



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



**ESTUDIO DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN EL PROCESO
DE TORNEADO BASADO EN LAS NORMAS ISO 1302 DE UN
ACERO AISI 4140 PARA VERIFICAR LA CALIDAD**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ALBER RUIZ COAQUIRA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi familia, a mis padres, hermanos y sobrinos, quienes gracias a su apoyo moral y anímico me fortalecieron en lo mental para seguir fijamente en mis metas trazadas, sobre todo en la realización de esta tesis

Por último, dedico a una persona muy especial que con mucho cariño y gratitud le agradezco por siempre apoyarme en todo, ya que gracias a ella pude alcanzar diferentes metas en mi vida y uno de mis objetivos fue la ejecución de esta tesis.

ALBER RUIZ COAQUIRA



AGRADECIMIENTOS

- Primeramente, agradezco a Dios por darme la fuerza, la salud y la convicción necesaria para realizar y ejecutarlo este proyecto de tesis.
- Posteriormente un agradecimiento a los miembros del jurado evaluador por sus aportaciones en el desarrollo de la presente tesis al Dr. Esteban Rey Chávez Gutiérrez, M.Sc. Faviola Ccoa Huanca y M.Sc. Oswaldo Maynas Condori, así mismo al asesor de mi tesis al Dr. Walter Antonio Sarmiento Sarmiento, quien con el apoyo de su digna persona y los consejos que dio durante todos los procesos de realización de tesis, estuvo siempre presto para guiarme, desde el principio hasta la culminación de mi tesis.
- Agradezco a mi Alma Mater a mi prestigiosa Universidad Nacional del Altiplano Puno y en especial a mi Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica que gracias a sus aprendizajes académicos aprendidos tengo una estabilidad laboral.

ALBER RUIZ COAQUIRA



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.3.1. Hipótesis general.....	16
1.3.2. Hipótesis específicas	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	16
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.5.1. Objetivo general.....	18
1.5.2. Objetivos específicos	18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	19
2.2. MARCO TEÓRICO.....	23



2.2.1. Mecanizado	23
2.2.2. Torno	24
2.2.3. Operaciones de torneado	26
2.2.4. Parámetros de torneado	27
2.2.5. Acero AISI 4140	30
2.2.6. Propiedades del acero AISI 4140	30
2.2.7. Características del acero AISI 4140	31
2.2.8. Superficies	33
2.2.9. Textura de las superficies	34
2.2.10. Rugosidad superficial	35
2.2.11. Dirección de las estrías	39
2.2.12. Medición de la rugosidad superficial	40
2.2.13. Importancia de las superficies	41
2.2.14. Rugosímetro	42
2.2.15. Norma ISO 1302 de 2002 para calidad superficial	43
2.2.16. Herramientas de corte	48
2.2.17. Insertos	48
2.2.18. Estandarización de insertos: Norma ISO 1832	49
2.2.19. Estandarización de porta-insertos	53

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO	55
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	55
3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO	55
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	56



3.4.1. Población.....	56
3.4.2. Muestra.....	57
3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO	58
3.6. PROCEDIMIENTO	59
3.6.1. Metodología	59
3.6.2. Desarrollo del procedimiento de investigación.....	60
3.6.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos	61
3.7. VARIABLES	62
3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	62
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS.....	66
4.1.1. Selección de inserto y determinación de parámetros de torneado	66
4.1.2. Determinación de la rugosidad superficial.....	73
4.2. DISCUSIÓN	89
V. CONCLUSIONES.....	92
VI. RECOMENDACIONES.....	93
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
ANEXOS.....	98

Área : Metalurgia Transformativa

Tema : Mecanización de Metales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20 de agosto 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Principales operaciones de torneado.....	26
Figura 2. Esquema de una operación de cilindrado, mostrando la profundidad de corte a , y el avance f . La velocidad de corte es la velocidad superficial de la pieza en la punta de la herramienta.....	26
Figura 3. Proceso de Torneado a) Cilindrado, b) Refrentado	27
Figura 4. Formas de la textura superficial.....	34
Figura 5. Representación gráfica de la rugosidad promedio.....	36
Figura 6. Orientación posible de una superficie	39
Figura 7. Procedimiento de uso del rugosímetro	43
Figura 8. Símbolo básico para denotar la calidad superficial para cualquier proceso de fabricación	43
Figura 9. Símbolo básico para denotar la calidad superficial para procesos de fabricación con arranque de viruta	44
Figura 10. Símbolo básico para denotar la calidad superficial para procesos de fabricación sin arranque de viruta	44
Figura 11. Símbolo para denotar la calidad superficial para todas las superficies del contorno externo de una pieza	44
Figura 12. (a-b): Indicación de un requisito individual de calidad superficial	45
Figura 13. Indicación de dos o más requisitos de calidad superficial mediante R_a	45
Figura 14. Indicación del método para obtener la superficie.....	46
Figura 15. Indicación de los surcos y la orientación en la calidad superficial.....	46
Figura 16. Indicación de sobre medida para mecanizado	46
Figura 17. Insertos para torneado.....	49



