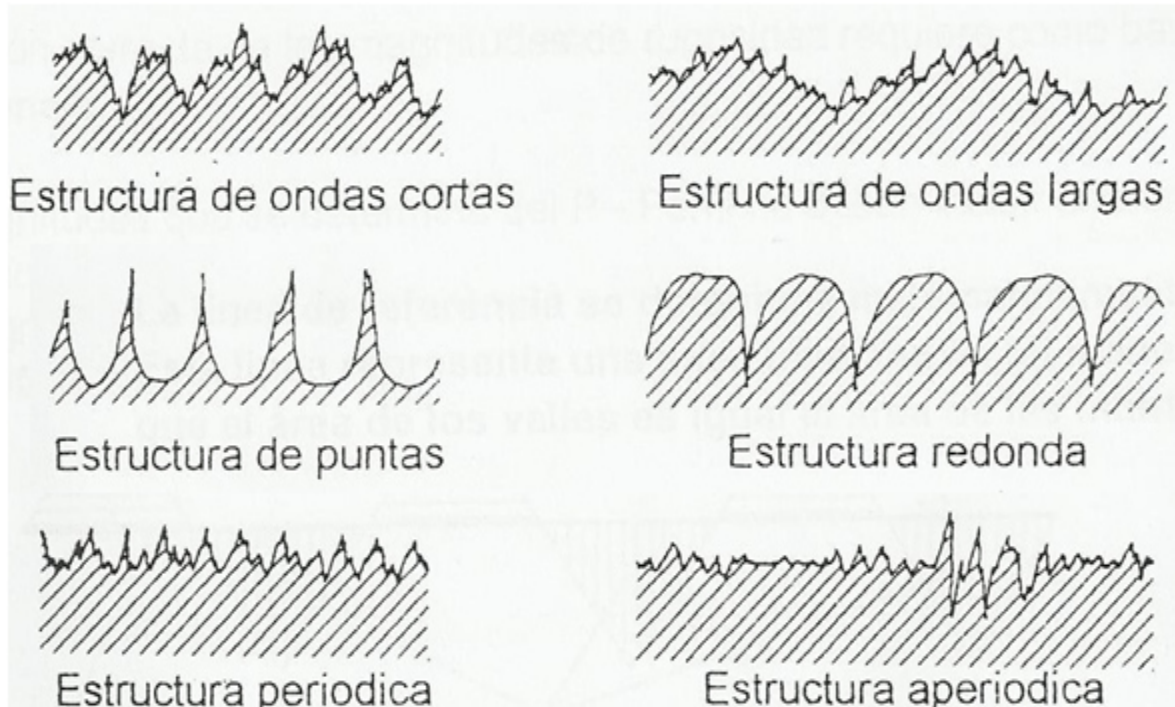
Fuente: González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995.

2.13 Bases para la Medición de la rugosidad

Corte de perfil: la mayoría de los valores de rugosidad se ha definido según un corte bidimensional de la superficie. De este corte bidimensional se puede calcular los valores de rugosidad.

Según su estructura se clasifican los perfiles en la siguiente manera:

Figura 7: Clasificación de varios cortes de perfil



Fuente: González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad.
En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995

Tramo de medición y tramo de palpado

Según DIN 4768 se ha definido los siguientes tramos al medir la rugosidad:

$$l_t = \text{tramo de palpado}$$

$$l_m = \text{tramo de medición (total)}$$

$$l_e = \text{tramo de medición parcial } (l_e = 1/5 \cdot l_m)$$

$$l_v = \text{tramo (recorrido) anterior}$$

$$l_n = \text{tramo (recorrido) ulterior}$$

$$\text{Tramo palpado} = \text{Tramo anterior} + \text{Tramo de medición} + \text{Tramo ulterior}$$

$$l_t = l_v + l_m + l_n$$

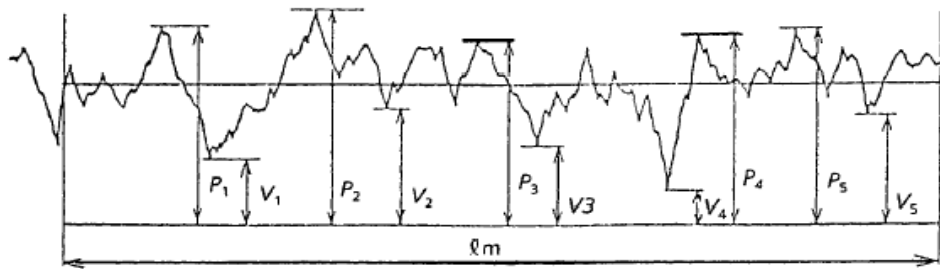
2.14 Parámetros de Rugosidad

En general los parámetros utilizados para cuantificar la rugosidad pueden interpretarse como parámetros propios de la distribución estadística de alturas del perfil o superficie bajo análisis.

2.15 R_z Profundidad Media de la Rugosidad

El promedio de las alturas de pico a valle se denomina R_z , y las normas JIS/ISO lo definen, con base en la curva P, como la diferencia entre el promedio de las alturas de los cinco picos más altos y la altura promedio de los cinco valles más profundos. Los picos y valles se miden en la dirección de la amplificación vertical, dentro de la longitud de evaluación (l_m), desde una línea paralela a la línea media y que no intersecta al perfil.¹⁵

Figura 8: Perfil de Rugosidad de la curva P



Fuente: González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995. CAP. 17 P. 436

Se aplican las siguientes definiciones.

Perfil de picos: proyección de una porción de perfil conectando dos puntos adyacentes de la intersección del perfil con la línea media.

Pico más alto: pico más alto de un perfil de picos.

Perfil de valles: porción descendente del perfil conectando dos puntos adyacentes de la intersección del perfil con la línea media.

Valle más profundo: punto más profundo de un perfil de valles.

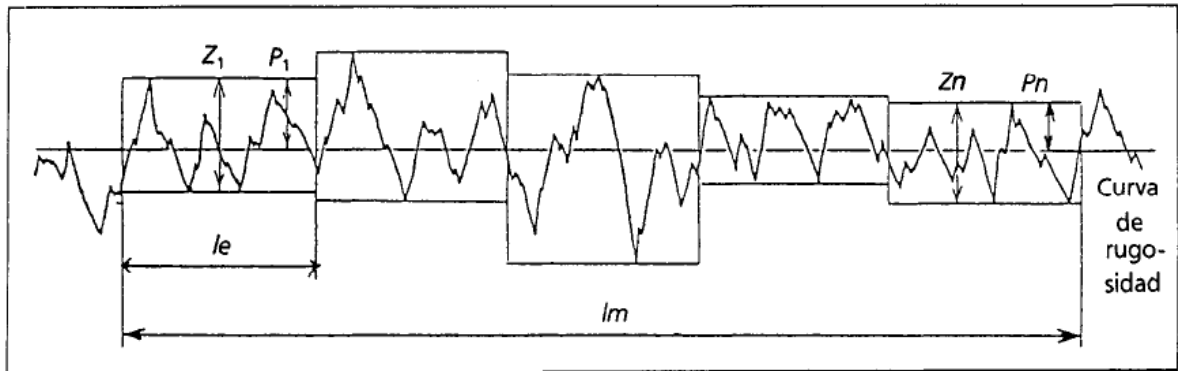
$$R_z (JIS \cdot ISO) = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5) - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5)}{5}$$

¹⁵ González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995. CAP. 17 P. 436

R_z Según DIN 4768/1

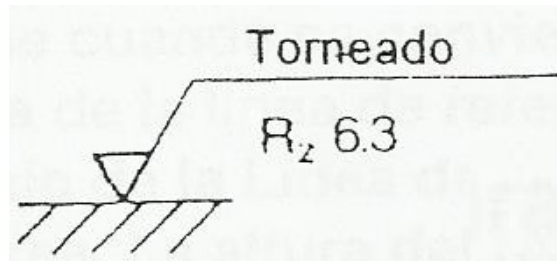
R_z Es promedio (valor medio aritmético) de las cinco profundidades parciales $Z_1 \dots Z_5$ que forman el tramo de medición l_m .

Figura 9:Perfil de Rugosidad de la curva R



Fuente:González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995. CAP. 17 P. 437

Figura 10:Simbología de la rugosidad en el torneado de R_z



Fuente:González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995. CAP. 17 P. 437

Según normas ISO se escribe $R_z = 6.3$ (en Alemania se usa $R_z 6,3$)

Cuando se usa el valor de R_z ?

R_z Es el valor más usado en la práctica. R_z Se usa siempre cuando desviaciones el perfil no tienen gran influencia sobre la función de la superficie (de la pieza).

Las definiciones de R_z y $R_z - ISO$ son diferentes, pero los valores obtenidos por la medición tienen una diferencia máxima hasta el 10%.

La mayoría de países trabaja con R_z según DIN 4768/1.

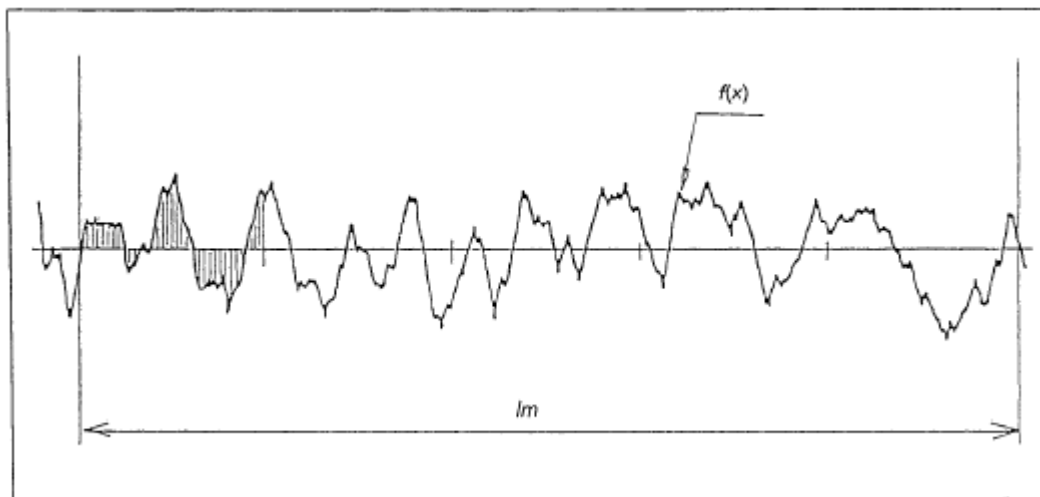
2.16 R_a Valor Medio Aritmético de la Rugosidad

Dentro de la longitud de evaluación (l_m), la media aritmética de los valores absolutos de los alejamientos del perfil desde la línea central se representa mediante la fórmula:

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |f(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f(x_i)|$$

Donde el perfil es definido como $Z = f(x)$ con el eje x para la línea media y el eje Z en la dirección de la amplificación vertical.