Figura 18.	Forma del inserto	52
Figura 19.	Angulo de incidencia	52
Figura 20.	Radio de la nariz	53
Figura 21.	Arista de corte.....	53
Figura 22.	Vista del uso de herramientas e insumos.....	56
Figura 23.	Mapa conceptual de la metodología	60
Figura 24.	Variables que Influyen en el acabado superficial durante el torneado	64
Figura 25.	Preparación de probetas en JMC Soluciones.....	67
Figura 26.	Probetas de acero AISI 4140	67
Figura 27.	Parámetros geométricos del inserto D N M G 11 04 08 E N – MA 70	
Figura 28.	Porta herramientas de doble fijación	71
Figura 29.	Torno de marca Turn-nado utilizado para preparar las probetas.....	73
Figura 30.	Rugosímetro Mitutoyo modelo SJ210.....	74
Figura 31.	Verificación de medidas finales	75
Figura 32.	Medición de rugosidad (Ra)	76
Figura 33.	Valor de rugosidad de aplicación frecuente	78
Figura 34.	Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance	79
Figura 35.	Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance	80
Figura 36.	Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance	81
Figura 37.	Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance	82
Figura 38.	Variación de la rugosidad con 450 RPM, 0.2 mm/rev y profundidades de corte	84
Figura 39.	Variación de la rugosidad con 450 RPM, 0.3 mm/rev y profundidades de corte	85



Figura 40. Variación de la rugosidad con 645 RPM, 0.2 mm/rev y profundidades de corte	86
Figura 41. Variación de la rugosidad con 645 RPM, 0.3 mm/rev y profundidades de corte	87
Figura 42. Resumen de las variaciones de rugosidad y parámetros establecidos de estudio.....	88



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades químicas del acero bonificado AISI 4140	31
Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas del acero AISI 4140	31
Tabla 3. Descripción del acero AISI 4140	32
Tabla 4. Clases de rugosidad.....	37
Tabla 5. Clase de rugosidad-aplicación	38
Tabla 6. Evolución de los símbolos de calidad superficial	47
Tabla 7. Tipos de fijación principal, características y aplicaciones	54
Tabla 8. Valores de Z_a	58
Tabla 9. Valores de Z_B	58
Tabla 10. Parámetros de Mecanizado	63
Tabla 11. Parámetros de mecanizado del acero AISI 4140	63
Tabla 12. Medidas del eje Acero AISI 4140.....	67
Tabla 13. Especificaciones del inserto D N M G 11 04 08 E N – MA.....	70
Tabla 14. Valores de mecanizado del acero AISI 4140.....	72
Tabla 15. Especificaciones del rugosímetro MITUTOYO SJ210	74
Tabla 16. Valores de rugosidad estándar frente a números de calidades de rugosidad	77
Tabla 17. Rugosidad superficial (R_a) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance .	79
Tabla 18. Rugosidad superficial (R_a) a 450 rpm y 0.3 mm/rev velocidad de avance .	80
Tabla 19. Rugosidad superficial (R_a) a 645 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance .	81
Tabla 20. Rugosidad superficial (R_a) a 645 rpm y 0.3 mm/rev velocidad de avance .	82
Tabla 21. Cuadro matricial mostrando los resultados de rugosidad, para diferentes regímenes de corte	83



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AISI	: American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)
GPa	: Gigapascal
HRC	: La dureza Rockwell o ensayo de dureza Rockwel
ISO	: International Organization for Standardization, (Organización Internacional de Estandarización)
J	: Joule
Kg/mm²	: Kilogramos por milímetros cuadrados
m/min	: metro por minuto
m	: metro
mm/rev	: milímetros por revolución
mm	: milímetros
MPa	: Megapascales
Pulg/rev	: pulgada por revolución
Pulg	: pulgada
Ra	: Rugosidad media aritmética
rpm	: Revoluciones por minuto
Rz	: Profundidad de la rugosidad media
SAE	: Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices)
um	: micrómetro
UNE	: Norma Española
upulg	: micropulgada



RESUMEN

La presente investigación se realizó en la empresa JMC SOLUCIONES INDUSTRIALES E.I.R.L. de la ciudad de Arequipa durante los meses de febrero y marzo del año 2020, en razón a que en la industria del mecanizado el acabado superficial se ve reflejado en la rugosidad de la superficie que se mecaniza, entonces para mejorar el acabado superficial se busca minimizarla; en consecuencia, el presente estudio se centró en la rugosidad, teniendo en cuenta que de lograr minimizarla se obtendría un mejor acabado superficial. El objetivo fue evaluar la rugosidad superficial en el proceso de torneado de un acero AISI 4140 basado en las normas ISO 1302 para verificar la calidad de las piezas torneadas, seleccionándose para ello el inserto, la velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad de husillo adecuada para medir la rugosidad superficial media y verificar que los valores medidos estén en los rangos establecidos por la norma ISO 1302:2002; tal es así que para la ejecución de los ensayos se utilizó un rugosímetro digital aplicándose técnicas de diseño de experimentos y parámetros de operación y rugosidad típicos en la práctica industrial. El nivel de investigación que se utilizó fue la descriptiva- experimental, la estadística fue el MICRO SOFT EXCEL y ANOVA. El resultado de la rugosidad media (Ra) fue de 1.233 um el cual se encuentra dentro del rango establecido por la norma ISO 1302:2002, utilizándose para ello un inserto D N M G 11 04 08 E N – MA, velocidad de husillo 645 RPM, velocidad de avance 0.2 mm/rev y profundidad de corte 1.0 mm.

Palabras clave: Acero AISI 4140, normas ISO, proceso de torneado y rugosidad superficial.



ABSTRACT

This research was carried out at the company JMC SOLUCIONES INDUSTRIALES E.I.R.L. of the city of Arequipa during the months of February and March of the year 2020, because in the machining industry the surface finish is reflected in the roughness of the surface that is machined, so to improve the surface finish it is sought to minimize it ; Consequently, the present study focused on roughness, taking into account that minimizing it would result in a better surface finish. The objective was to evaluate the surface roughness in the turning process of an AISI 4140 steel based on the ISO 1302 standards to verify the quality of the turned parts, selecting for this the insert, the feed rate, depth of cut and cutting speed. suitable spindle to measure the average surface roughness and verify that the measured values are within the ranges established by the ISO 1302: 2002 standard; so much so that a digital roughness meter was used to carry out the tests, applying experiment design techniques and operating parameters and roughness typical in industrial practice. The level of investigation that was used was the descriptive-experimental, the statistics was the MICRO SOFT EXCEL and ANOVA. The result of the average roughness (Ra) was 1,233 um which is within the range established by the ISO 1302: 2002 standard, using a DNMG 11 04 08 EN - MA insert, spindle speed 645 RPM, speed of feed 0.2 mm / rev and depth of cut 1.0 mm.

Keywords: AISI 4140 steel, ISO standards, turning process and surface roughness.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la industria del mecanizado el problema del acabado superficial en los elementos de las máquinas, como ejes, engranajes, etc, trae bastantes consecuencias negativas tanto económicas como en tiempo de producción, el acabado superficial de cualquier pieza es una variable principal que tiene gran incidencia sobre las propiedades mecánicas del material en este caso el acero AISI 4140, por ejemplo, un mal acabado superficial hace que el elemento mecanizado sea más propenso a corroerse o a fallar por fatiga debido a una grieta que puede presentarse en la superficie por un mal acabado. Esta dinámica en los mercados de exigir cada vez más en la calidad y rendimiento de los productos o materias primas demandadas, ha empujado a las industrias metal mecánicas a buscar soluciones que permitan satisfacer dichas exigencias, que por lo general van dirigidas a que se requieran acabados y tolerancias dimensionales de alta calidad en las piezas de trabajo.

Uno de los aspectos más importantes en el control de calidad de los productos mecanizados es el estado superficial obtenido tras el proceso de corte, tal es así que la calidad superficial es un factor muy importante y a veces determinante en la fabricación de componentes mecánicos. El producto final no solo debe cumplir con las especificaciones dimensionales y geométricas de diseño, sino también garantizar una calidad superficial adecuada y que este enmarcada en la Norma ISO 1302. El indicador más utilizado para evaluar la calidad superficial de los productos mecanizados es la



caracterización o medida de la rugosidad superficial, cuyo parámetro más usado, en todos los ámbitos del sector del mecanizado, es la rugosidad media aritmética (Ra).