Figura 11: Representación gráfica del parámetro R_a



Fuente: González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995. CAP. 17 P. 434

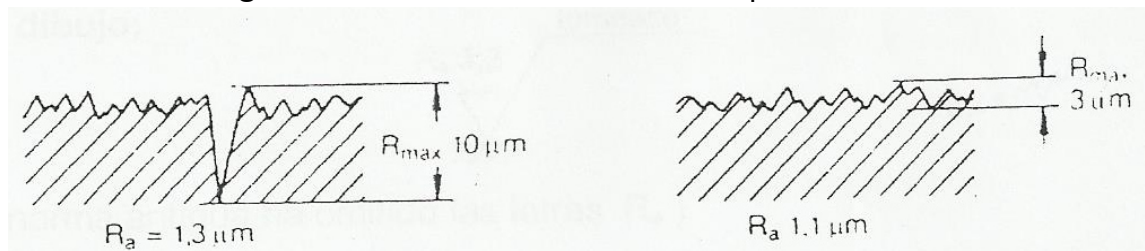
La definición de R_a equivale, en términos prácticos, a la altura de un rectángulo de la longitud l_m cuya área es igual, dentro de la longitud de evaluación, a la suma de las áreas delimitadas por el perfil de rugosidad y la línea central.

El valor de R_a es solamente un valor teórico y prácticamente difícil de interpretar. Sin embargo se usa este valor con frecuencia en Alemania, USA, Inglaterra, Suiza y otros y otros países de potente industria.

R_a Es una medida puramente vertical y no da ninguna información sobre la forma real del perfil de la superficie.

Problemas con el valor de R_a :

Figura 12: Influencia de un valle en el parámetro R_a



Fuente: González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995. CAP. 17 P. 435

El valor de R_a casi es igual para las dos superficies. La desviación en el perfil izquierda no tiene mucha influencia sobre el resultado.

Cuando se usa R_a ?

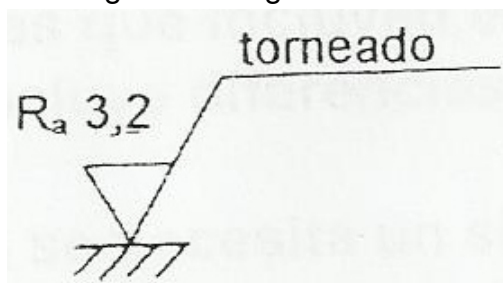
R_a Se usa para comparar la rugosidad de superficies fabricadas por el mismo proceso de desprendimiento de virutas.

El mismo proceso determina: proceso igual (p. E. torneado), cuchillos, iguales, velocidad de corte y avance igual, material de la pieza igual.

R_a Es muy usado para superficies torneadas u otras superficies de perfil periódico.

Símbolo en el dibujo:

Figura 13: Simbología de la rugosidad en el Torneado de R_a



Fuente: González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995. CAP. 17 P. 437

En algunos países se usa en lugar de R_a el nombre **CLA** (Center Line Average) o en USA **AA** (Arithmetical Average) y la unidad de medida es μin (Micro-inches). Pero las definiciones de R_a - CLA – AA son idénticas.

En lugar de R_a se usa también según DIN/ISO 1302 la clase de rugosidad indicado por la letra N en el mismo lugar en el símbolo R_a .

Tabla 5: Clase de la rugosidad según DIN/ISO 1302

Clase de la Rugosidad según DIN/ISO 1302		
Clase de la Rugosidad	Valor medio aritmético R_a	
	μm	μin
1	0,025	1
2	0,05	2
3	0,1	4
4	0,2	8
5	0,4	16
6	0,8	32
7	1,6	63
8	3,2	125
9	6,8	250
10	12,5	500
11	25	1000
12	50	2000

Fuente: González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995. CAP. 17 P. 442

2.17 Comparación de las magnitudes R_a y R_z

Las magnitudes R_a y R_z son los valores más usados de todas las magnitudes de rugosidad.

Tabla 6: Comparación de los parámetros R_a y R_z

Características	R_a	R_z
Uso geográfico	En todo el mundo	Solamente en Europa
Aparato de Medición	Simple	más complicado
Dispersión de Valores medidos	Pequeña	más grande
Determinación de la gráfica perfil	No posible	No posible
Informaciones sobre el perfil	Prácticamente no	Bueno
Capacidad de contener desviaciones	mala	Parcialmente apropiado
Medición Óptica	No posible	Aproximadamente posible
Medición de superficies < 0,5mm	No posible	posible

Fuente: Norma DIN 4768

Las dos magnitudes tienen ventajas y desventajas en su aprovechamiento:

R_a Se queda relativamente constante si se hace varias mediciones en diferentes lugares de la superficie controlada.

R_z Se varía mucho más si se hace las mediciones en diferentes lugares de la superficie porque desviaciones influyen más el resultado.

R_z Es más ventajoso para el aprovechamiento general en la producción.

- ✓ R_z Es más fácil de interpretar
- ✓ R_z nos da informaciones sobre el promedio de diferencias verticales del perfil
- ✓ R_z un valor de rugosidad se debería determinar también de la gráfica; este punto es importante si se debe trabajar según condiciones no normalizadas (no según DIN 4768) por ejemplo en superficies muy pequeñas.

3. MARCO LEGAL

La rugosidad de una superficie es una característica mensurable, con base en las desviaciones de la rugosidad según se definió antes. El acabado de la superficie es un término más subjetivo que denota la suavidad y calidad general de una superficie. En el habla popular, es frecuente utilizar el acabado superficial o de la superficie como sinónimo de su rugosidad.

La calidad de la rugosidad superficial se maneja por las siguientes normas:

- ✓ UNE 82301:1986 *Rugosidad superficial. Parámetros, sus valores y las reglas generales para la determinación de las especificaciones (ISO 468: 1982),*
- ✓ UNE-EN ISO 4287:1998 Especificación geométrica de productos (GPS). Calidad superficial: Método del perfil. Términos, definiciones y parámetros del estado superficial (ISO 4287:1997), y
- ✓ UNE 1037:1983. *Indicaciones de los estados superficiales en los dibujos (ISO 1302: 1978)*

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 Rugosidad

Es un parámetro muy importante en el acabado superficial de una pieza maquinada por torneado, ya que al momento de calificar el acabado de una pieza se mide si está bien o no el acabado es por este parámetro. La rugosidad se expresa mediante una serie de parámetros numéricos dimensionales, que permiten evaluar el acabado final de la pieza, Jorge Posada.¹⁶

La rugosidad de una superficie maquinada depende de factores como factores geométricos, factores de material de trabajo y factores de vibración y de la máquina herramienta, MikellGroover.¹⁷

La calidad de las superficies logradas mediante procesos de maquinado, ha sido objeto de estudio por muchos investigadores, entre ellos se puede referenciar el trabajo de Fiel y Kahles 1971¹⁸ quienes introdujeron el término “Integridad Superficial” para describir la condición de la capa superficial de un material.

Se podría entender la Integridad Superficial (IS), como un estado característico de las superficies, en el cual tienen vigencia elementos que determinan la apariencia, funcionalidad y vida útil de un componente fabricado.

Los factores señalados para tal caracterización presentan diferentes aspectos tales como:

¹⁶Jorge Posada, Tesis: Evaluación Integral Superficial para el Maquinado de un acero.

¹⁷MikellGroover, Fundamentos de Manufacturas moderna, Materiales, procesos y sistemas. 3era Edition.

¹⁸Field M, Kahles JF. Review of surface integrity of machined components. Ann CIRP1971; 20:107–8.

- Visuales: decoloraciones, quemaduras, grietas, oxidación y corrosión, elementos de presentación estética.
- Dimensionales: el acabado superficial, perfil geométrico, tolerancias y ajustes dimensionales, tolerancias y ajustes geométricos, textura superficial, rugosidad, ondulación, deformaciones, torceduras y dobleces, arrugas y plegamientos.
- Los relacionados con esfuerzos residuales de tensión y compresión, magnitud, dirección, perfil de esfuerzos, gradientes y flujos de esfuerzos.
- Los relacionados con mecanismos de desgaste como la dureza, abrasión, adhesión, erosión, arado.
- Los relacionados con las características metalúrgicas como la micro estructura, las transformaciones de fase.
- Los relacionados con otras propiedades del material: químicas, eléctricas, magnéticas, ópticas.

4.2 Factores Geométricos

Determina la geometría de la superficie en una parte maquinada. Estos incluyen el tipo de operación de maquinado, la geometría de la herramienta de corte y el avance. La característica de la superficie que resulta de estos factores en la rugosidad superficial ideal o teórica que se obtendría en la ausencia de los factores de material de trabajo, de la vibración, y de la máquina herramienta.¹⁹

4.3 Factores de Material de Trabajo

No es posible alcanzar el acabado ideal de la superficie en la mayoría de las operaciones de maquinado, debido a los factores que se relacionan con el material de trabajo y a su interacción con la herramienta. Estos factores son: efectos de

¹⁹Estados Superficiales. Universidad de Castilla-la Mancha. Referencia Electrónica. Recuperado el 2 de mayo del 2009 de www.uclm.net/area/egi/1MECANICOS%20II/teoria_archivos/ESTADOS%20SUPERFICIALES.ppt

acumulación en el filo, debido a se forma una acumulación en el filo que se rompe cíclicamente, las partículas se depositan en la superficie recién creada y ocasionan una textura rugosa como lija; daño causado a la superficie por la viruta enredada por el trabajo; desgarramiento de la superficie de trabajo durante la formación de viruta cuando se maquinan materiales dúctiles (aceros). Los factores de material de trabajo son la causa de que el acabado de la superficie real sea en general más defectuoso que el ideal. Se puede desarrollar una relación empírica para convertir los valores de rugosidad ideal en un valor estimado de la rugosidad superficial real.²⁰

4.4 Factores de la vibración y la máquina herramienta:

Estos factores se relacionan con la máquina herramienta, con la herramienta y con la instalación de la operación. Incluyen la vibración o traqueteo de la maquina o de la herramienta, la deflexión de los montajes es una resultante frecuente de la vibración y el juego entre los mecanismos de avance, particularmente en máquinas herramientas antiguas. Si estos factores de la máquina herramienta se pueden minimizar o eliminar. La rugosidad superficial en el maquinado será determinada primariamente por los factores geométricos y los factores de material de trabajo descritos anteriormente.

El traqueteo o vibración en la operación de una maquina puede producir ondulaciones producidas en la superficie de trabajo. El operador puede distinguir un ruido característico cuando ocurre el traqueteo. Es muy conveniente eliminar este traqueteo tomando las siguientes medidas para reducir su incidencia en el acabado final: añadir rigidez o amortiguación a la instalación, operar a velocidades que no causen fuerzas cíclicas cuya frecuencia se aproxime a la frecuencia natural del sistema de la máquina herramienta, disminuir los avances y profundidades para reducir las fuerzas de corte y cambiar el diseño del cortador para reducir fuerzas.

²⁰Instituto Tecnológico De Chihuahua. ESTADOS SUPERFICIALES CARACTERISTICAS, NORMAS Y SIMBOLOGÍA. Por JOSE LUIS COSS BRECEDA 2009

Dentro de la rugosidad ahí varios otros parámetros que afectan a está, al momento de maquinar una pieza en el torno mecánico, según StefanutaEnache²¹, desarrollo una evaluación de los factores que producen y afectan la calidad del acabado superficial de un componente maquinado.

En el torneado de una pieza de acero, presenta la influencia de los factores como: el avance la velocidad y la profundidad de corte, en relación con la rugosidad obtenida, de igual manera analiza la influencia de la geometría y material de la herramienta, el régimen de lubricación y la rigidez de la maquina sobre el acabado superficial. Con la evaluación de estos factores tenemos que a bajas velocidades se obtienen rugosidades bajas que crecen proporcionalmente con el crecimiento de la velocidad, al incrementar la velocidad, se tiene un mejor acabado superficial y bajos valores de rugosidad.