El seguimiento de este indicador permite establecer el comportamiento en servicio del proceso de arranque de viruta, ya que depende de numerosos aspectos relacionados con la selección de las condiciones de corte: geometría de la herramienta, velocidad de corte, avance, profundidad de pasada, fluidos de corte, etc. Pero la rugosidad superficial también está condicionada por otros factores del proceso de tipo aleatorio, como son: las condiciones de la herramienta, el estado de la máquina-herramienta, la aparición de vibraciones, etc., aspectos dinámicos difíciles de evaluar, que implican que la estimación teórica del parámetro Ra no se pueda realizar de forma precisa.

En los procesos de mecanizado el torneado representa una operación fundamental y concretamente el cilindrado una de las operaciones más comunes de arranque de viruta implicadas en una amplia variedad de industrias, donde la calidad es un factor muy importante en la producción. La rugosidad superficial y las tolerancias, son los parámetros críticos de mayor evaluación en el control de calidad del proceso productivo de muchas de las piezas mecanizadas. Los consumidores de estas piezas cada vez demandan un mejor acabado superficial y más estrechos márgenes de tolerancias, pero con menores costos, lo cual motiva hacia la investigación de los procesos que originan dicha calidad superficial para determinar la influencia de las variables involucradas en el acabado final.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es necesario evaluar la rugosidad superficial en el proceso de torneado de un acero AISI 4140 basado en las normas ISO 1302 para verificar la calidad de las piezas?



¿Es necesario seleccionar el inserto para determinar la incidencia de la velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad de husillo en la rugosidad superficial media en el proceso de torneado del acero AISI 4140?

¿Es necesario determinar la rugosidad superficial del acero AISI 4140 con un rugosímetro para obtener los valores de la rugosidad media (Ra) y verificar que los valores medidos estén en los rangos establecidos por la norma ISO 1302:2002?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La evaluación de la rugosidad superficial en el proceso de torneado de un acero AISI 4140 basado en las normas ISO 1302 permite verificar la calidad de las piezas.

1.3.2. Hipótesis específicas

- La selección del inserto permite determinar la incidencia de la velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad de husillo para medir la rugosidad superficial media en el proceso de torneado del acero AISI 4140.
- La determinación de la rugosidad superficial del acero AISI 4140 con un rugosímetro permite obtener valores de la rugosidad media (Ra) y verificar que los valores medidos estén en los rangos establecidos por la norma ISO 1302:2002

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La demanda de profesionales con bases sólidas en las diferentes áreas de conocimiento de las ingenierías, en este caso en el área de manufactura es cada día mayor ya que se requiere de profesionales calificados con robusta formación teórica y



de amplios conocimientos técnicos en operaciones que involucran el arranque de viruta para la obtención de piezas geométricas determinadas, tolerancias muy cerradas y acabados de alta calidad. (Roldan, 2016).

La calidad, fiabilidad y manejo en servicio solicitado de una pieza mecanizada dependen de manera significativa del acabado superficial resultante del proceso de torneado. La mejora de las condiciones de mecanizado es elemental para obtener piezas de la mejor calidad al menor precio de producción; tal es así que la calidad superficial se ve reflejado en la rugosidad de las partes que se mecanizó, entonces para mejorar el acabado superficial se busca minimizarla, de modo que este trabajo muestra la conducta de la rugosidad obtenida en la barra de un acero AISI 4140, sometido al proceso de torneado cilíndrico para comprobar la calidad superficial en base a las Norma ISO 1302.

Los manuales de máquinas-herramientas recomiendan límites de mecanizado específicos, empero dichos límites no precisamente satisfacen la necesidad de un mecanizado económico y sus sugerencias están elaboradas para un cierto tipo de máquina y bajo condiciones bastante concretas que no precisamente se tienen a disposición en un taller o laboratorio de mecanizado. En oportunidades la selección de parámetros de cada componente se hace tomando como alusión el juicio y la vivencia del operador, sin embargo, son bastantes los recursos relacionados en esta clase de procesos y no es tan simple conocer el efecto del ajuste de los parámetros de todos los componentes sobre la variable de trabajo y sobre el manejo de los demás parámetros.