La influencia del avance es importante ya que bajos avances significan bajos valores de rugosidad y por lo tanto buenos acabados superficiales, en tanto que valores altos de avance damos lugar a valores altos de rugosidad y pobres acabados superficiales.²²

Otro factor importante que se detallara es la velocidad de corte²³. La velocidad de corte para trabajo en un torno se puede definir como la velocidad con la cual un punto en la circunferencia de la pieza de trabajo pasa por la herramienta de corte en un minuto. La velocidad de corte se expresa en pies o en metros por minuto. Por ejemplo, si el acero de máquina tiene una velocidad de corte de 100 pies (30 m) por minuto, se debe ajustar la velocidad del torno de modo que 100 pies (30 m)

²¹Enache, Stefanuta (1972), La qualite des sufacesUsinées, Ed. Dunod, Paris.

²² Estados superficiales 2008. Instituto la Sallé San Martin. Ricardo Julián Aimó. Recuperado el 2 de mayo del 2009 <http://www.miclase.com.ar/Documentos/tema16text.pdf>

²³<http://www.aprendizaje.com.mx/curso/proceso2/practicas/torno-desarrollo/capi8.htm>.

de la circunferencia de la pieza de trabajo pasen frente a la punta de la herramienta en un minuto.

Calculo de a velocidad de corte. Para poder calcular las velocidades por minuto (r/min) a las cuales se debe ajustar el torno, hay que conocer el diámetro de la pieza y la velocidad de corte del material.

Cálculo en pulgadas:

$$r / \text{min} = \frac{VC(\text{pies}) \times 12}{\pi \times \text{diam. pieza de trabajo}}$$

Cálculo en milímetros:

$$r / \text{min} = \frac{VC(m) \times 1000}{\pi \times \text{diam. pieza de trabajo}(mm)}$$

5 METODOLOGIA

5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En este proyecto el tipo de investigación que se realizó, es una investigación descriptiva. Se realizó un experimento donde se tomaron diferentes muestras y se les aplicó un proceso de cilindrado en un torno mecánico en la empresa metalmecánica Climet Ltda., con el que se obtuvo un acabado superficial. Con esto se podrá observar cómo se comporta este fenómeno y así describir como es el acabado superficial por medio del índice de rugosidad, el cual fue medido por medio de un rugosímetro (MITUTOYO SJ-201P mostrado en los anexos), esto quiere decir que haremos un análisis de un proceso que realiza la empresa y observar en cuales procedimientos no se están aplicando correctamente. Esto debido a que en un estudio descriptivo, en donde se seleccionan una serie de muestras y se mide el acabado superficial de cada una de ellas por el índice de rugosidad para después describir cada procedimiento y analizar los resultados y sugerir nuevos métodos.

Dentro de los estudios descriptivos se miden conceptos y las diferentes variables relacionadas con el proceso, en este proyecto se medirán diferentes variables que afectan el acabado superficial como son el avance, velocidad de remoción de material y profundidad para indicar como se manifiesta estas variables en el proceso.

En esta investigación se identificaron cuales variables se le está realizando un mal manejo, para así sugerir nueva técnicas que satisfagan las necesidad de la empresa, para que tengan un producto de mayor calidad, pero para lograr esto se debe estudiar todo lo relacionado con esta área y formular diferentes preguntas que nos ayuden a lograr los objetivos propuestos.

Este estudio se realizó tomando como referencia la empresa Climet Ltda. Que es una de las empresas del sector metalmecánico de la ciudad de barranquilla, en las cual se recolectaron 6 muestras.

No existen normas para la selección y/o elaboración de las probetas, solo existen algunos parámetros que se encuentran normalizados como son los acabados superficiales y estos asociados a los tamaños y diámetros de ejes de la industria, sin embargo en la realización de este estudio tomamos un valor representativo que es un valor promedio de ejes que son más pequeños o más grandes que el del tamaño escogido para la realización del estudio, ya que además datos, estos deben ser datos representativos de las practicas.

5.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 7: Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	MESES						
	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Selección de la industria y verificación de la máquina.	■						
Dimensionamiento de las probetas y compra del material de las probetas.		■					
Cilindrado de las probetas en la empresa.			■				
Medición del acabado superficial de las probetas por medio del Rugosímetro.			■				
Análisis de las propiedades del acabado superficial de las probetas maquinadas.				■			
Realizar el diseño del experimento para la obtención de un mejor acabado.				■	■		
Cilindrado de las probetas con los nuevos parámetros establecidos.					■		
Medición del acabado superficial de las probetas por medio del Rugosímetro.					■		
Discusión de los resultados obtenidos con los nuevos parámetros.						■	
Conclusiones obtenidas e informe final del proyecto						■	■
Sustentación del proyecto de grado							■

Fuente: Los autores

5.3 Población y Muestra

La población es cualquier conjunto de unidades o elementos como personas, empresas, industrias, etc. En este caso la población del proyecto es la industria metalmeccánica dedicada a la operación de torneado mecánico. Debido a que esta población es muy grande se ha decidido tomar una muestra de la población que es una empresa que está dedicada a este trabajo. En la cuales se va a realizar la toma de datos para el proyecto.

Para el estudio de la población se deben tener algunas estimaciones de los parámetros poblacionales en función de los muestrales. Es decir tomar variables aleatorias como lo son piezas que sean cilindradas por medio del proceso de torneado por la empresa de la muestra para que arroje un valor promedio del nivel de rugosidad que tiene la empresa. Para luego ser comparadas con los datos obtenidos en la universidad y así saber cómo se encuentra la empresa a nivel de acabado superficial en las operaciones de torneado y mirar que tan desviado está este valor del rango de los índices de rugosidad que establece la norma para los procesos de acabado.

Se obtuvieron 5 mediciones del índice de rugosidad por cada probeta para un total de 30 datos recolectados y estos datos son una muestra aceptable para la realización del análisis estadístico y este depende del nivel de confianza que es de 99%.

5.4 Fuentes y técnicas

Las fuentes y técnicas de recolección de datos son las siguientes. Primero se visitó a la empresa ClimetLtda que es una de las industrias dedicadas a la tarea del maquinado por torneado en la ciudad Barranquilla. Luego se recolectaron varias muestras cilindradas del trabajo de esta con las mismas especificaciones (Maquinaria, Herramienta de corte y dimensiones de las muestras) para ser estudiadas por el grupo del proyecto de tal manera que se pueda analizar el nivel de rugosidad a la que se encuentra cada pieza trabajada, este se realizó por medio de pruebas de rugosidad y de acabado superficial. Para realizar este estudio se tuvo en cuenta las normas UNE 82301:1986 de Rugosidad superficial, UNE-EN ISO 4287:1998 Especificación geométrica de productos (GPS). Calidad superficial y UNE 1037:1983. *Indicaciones de los estados superficiales en los dibujos (ISO 1302: 1978)*

6 PRESUPUESTO

Tabla 8: Presupuesto de la toma de datos del proyecto

PRESUPUESTO			
Material de Trabajo	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Acero 1045	6	\$25.000	\$150.000
Hora de Trabajo en le torno	6	\$25.000	\$150.000
Alquiler de Rugosímetro	1	\$100.000	\$100.000
Papelería			\$80.000
Viáticos		\$100.000	\$100.000
TOTAL			\$580.000

Fuente: Los autores

7 PROCEDIMIENTO

- ✓ Se seleccionó la empresa donde se maquinaron las probetas.
- ✓ Se Compraron las Probetas y se dimensionaron. Ver figura 14
- ✓ Se maquinaron las probetas en Climet Ltda. Ver figura 15
- ✓ Se obtuvieron los primeros datos del índice de rugosidad en el laboratorio de metrología del SENA con el rugosímetro. Ver figura 16
- ✓ Se realizaron los cálculos de valor promedio, media, varianza, desviación estándar y se realizó la distribución normal. Ver tablas 10, 11, 12 y 13
- ✓ Se establecieron los parámetros para maquinar las probetas en el laboratorio de mecanizado de la universidad autónoma del caribe. Ver tablas 14, 17, 20 y 23
- ✓ Se maquinaron las probetas en la Universidad Autónoma del Caribe. Ver figura 15
- ✓ Se obtuvieron los datos del índice de rugosidad de las probetas maquinadas en la Universidad Autónoma del Caribe en el laboratorio de metrología del SENA con el rugosímetro. Ver tablas 15, 18, 21 y 24
- ✓ Se realizaron los cálculos de valor promedio, media, varianza, desviación estándar y se realizó la distribución normal. Ver tablas 16, 19, 22 y 25
- ✓ Se elaboraron las conclusiones y recomendaciones.

8 RESULTADOS Y DISCUSION

Figura 14: Dimensionamiento de las probetas de acero 1045 (2 in x 40 cm)



Fuente: Los autores

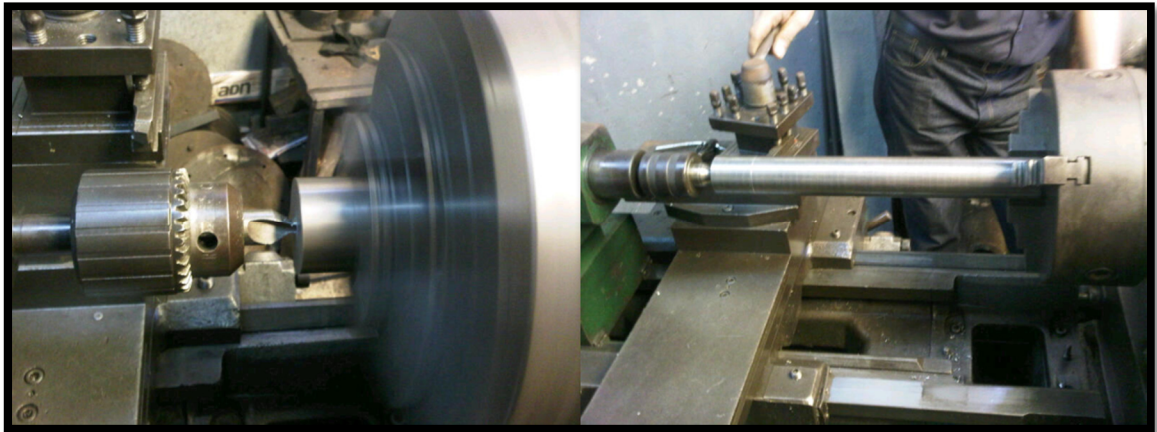
El proceso de maquinado se realizó con las siguientes parámetros.

Tabla 9: Parámetros utilizados para el maquinado por la empresa

SIMBOLO	PARAMETROS DE MEDICION	UNIDADES
	Profundidad de corte	1 mm
n	Revoluciones del eje	360 rpm
D	Diámetro de la pieza	2 in
vc	Velocidad de corte	57,453 m/min
f	Avance por vuelta	0,083 mm/rev
l	Longitud de corte x min	30 mm/min
h	Rugosidad del acabado	1,09 μ m
Re	Radio de la punta	0,25 mm

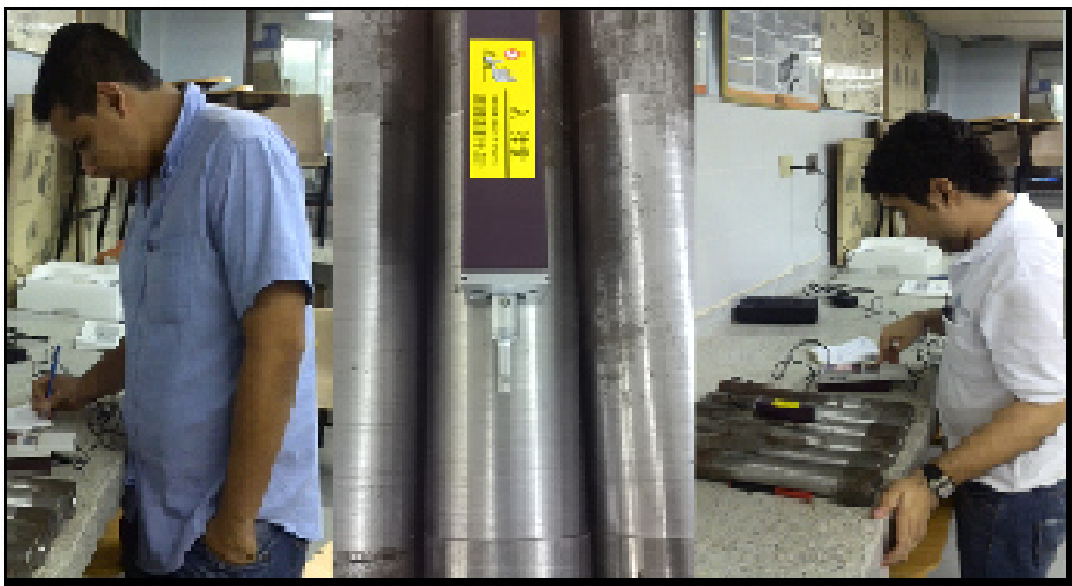
Fuente: Los autores

Figura 15: Maquinado de las probetas primera fase



Fuente: Los autores

Figura 16: Toma de las medidas de rugosidad



Fuentes: Los autores

Tabla 10: Índice de Rugosidad Ra en μm del primer maquinado

	$R_a(\mu\text{m})$					Media Unid.
No 1	4,202	3,621	3,897	3,907	3,905	3,906
No 2	3,851	3,362	3,351	3,362	3,362	3,458
No 3	6,407	5,546	5,457	5,657	5,653	5,744
No 4	3,015	2,915	2,946	2,966	2,949	2,958
No 5	5,340	3,905	3,905	3,910	3,904	4,193
No 6	4,515	3,796	3,811	3,778	3,766	3,933

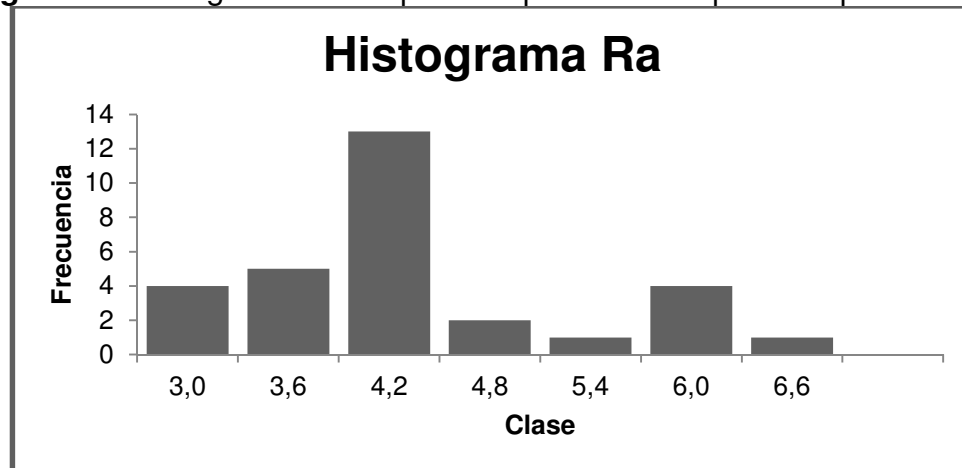
Fuente: Los autores

Tabla 11: Valores estadísticos de los valores de Ra

Ra	
Promedio	4,032
Desviación Estándar	0,934784522
Valor Mínimo	2,915
Valor Máximo	6,407
Varianza	0,873822102

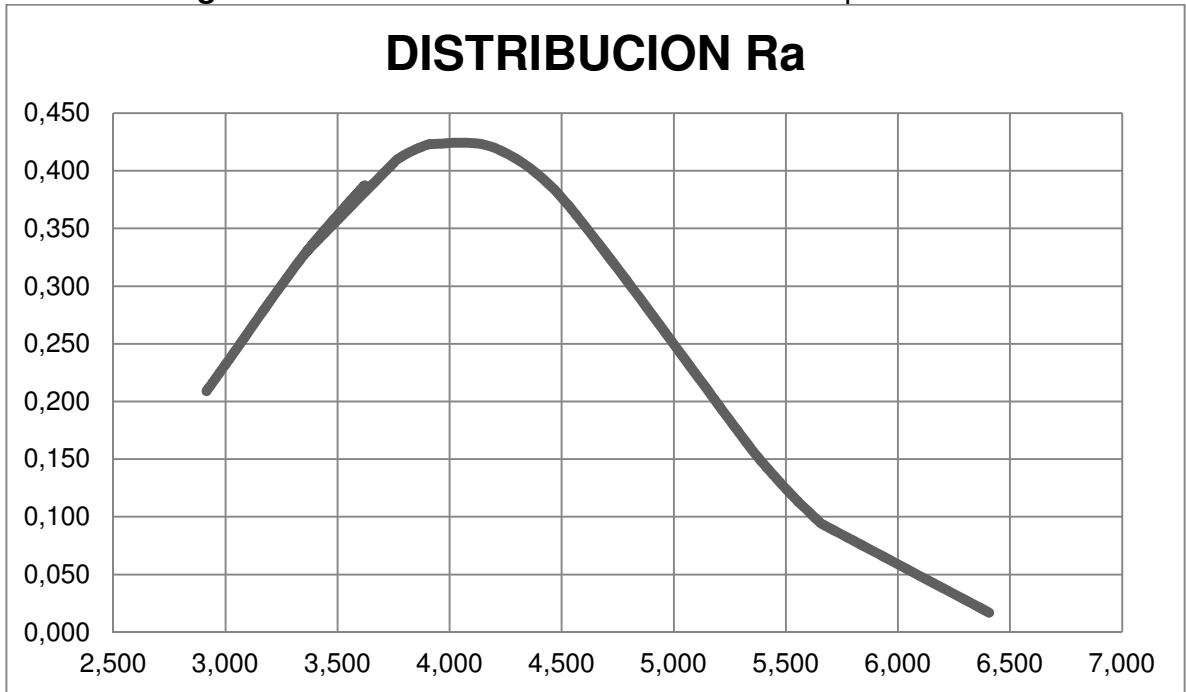
Fuente: Los autores

Figura 17: Histograma de Ra para las probetas maquinadas primera fase



Fuente: Los autores

Figura 18: Distribución normal de los datos Ra primera fase



Fuente: Los autores

Tabla12: Índice de Rugosidad Rz en μm del primer maquinado

	$R_z(\mu\text{m})$					Media Unid.
No 1	21,104	21,306	21,186	21,240	21,241	21,215
No 2	16,959	17,124	17,200	17,193	17,168	17,129
No 3	21,196	21,419	21,276	21,204	21,301	21,279
No 4	19,513	19,815	20,083	20,089	20,161	19,932
No 5	17,909	17,360	17,391	17,457	17,323	17,488
No 6	19,865	19,849	19,300	19,295	19,308	19,523

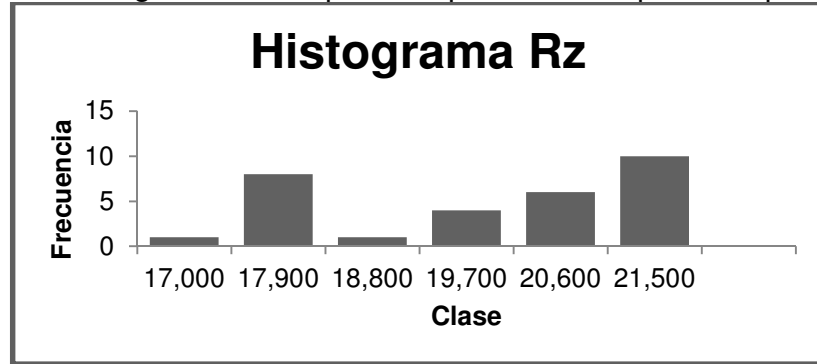
Fuente: Los autores

Tabla 13: Datos estadísticos de los valores de Rz

Rz	
Promedio	19,428
Desviación Estándar	1,667760921
Valor Mínimo	16,959
Valor Máximo	21,419
Varianza	2,781426489

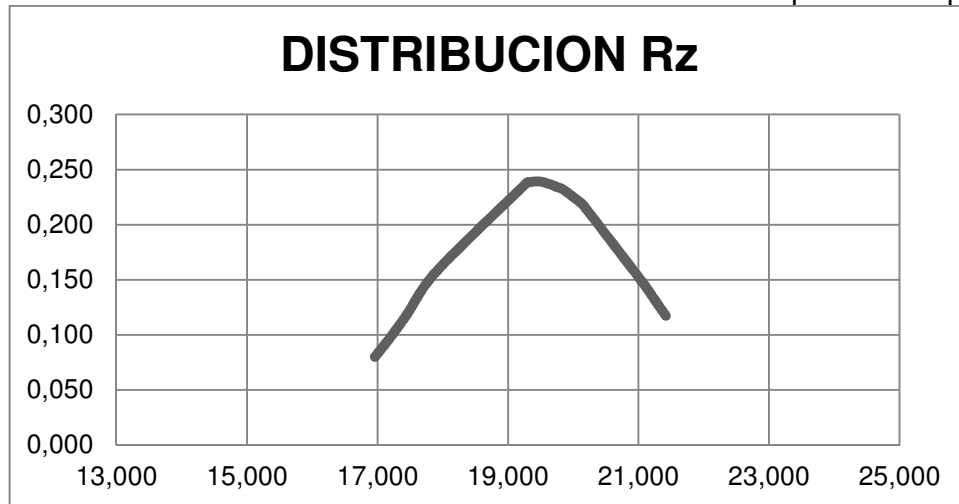
Fuente: Los autores

Figura 19: Histograma de Rz para las probetas maquinadas primera fase



Fuente: Los autores

Figura 20: Distribución normal de los datos Rz tomados del primer maquinado



Fuente: Los autores

Tabla 14: Parámetros utilizados para el maquinado de las probetas 1, 2 y 3

PARAMETROS PROBETAS 1,2 Y 3		
SIMBOLO	PARAMETROS DE MEDICION	UNIDADES
	Profundidad de corte	0,79 mm
n	Revoluciones del eje	400 rpm
D	Diámetro de la pieza	2 in
vc	Velocidad de corte	63,837 m/min
f	Avance por vuelta	0,084 mm/rev
l	Longitud de corte x min	34 mm/min
h	Rugosidad del acabado	3,53 μ m
Re	Radio de la punta	0,25 mm

.Fuentes: Los autores

Tabla 15:Datos de la distribución Normal para las probetas 1, 2 y 3

PROBETAS 1, 2 Y 3			
Ra	DISTRIBUCION Ra	Rz	DISTRIBUCION Rz
3,123	0,378	15,990	0,074
3,214	0,603	16,456	0,118
3,260	0,734	16,691	0,143
3,354	1,012	17,172	0,198
3,451	1,257	17,669	0,246
3,478	1,308	17,807	0,256
3,563	1,398	18,243	0,273
3,598	1,400	18,422	0,273
3,634	1,380	18,606	0,270
3,674	1,333	18,811	0,260
3,734	1,220	19,118	0,238
3,789	1,081	19,400	0,211
3,789	1,081	19,400	0,211
3,891	0,783	19,922	0,153
4,205	0,129	21,530	0,025