Un ingeniero con conocimiento basto en los procesos de manufactura y dominio de los parámetros de mayor incidencia en las operaciones de corte, será capaz de generar soluciones óptimas en la manufactura de piezas que involucran ajustes,



tolerancias dimensionales, así como rugosidades que permitan un correcto funcionamiento y la alta calidad dentro de estándares internacionales. (Roldan, 2016)

En el presente documento se plantea una propuesta para la mejora del acabado superficial de un acero AISI/SAE 4140, analizando la rugosidad superficial de este material después de la operación de cilindrado en el centro de mecanizado de JMC soluciones. El análisis que aquí se realizó tuvo como objetivo conjugar tres variables, velocidad de corte (V_c), velocidad de avance (F) y la profundidad de corte (P), en la operación del cilindrado para obtener la rugosidad mínima, además de estas tres variables se tuvo en cuenta el desgaste de los insertos.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la rugosidad superficial en el proceso de torneado de un acero AISI 4140 basado en las normas ISO 1302 para verificar la calidad de las piezas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Seleccionar el inserto y determinar la incidencia de la velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad de husillo para medir la rugosidad superficial media en el proceso de torneado del acero AISI 4140.
- Determinar la rugosidad superficial del acero AISI 4140 con un rugosímetro para obtener los valores de la rugosidad media (R_a) y verificar que los valores medidos estén en los rangos establecidos por la norma ISO 1302:2002.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Calle y Valencia (2020) en su tesis análisis comparativo de la influencia del sistema de mínima cantidad de lubricación con aceite vegetal y sintético en operaciones de fresado CNC del acero AISI 4140; usando aceite sintético y vegetal con un sistema de mínima cantidad de lubricación MQL, por sus siglas en inglés, con variaciones de 25 ml/h y 50 ml/h para mecanizar en superficies con diferentes inclinaciones, estudiaron la calidad de superficie mediante el uso del rugosímetro mitutoyo midiendo la rugosidad (Ra). En los ensayos variaron los parámetros de corte como la velocidad de corte (V_c) y el avance por diente (f_z) según las recomendaciones del fabricante de la herramienta utilizada para el acabado, manteniéndose sin variación la velocidad del husillo en 6000 rpm con profundidad de corte en 0.2 mm. Con los datos obtenidos realizaron un estudio en base al método estadístico ANOVA que les permitió encontrar un intervalo de confiabilidad de los ensayos, lo cual les permitió validar su trabajo; además determinaron que para este estudio la mejor calidad superficial se logra usando en el sistema MQL aceite vegetal con 50 ml/h, velocidad de corte 220 m/min y avance por diente de 0.05 mm/z.

Sullon y Vásquez (2017) en su estudio que desarrollaron para investigar en la línea de Procesos de Manufactura; en cómo influyen ciertos parámetros cuando se mecaniza un material tan maleable como el Aluminio 6061 T6. Los autores para mecanizar el aluminio requirieron que la herramienta de corte cuente con ciertas características especiales, por ello utilizó una cuchilla de acero rápido con las



condiciones necesarias para que permita la evacuación eficiente del material y evitar arruinar la pieza y la herramienta de corte.

También aprovechando la elevada conductividad térmica del aluminio y que el proceso de refrigeración de la herramienta de corte no requiere demasiado caudal de líquido refrigerante, solo el suficiente para evacuar material desprendido; utilizó dos fluidos de corte como son: SHELL DROMUS OIL B y CAM 2 OIL PRODUCTS SOLUBLE OIL; esperando detectar su influencia en el proceso de mecanizado.

La fuerza de corte para el maquinado del ALUMINIO 6061-T6 se obtuvo con el diseño propuesto arrojando valores que están entre 12.5 Kg y 34.5 Kg. Para diferentes combinaciones de avances y cambiando el fluido de corte.

Roldan (2016) en su trabajo de tesis incluyó la documentación del desarrollo experimental de las fuerzas de corte, así como también información básica para comprender lo relativo al proceso de torneado, que será un documento de apoyo.

El autor manifiesta que esta es una primera etapa en la medición de fuerzas de corte en el cual logró adquirir experiencia en el manejo de los medidores de fuerzas y los equipos acoplados. Con la elaboración de este trabajo logró una mejor comprensión en las operaciones con arranque de viruta, factor importante en el área de manufactura que se verá reflejado en la toma de decisiones en la práctica profesional.

Así mismo considera que la medición experimental de las fuerzas de corte es una herramienta para la optimización de los procesos de maquinado, buscando hacer más eficiente la producción de productos, e igualmente la capacidad de control del proceso.

Por último Roldan, manifiesta que el presente trabajo que desarrolló puede ayudar a la mejora de estrategias del proceso de mecanizado, además de proporcionar



información para la investigación como; formación de viruta, desgaste de la herramienta, validación de modelos matemáticos, mejora en la elección de la geometría de corte y comportamiento real que presentan diferentes materiales.