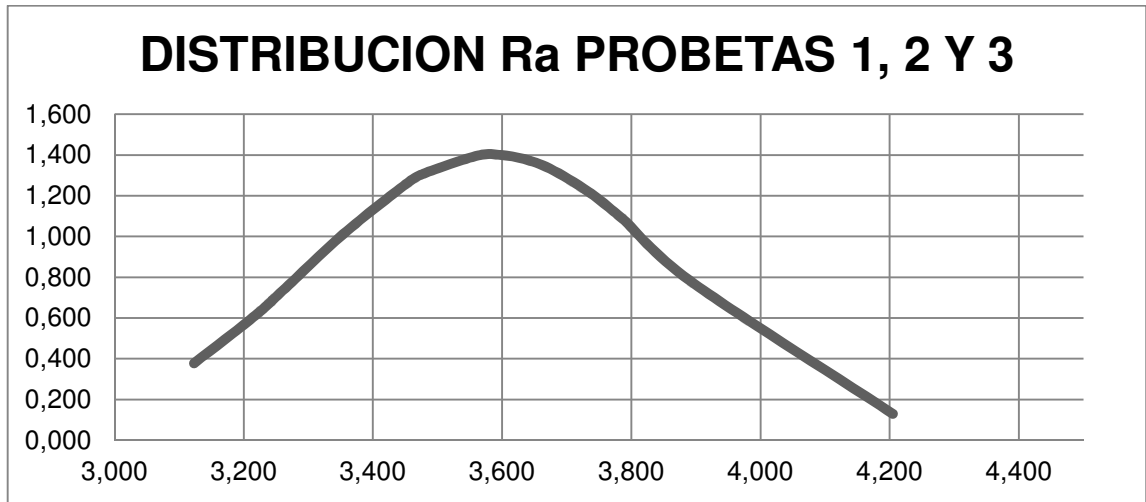
Fuente: Los autores

Tabla 16: Datos estadísticos de las probetas 1, 2 y 3

PROBETAS 1, 2 Y 3					
Parámetro	Promedio	Varianza	Val min	Val máx.	Desv. Estándar
Ra	3,584	0,080992743	3,123	4,205	0,28459224
Rz	18,349	2,123176158	15,990	21,530	1,457112267

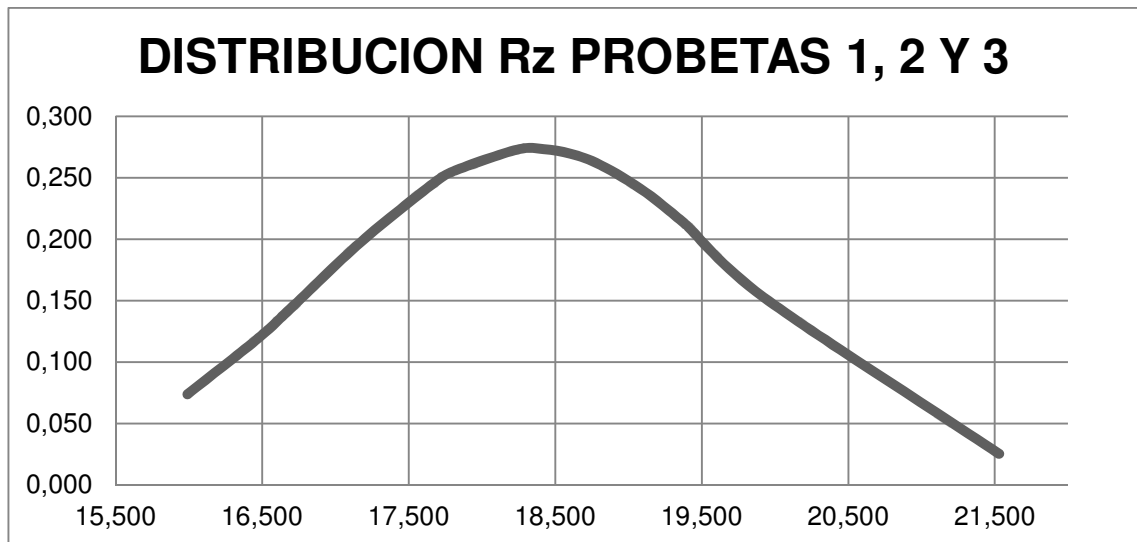
Fuentes: Los autores

Figura 21: Distribución normal R las probetas 1, 2 y 3 segunda fase



Fuente: Los autores

Figura 22: Distribución normal de Rz para las probetas 1, 2 y 3 segunda fase



Fuente: Los autores

Tabla 17:Parámetros utilizados para el maquinado de la probeta 4

PARAMETROS PROBETA 4			
SIMBOLO	PARAMETROS DE MEDICION	UNIDADES	
	Profundidad de corte	0.79	mm
n	Revoluciones del eje	500	rpm
D	Diámetro de la pieza	2	in
vc	Velocidad de corte	79.796	m/min
f	Avance por vuelta	0.084	mm/rev
l	Longitud de corte x min	42	mm/min
h	Rugosidad del acabado	3,39	μm
Re	Radio de la punta	0.25	mm

Fuente: Los autores

Tabla 18: Datos de la distribución Normal para la probeta 4

PROBETAS 4			
Ra	DISTRIBUCION Ra	Rz	DISTRIBUCION Rz
2,890	2,305	14,797	0,450
2,956	4,301	15,135	0,840
2,978	4,633	15,247	0,905
3,012	4,555	15,421	0,890
3,121	1,469	15,980	0,286

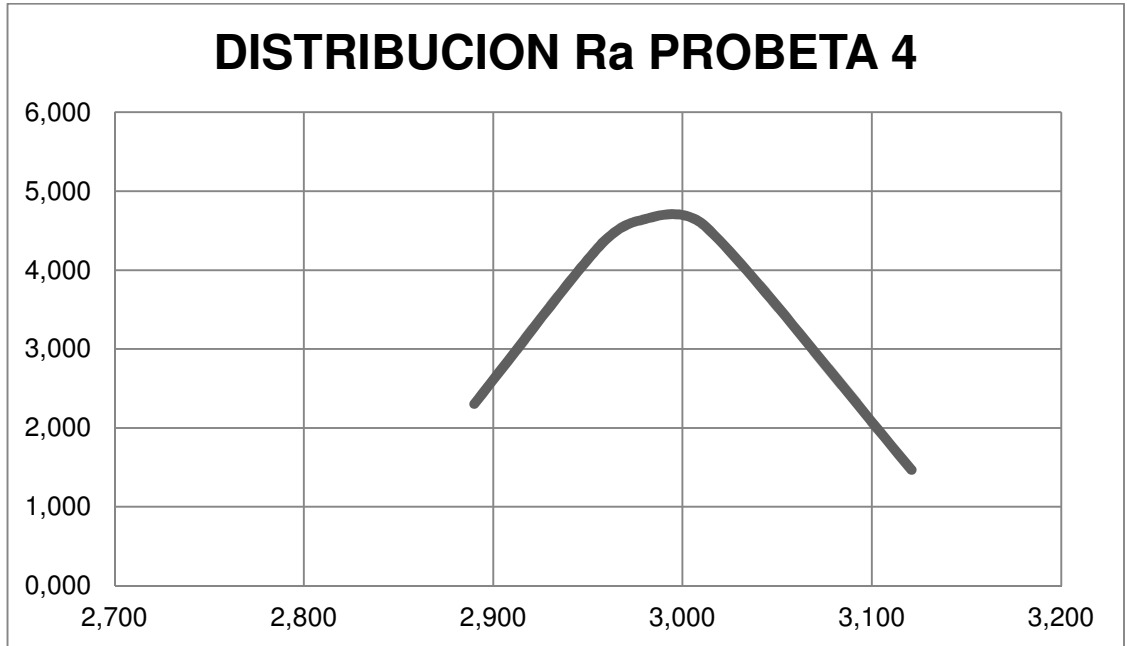
Fuente: Los autores

Tabla 19: Datos estadísticos de la probeta 4

PROBETAS 4					
Parámetro	Promedio	Varianza	Val min	Val máx.	Desv. Estándar
Ra	2,991	0,0072338	2,890	3,121	0,085051749
Rz	15,316	0,189629727	14,797	15,980	0,435464955

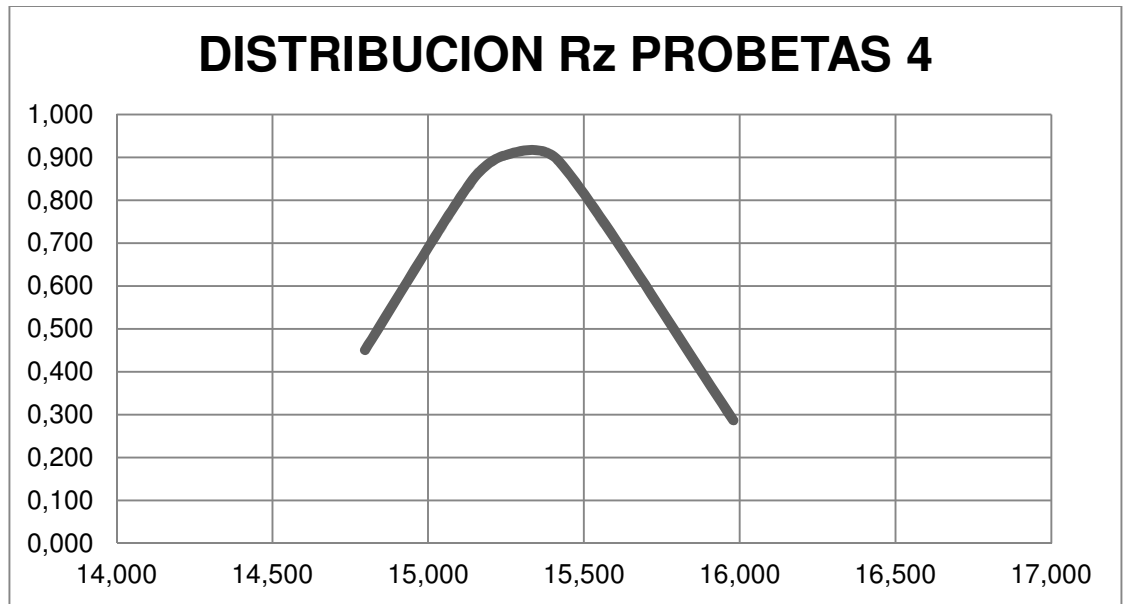
Fuente: Los autores

Figura 23: Distribución normal de Ra para la probeta 4 segunda fase



Fuente: Los autores

Figura 24: Distribución normal de Rz para la probeta 4 segunda fase



Fuente: Los autores

Tabla 20: Parámetros utilizados para el maquinado de la probeta 5

PARAMETROS PROBETA 5			
SIMBOLO	PARAMETROS DE MEDICION	UNIDADES	
	Profundidad de corte	0,40	mm
n	Revoluciones del eje	500	rpm
D	Diámetro de la pieza	2	in
vc	Velocidad de corte	79,796	m/min
f	Avance por vuelta	0,028	mm/rev
l	Longitud de corte x min	14	mm/min
h	Rugosidad del acabado	0,38	μm
Re	Radio de la punta	0,25	mm

Fuente: Los autores

Tabla 21: Datos de la distribución Normal para la probeta 5

PROBETAS 5			
Ra	DISTRIBUCION Ra	Rz	DISTRIBUCION Rz
2,324	1,956	11,899	0,382
2,380	2,604	11,996	0,429
2,420	2,878	12,401	0,564
2,430	2,912	13,256	0,330
2,678	0,688	13,711	0,134

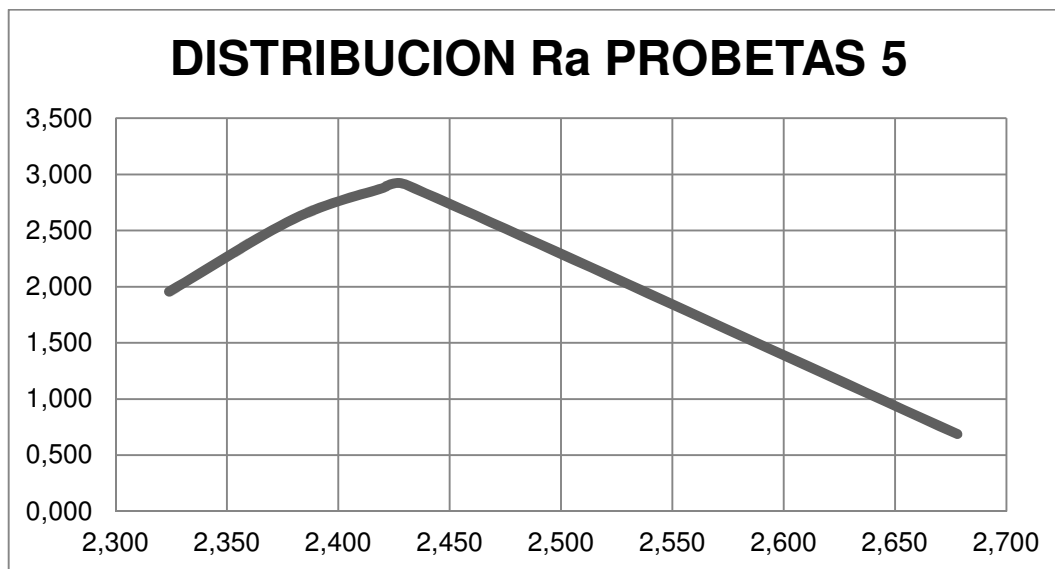
Fuente: Los autores

Tabla 22: Datos estadísticos de la probeta 5

PROBETAS 5					
Parámetro	Promedio	Varianza	Val min	Val máx.	Desv. Estándar
Ra	2,471	0,0242917	2,324	2,678	0,155857948
Rz	12,653	0,63679234	11,899	13,711	0,797992695

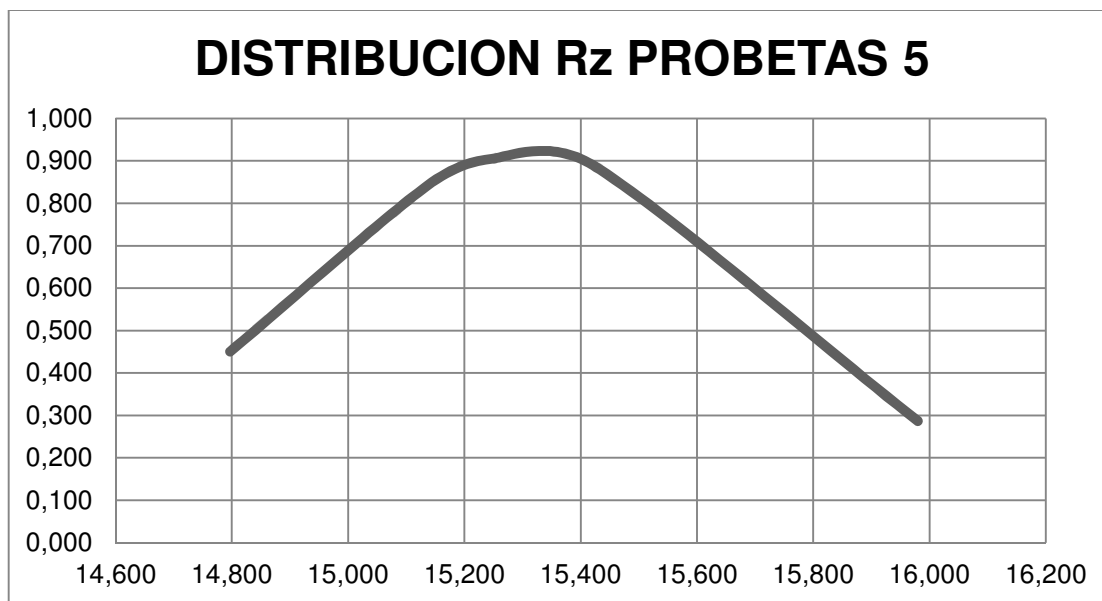
Fuente: Los autores

Figura 25: Distribución normal de Ra para la probeta 5 segunda fase



Fuente: Los autores

Figura 26: Distribución normal de Rz para la probeta 5 segunda fase



Fuente: Los autores

Tabla 23: Parámetros utilizados para el maquinado de la probeta 6

PARAMETROS PROBETA 6			
SIMBOLO	PARAMETROS DE MEDICION	UNIDADES	
	Profundidad de corte	0,79	mm
n	Revoluciones del eje	500	rpm
D	Diámetro de la pieza	2	in
vc	Velocidad de corte	79,796	m/min
f	Avance por vuelta	0,028	mm/rev
l	Longitud de corte x min	14	mm/min
h	Rugosidad del acabado	0,38	μm
Re	Radio de la punta	0,25	mm

Fuente: Los autores

Tabla 24: Datos de la distribución Normal para la probeta 6

PROBETAS 6			
Ra	DISTRIBUCION Ra	Rz	DISTRIBUCION Rz
2,698	2,381	13,76	0,467
2,756	4,875	14,056	0,956
2,799	5,481	14,275	1,075
2,812	5,298	14,341	1,039
2,894	2,035	14,759	0,400

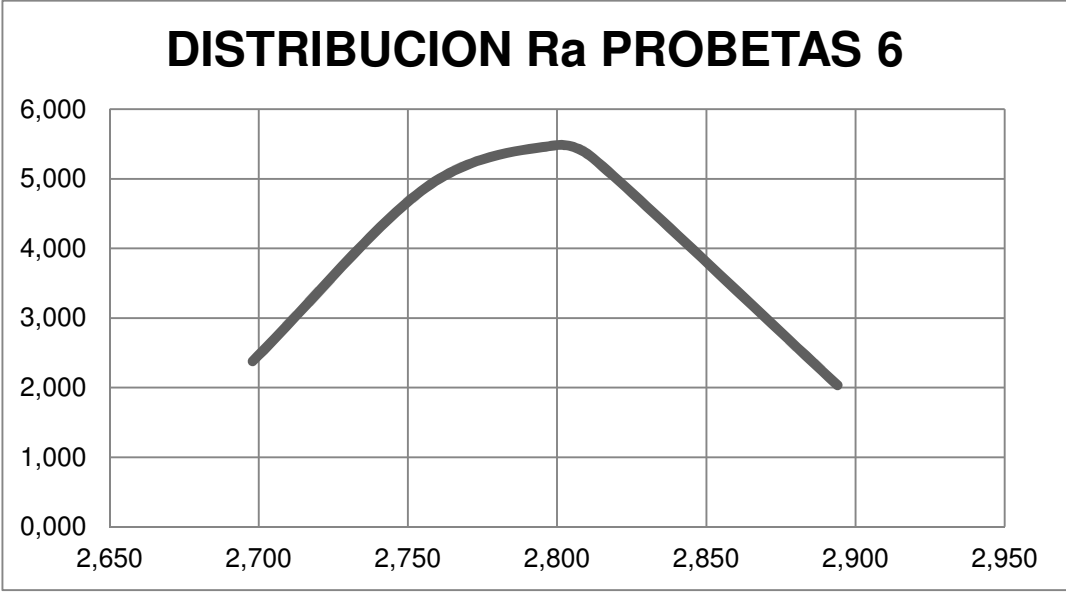
Fuente: Los autores

Tabla 25: Datos estadísticos de la probeta 6

PROBETAS 6					
Parámetro	Promedio	Varianza	Val min	Val máx.	Desv. Estándar
Ra	2,792	0,0052462	2,698	2,894	0,072430656
Rz	14,238	0,136453662	13,760	14,759	0,369396348

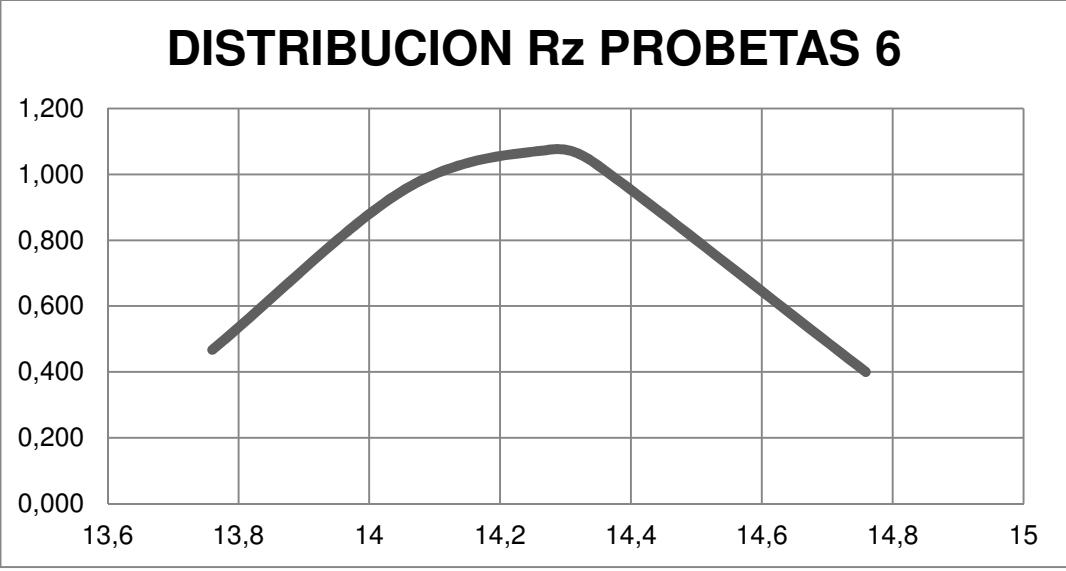
Fuente: Los autores

Figura 27: Distribución normal de Ra para la probeta 6 segunda fase



Fuente: Los autores

Figura 28: Distribución normal de Rz para la probeta 6 segunda fase



Fuente: Los autores

9 ANALISIS DE DATOS

Después de haber realizado las diferentes mediciones del índice de rugosidad bajo los parámetros Ra y Rz en las probetas maquinadas en la empresa Climet Ltda., realizamos un análisis estadístico continuo con los datos obtenidos donde podemos ver que el índice de rugosidad promedio es 4,032 (Tabla 16: Valores estadístico de los valores de Ra) y una tendencia a variar por debajo o por encima de dicho valor del índice de rugosidad del 0,934, pero este valor comparado con el índice de rugosidad teórico que es calculado bajo la siguiente fórmula:

$$h = \frac{f^2 * 1000}{8 * R_e}$$

Donde f es el avance, Re es el radio de la punta.

Y Teniendo en cuenta los parámetros para el maquinado de la pieza calculamos el valor del índice de rugosidad teórico que es 3,528µm.

El valor máximo obtenido bajo el parámetro Ra del índice de rugosidad es 6,407 y el mínimo es el 2.915 que es el que más se acerca a el valor del índice de rugosidad teórico que fue medido en la probeta número 4.

También podemos observar que en el pico de la campana de la distribución normal esos valores representan la moda, la mediana y media del conjunto de mediciones para el índice de rugosidad.

En las gráficas de la distribución normal se encuentran graficados los parámetros Ra y Rz que son los parámetros donde se midió el índice de rugosidad, estos parámetros están dados por la norma ISO 1302.

Después de haber realizado esas mediciones en las probetas maquinadas en la empresa Climet Ltda., tomamos las probetas y las maquinadas en el laboratorio de mecanizado de la universidad autónoma del Caribe donde se modificaron varios parámetros como las revoluciones, la profundidad de corte y el avance por vuelta, con estos parámetros se calculó de nuevo el índice de rugosidad teórico y nos dio un valor de 0,38 µm, este es el índice de rugosidad teórico que nos dio con los parámetros establecidos para las probetas 1,2, y 3 maquinadas en la universidad autónoma del Caribe, después realizamos las mediciones para estas probetas con el rugosímetro donde el valor promedio del índice de rugosidad es del 3.584 con un valor promedio del 0.080 y una tendencia a variar por debajo o por encima de

dicho valor del índice de rugosidad del 0.28459. Se mejoró un poco con respecto a las mediciones anteriores.

Para estos datos se realiza una prueba de hipótesis para saber si el valor teórico con el experimental es coherente con el fin de definir si se logró el objetivo o no. Se toma como hipótesis nula que las medias muestrales de los datos tomados son iguales y como hipótesis alterna que la media experimental es mayor que la teórica.

Tabla 26: Prueba de hipótesis para las probetas 1 2 y 3

PROBETA 1 2 Y 3	
Hipótesis	$H_0 \quad \mu = 3,528$
	$H_1 \quad \mu > 3,528$
$t_o < t_{critico}$ No se rechaza la hipótesis	

Fuentes: Los autores

Se calculan las medias muestrales y la varianza muestral

$$\text{Media muestral: } \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$\text{Varianza muestral: } S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

Para probar estas hipótesis se utiliza el estadístico de prueba t para comparar medias de los datos obtenidos.

$$t_o = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Con esto obtenemos los datos de la tabla 27:

Tabla 27: Datos para la prueba de hipótesis

PROBETAS 1 2 Y3	
Grados libertad	14
n	15
MEDIA	3,5838
VARIANZA	0,080992743
S	0,28459224
T critico	1,761310136
to	0,759375839
P value	0,23621015

Fuente: Los autores

Podemos concluir que los datos obtenidos cumplen estadísticamente, porque están dentro del rango permisible de la rugosidad de los ensayos

Ahora en la probeta número 4 se subieron las revoluciones a 500rpm pero se mantuvo el mismo avance de las probetas anteriores, por lo tanto el índice de rugosidad teórico va ser el mismo porque el índice de rugosidad depende es del avance y del radio de la punta, pero las mediciones con el rugosímetro si varían por diferentes aspectos.

En las probetas 5 y 6 se cambió el avance a 0.028mm/rev y las revoluciones se mantuvieron en 500rpm, con estos datos y teniendo en cuenta los demás parámetros el valor del índice de rugosidad teórico para estas probetas debe ser de $0.12\mu\text{m}$, un índice de rugosidad muy bueno, por lo tanto aquí en estas probetas fueron donde se obtuvieron los mejores índices de rugosidad medido con el rugosímetro, donde el índice de rugosidad promedio en la probeta 5 es de 2.47, con un valor promedio del 0.024 y una tendencia a variar por debajo o por encima de dicho valor del índice de rugosidad del 0.155 y en la probeta 6 el índice de rugosidad promedio es de 2.792 con un valor promedio del 0.005 y una tendencia a variar por debajo o por encima de dicho valor del índice de rugosidad del 0.072, podemos darnos cuenta que estos valores obtenidos en estas mediciones no fluctúan mucho y no hay muchas variaciones con respecto al valor promedio del índice de rugosidad en las probetas 5 y 6.

En la probeta 5 el valor máximo del índice de rugosidad es 2.678 y el valor mínimo es 2.324 y en la probeta 6 el valor máximo del índice de rugosidad es 2.894 y el valor mínimo es 2.698.

El valor del índice de rugosidad mejor obtenido en esta probetas maquinas en el laboratorio de la universidad autónoma del Caribe es de 2.324 que se obtuvo con el rugosímetro y se aproxima a el teórico es en la probeta número 5.

10 CONCLUSION

Después de haber realizado el maquinado por torneado en la empresa Climet Ltda. y en la Universidad Autónoma del Caribe y de medir los distintos valores del índice de rugosidad para cada probeta con el rugosímetro para su análisis estadístico podemos concluir que estos valores se encuentran cerca a los que recomienda la norma ISO 1302, pero los valores obtenidos en la Universidad Autónoma del Caribe si se encuentra dentro de los valores establecidos por la norma (Apéndice B de la norma ASME/ANSI B46.1-1985) ver tabla 3, esto se debe a que en la empresa no se están aplicando los parámetros establecidos para obtener los valores deseados de forma precisa, en cambio cuando se establecieron los parámetros para realizar el maquinado por torneado en la Universidad Autónoma del Caribe se cumplieron cada uno de los pasos de manera organizada y precisa que al momento de hacer las mediciones nos arrojaron valores que se encuentran dentro del rango establecido por la norma ISO que es entre 6.3 y 0.8 micro metros.

También concluimos que al momento de realizar el proceso de maquinado por torneado se debe hacer una combinación de parámetros que influyen en el acabado superficial como son la velocidad de corte, avance, profundidad de corte y el fluido para el corte, pero dos parámetros son los que se tienen en cuenta y que se deben combinar para obtener un buen acabado superficial y son el avance y velocidad de corte, por lo tanto el maquinado por torneado para operación de acabado se realiza a avances entre 0.125 y 0.4mm/rev y velocidades altas entre 70 y 90m/min , otros aspecto es que se debe utilizar una herramienta de corte de tungsteno y un refrigerante que no sea agua ya que esto nos ayuda bastante para obtener un acabo superficial muy bueno.

Si nos damos cuenta en el maquinado realizado en la probeta número 5 y 6 maquinadas en la Universidad Autónoma del Caribe se utilizaron velocidad alta y un avance muy bajo y se obtuvieron los mejores acabados superficiales en esas probetas.

11 RECOMENDACIONES

- ✓ Seguir paso a paso cada uno de los parámetros establecidos para un obtener un valor del índice de rugosidad que se encuentre dentro del rango establecido por la norma.
- ✓ Realizar el proceso de maquinado a avances lentos que son entre 0.125 y 0.4mm/rev y velocidad altas entre 70 y 90m/min
- ✓ Utilizar una herramienta de corte de tungsteno y un líquido refrigerante.
- ✓ Utilizar un torno convencional que se encuentre en óptimas condiciones de funcionamiento

REFERENCIAS

- [1] 2007 John Wiley & Sons, Inc. MP Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing 3 Ed.
- [2] 2008-QUINTA_EDICION_PERARSON-Manufactura, Ingeniería y Tecnología S. KALPAJKJIAN. S.R. SCHIMID
- [3] A.L. CASILLAS – Máquinas Cálculos de Taller – 1 ed. ©COPYRIGHT. Impreso en España.
- [4] BARTSCH. Herramientas Maquinas trabajo. Editorial REVERTÉ, S. A. 1971-1973 San Magín, 26 – Barcelona.
- [5] Boothryd, G.: FUNDAMENTOS DEL CORTE DE LOS METALES Y DE LA MAQUINAS HERRAMIENTAS, McGraw-Hill Latinoamericana Bogotá, 1978.
- [6] Byers, J., Advanced Machining Technology Handbook, Mc-Graw-Hill, 1998.
- [7] Douglas C. Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2008, LIMUSA WILEY. S.A.S. Segunda ed. Universidad Estatal de Arizona. Impreso en México
- [8] E. Paul De Garmo; J. Temple Black, Ronald A. Kohser (1988). Torneado y mandrinado, en materiales y procesos de fabricación.
- [9] Enache, Stefanuta (1972), La qualite des sufacesUsinées, Ed. Dunod, Paris.
- [10] Estados Superficiales. Universidad de Castilla-la Mancha. Referencia Electrónica. Recuperado el 2 de mayo del 2009 de www.uclm.net/area/egi/1MECANICOS%20II/teoria_archivos/ESTADOS%20SUPERFICIALES.ppt
- [11] Estados superficiales 2008. Instituto la Sallé San Martin. Ricardo Julián Aimó. Recuperado el 2 de mayo del 2009 <http://www.miclase.com.ar/Documentos/tema16text.pdf>
- [12] EVALUACION DE LA INTEGRIDAD SUPERFICIAL DEL ACERO AISI-12L14 PARA MAQUINARIA, SOMETIDO A PROCESOS DE MAQUINADO. POR JORGE ENRIQUE POSADA RAMIREZ. (Tesis sometida ante la facultad de Minas de la universidad Nacional de Colombia sede Medellín en parcial cumplimiento de los requisitos para grado magister en Ingeniería Área

- Materiales y Procesos 2009). Director del proyecto. JUAN MANUEL VELEZ RESTREPO (Ingeniero Mecánico MSC. PHD)
- [13]Field M, Kahles JF. Review of surface integrity of machined components. Ann CIRP 1971; 20: 107–8.
- [14]González González C. y Zeleny Vásquez J. Metrología Superficial. Rugosidad. En: Metrología. Ed. McGRAW-HILL 1995
- [15]Heidenreich & AG Harbeck empresa industrial en Möllner en el distrito de Lauenburg 1927
- [16]HERMANN SCHULZE - Manual Práctico de torneado, 3 ed. EDITORIAL GUSTAVO GILI, S. A. Barcelona, Traducido por José María Mantero
- [17]HERMAN W. POLLACK. Máquina Herramienta y Manejo de Materiales.
- [18]<http://www.aprendizaje.com.mx/curso/proceso2/practicas/torno-desarrollo/capi8.htm>.
- [19]Instituto Tecnológico De Chihuahua. ESTADOS SUPERFICIALES CARACTERISTICAS, NORMAS Y SIMBOLOGÍA. Por JOSE LUIS COSS BRECEDA – 04/05/2009
- [20]INSPECCION DEL ACABADO SUPERFICIAL PARA PROCESOS DE RECTIFICADO Y FRESADO MEDIANTE UN ESPARCIMETRO DE LUZ LASE. POR J. ANTONIO ROPDRIGUEZ TIRADO (Tesis para obtención de grado de maestro en tecnología avanzada. Director de tesis Dr. Jorge Adalberto Huerta Ruelas – INSTITUTO TECNICO NACIONAL)
- [21]Jorge Posada, Tesis: Evaluación Integral Superficial para el Maquinado de un acero.
- [22]Manual Práctico de torneado – HERMANN SCHULZE, 3 ed. EDITORIAL GUSTAVO GILI, S. A. Barcelona, Traducido por José María Mantero
- [23]Mason, F. y Freeman, N.B., “Turning Centers Come of Age” Special report 773, American Machinist, Febrero de 1985 pp. 97-116
- [24]Micheletti, G. F.: MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA, Blume, Barcelona, 1980.
- [25]MikellGroover, Fundamentos de Manufacturas moderna, Materiales, procesos y sistemas. 3era Edición.

- [26] Mikell P. Groover, Fundamentos de Manufactura Moderna, 1987, PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A. Primera Edición,
- [27] Nachtman, E. S. y Kalpakjian, S., Lubricants and Lubrication in Metalworking Operations, Marcel Dekker, 1985
- [28] L. HECKER, G. M. FLORES, DIEGO VICENTE. Sistema para el monitoreo de fuerzas y temperatura en torneado. Argentina – U. N. de la Pampa. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. Vol. 16, 2012
- [29] S. Kalpakjian – S. R. Schmid, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, 2008. PEARSON, Prentice Hall, Quinta Edición.
- [30] TRANSFORMADA DE HOUGH PARA LA CARACTERIZACION DEL ACABADO SUPERFICIAL DE PIEZAS MAQUINADAS EN TORNO CNC POR ANGEL SALVADOR XEQUE MORALES (Tesis para obtener el grado de Maestro en ciencias en ingeniería electrónica con asesores de tesis Dr. Luis Alberto Morales Hernández y Dr. Alberto Jorge Rosales Silva – INSTITUTO TECNICO NACIONAL)
- [31] TRABAJO EN EL TORNO, ING HANS H. MANZ. Traducido por MARTIN KRAEMER MORATA, editorial JOSE MONTESCO, Barcelona, 1961.

ANEXOS

ANEXO 1: Propiedades del acero 1045

ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

1. *Descripción:* es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

2. *Normas involucradas:* ASTM A108

3. *Propiedades mecánicas:* Dureza 163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
Elongación 16% (en 50 mm)
Reducción de área (40%)
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

4. *Propiedades físicas:* Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. *Propiedades químicas:* 0.43 – 0.50 % C
0.60 – 0.90 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. *Usos:* los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.



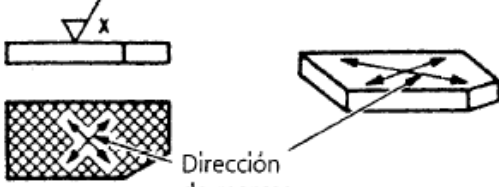
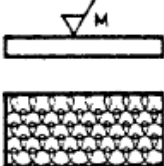
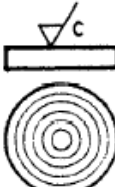

7. *Tratamientos térmicos:* se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ANEXO 2: Simbología para la dirección de marcado




Símbolos para la dirección de marcado

Símbolo	Interpretación
<p data-bbox="342 428 386 453">=</p>	<p data-bbox="435 436 906 489">Paralelo al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo.</p>  <p data-bbox="1089 520 1203 573">Dirección de marcas</p>
<p data-bbox="342 663 386 720">⊥</p>	<p data-bbox="435 669 906 722">Perpendicular al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo.</p>  <p data-bbox="1089 753 1203 806">Dirección de marca</p>
<p data-bbox="342 882 386 938">X</p>	<p data-bbox="435 909 906 982">Cruzado en dos direcciones inclinadas con relación al plano de proyección de la vista en la cual se usa el símbolo.</p>  <p data-bbox="1089 997 1203 1050">Dirección de marcas</p>
<p data-bbox="342 1121 386 1178">M</p>	<p data-bbox="435 1140 610 1171">Multidireccional</p> 
<p data-bbox="342 1320 386 1377">C</p>	<p data-bbox="435 1348 906 1421">Aproximadamente circular en relación con el centro de la superficie en la cual se aplica el símbolo.</p> 
<p data-bbox="342 1530 386 1587">R</p>	<p data-bbox="435 1558 906 1631">Aproximadamente radial en relación con el centro de la superficie en la cual se aplica el símbolo.</p> 

ISO 1302-1978

ANEXO 3: Simbología de rugosidad


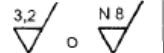
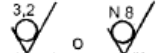

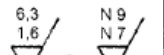
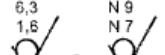
Símbolos sin indicación adicional

Símbolo	Significado
	Símbolo básico. Puede usarse sólo cuando su significado se aplica en una nota.
	Una superficie maquinada sin indicación de cualquier otro detalle.
	Una superficie en la cual está prohibida la eliminación de material. Este símbolo también puede utilizarse en un dibujo relacionado con un proceso de producción para indicar que una superficie quedará tal como quedó después de un proceso de manufactura precedente, sin importar si tal estado se logró eliminando material o de otra forma.

ISO 1302-1978

ANEXO 4: Simbología del principal criterio de rugosidad Ra


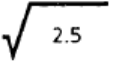

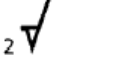
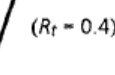
Símbolos con indicación del principal criterio de rugosidad Ra

Símbolo			Significado
La eliminación de material por maquinado es			
Opcional	Obligatoria	Prohibida	
			Una superficie con valor máximo de rugosidad superficial Ra de 3.2 µm
			Una superficie con valor máximo de rugosidad superficial Ra de 6.3 µm y un mínimo de 1.6 µm.

ISO 1302-1978

ANEXO 5: Simbología de la rugosidad para los procesos de maquinado

Símbolos con indicación adicional

Símbolo	Significado
	Método de producción: fresado
	Longitud de muestreo: 2.5 mm
	Dirección de marcado: perpendicular al plano de proyección de la vista.
	Tolerancia de maquinado: 2 mm
	Indicación (en paréntesis) de un criterio de rugosidad diferente de Ra; por ejemplo, Rr = 0.4 µm

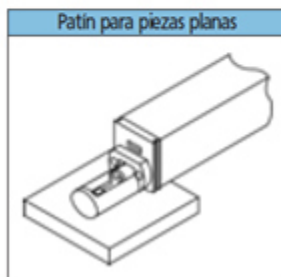
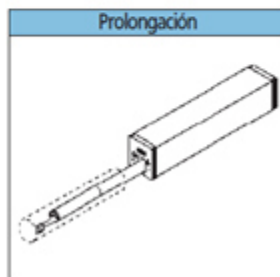
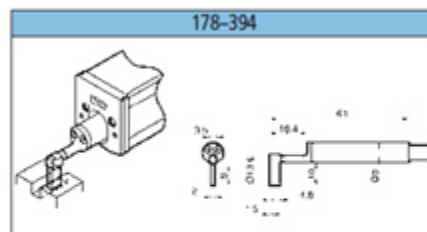
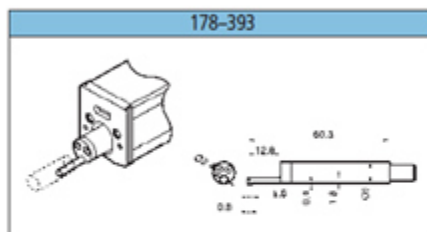
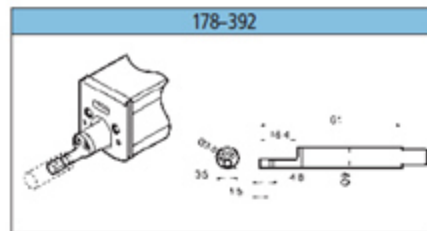
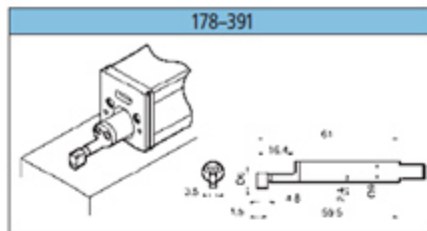
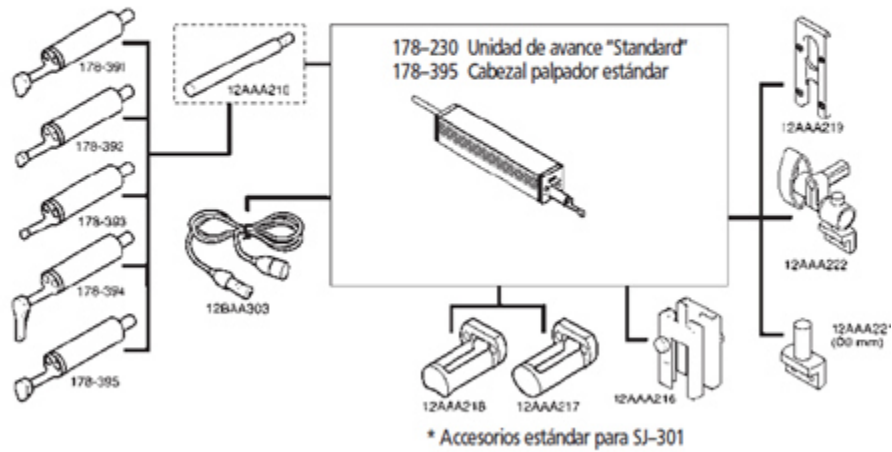
ISO 1302-1978

ANEXO 6: Partes del rugosímetro SJ-201 marca MITUTOYO

**Verificador de rugosidad
"Surftest SJ-201 P" "Surftest SJ-301"**

Serie 178

Accesorios opcionales



ANEXO 7: Especificaciones del rugosímetro SJ-201 MITUTOYO

Rugosímetro SJ-201P

SERIE 178

Medidor Portátil de Rugosidad Superficial



Rugosímetro SJ-201P



ESPECIFICACIONES Rugosímetro SJ-201P

Código No.	178-923A (Con adaptador 120V CA)
Intervalo del recorrido	.49pulg/12.5mm
Intervalo de medición	13780μpulg (-7880μpulg ~ +5900μpulg)/350μm(-200μm ~ +150μm)
Unidad motor/detector	Detector: Tipo estándar (4mN) 178-390 Punta: Diamante (radio de la punta: 5μm) Fuerza de medición: 4mN (0.4gf) Método de detección: Inductancia Diferencial
Perfiles evaluados	P (perfil primario), R (perfil de rugosidad) perfil DIN 4776
Parámetros Evaluados	Ra, Rq, Ry, Rz, Rz, Rt, Rp, mr, S, Sm, Pc, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Vo, δc, Lo, R, AR, Rx, Rv. (se pueden desactivar cuando no se necesiten)
Norma de rugosidad	Nuevo JIS, JIS anterior, DIN, ISO, ANSI
Filtros digitales	2CR-75%, 2CR-75% (fase corregida), Gaussiano-50% (fase corregida)
Longitud de Cutoff	λc: .01, .03, .1 (pulg) / 0.25, 0.8, 2.5 (mm) λs: 100μpulg, 320μpulg / 2.5μm, 8μm
Longitud de muestreo (L)†	.01, .03, .1 (pulg) / 0.25, 0.8, 2.5 (mm)
Pantalla	LCD
Salida de datos	Via interfase RS-232C / SCP puerto de salida
Alimentación	Adaptador via CA/interconstruido recargable Batería (tiempo de medición: 500 max.)
Dimensiones (AxLxAlt)	Pantalla: 62x156.5x52mm Unidad motor/detector: 23x115x26mm
Peso	Pantalla: 290g Unidad motor/detector: 190g

†Longitud arbitraria se puede especificar en el intervalo de 0.3mm a 12.5mm.

Dimensiones