Villacres (2016) en su trabajo experimental realizado en acero AISI 1045 maquinado en torno con diferentes parámetros de corte, se observa que estos fueron sometidos a pruebas de dureza, micrografía, espectrometría por chispa, rugosidad, temperatura y elementos finitos, con la finalidad de determinar el mejor sistema de lubricación y tipo de ángulo de inserto para un mejor acabado. Los parámetros principales que identificó para mejorar el acabado superficial en el proceso de torneado del eje posterior fueron: ángulo de inserto, velocidad de avance, velocidad de giro del husillo y profundidad de corte; estos parámetros tomaron del programa Coroguide de la marca Sandvik, que les proporcionó para las herramientas de este estudio, de los cuales obtuvieron como resultado que con una velocidad adecuada tanto para el giro del husillo como para el avance un inserto de mayor ángulo (1.2) y una profundidad mínima (0.1mm) obtuvieron resultados favorables.

Morales *et al.* (2014) en su artículo de investigación experimental se centró en investigar los efectos de los parámetros de corte en la rugosidad superficial durante el torneado de acabado en seco a altas velocidades del acero inoxidable AISI 316L utilizando dos insertos de corte.

Los parámetros de corte fueron comparados utilizando un análisis de varianza y de regresión. Como principales resultados se obtuvieron el efecto significativo del avance de corte, los insertos y el tiempo de maquinado, así como sus interacciones en la rugosidad superficial.



Para el inserto GC1115 (1) el mejor desempeño correspondió a la velocidad de corte de 400 m·min⁻¹, mientras que para el GC2015 fue a 450 m·min⁻¹. La rugosidad superficial manifestó un mejor comportamiento para el avance de 0,08 mm·r⁻¹ en todas las velocidades empleadas en este estudio.

Vargas *et al.* (2014) en su artículo de investigación manifiestan que la calidad superficial es uno de los indicadores de desempeño que tiene efecto sobre la aceptación o rechazo de un producto terminado. Un producto terminado que no cumpla con el acabado superficial requerido por el cliente es garantía de la generación de costos en el proceso de corte de metales manifestándose a través de grandes cantidades de desperdicio de material, re-trabajo de piezas, tiempos extras, etc.

El artículo presenta un estudio sobre la influencia de los parámetros de corte en la calidad superficial en el proceso de torneado cilíndrico de aceros. El trabajo experimental que desarrollaron controlaron el proceso de mecanizado y establecieron valores fijos para los parámetros de Velocidad, Avance y Profundidad de corte. Utilizaron una técnica estadística basada en el análisis de varianza (ANOVA) y la Metodología de la Superficie de respuesta para establecer el grado de dependencia del acabado final con los parámetros de corte y obtener un modelo que permitió que la rugosidad superficial pueda predecirse mediante la combinación óptima de los factores de estudio, logrando así que las especificaciones dimensionales proporcionales en el diseño de las piezas puedan cumplirse.

Castellano y Martínez (2009) en este trabajo, presentaron una metodología para evaluar la maquinabilidad por torneado de un acero trefilado rectificado grado SAE 1020 fabricado en Colombia. A partir de fijar unas condiciones de corte que garantizaron la rotura de viruta, emplearon, una profundidad de pasada de 1.25 mm en



combinación con un avance de 0.24 mm/rev, con velocidades de corte de 200, 240 y 280 m/min.

Como herramienta de corte, utilizaron un inserto de metal duro no recubierto cuyo código es CNMG 432 ISO P40, montado sobre un porta inserto MCLNL-2525M12. El proceso que efectuaron fue un torneado exterior en seco. Controlaron la evolución del desgaste en la superficie de incidencia, hasta alcanzar el criterio de interrupción de $VB = 0.3$ mm. Los datos que obtuvieron fueron analizados siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma ISO 3685:1993. Como resultado de los ensayos realizados, obtuvieron: una velocidad $V_{15'}$ de 247m/min, mientras que la $V_{30'}$ fue de 215/min con una constante C de 422m/min. Las rugosidades superficiales que encontraron disminuyeron a medida que aumentaba la velocidad de corte del ensayo. Los tipos de viruta preponderantes fueron del tipo helicoidal larga y corta respectivamente.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Mecanizado

El mecanizado, es un proceso de manufacturación, comprendido en un conjunto de operaciones de corte; con el fin de remover material de una determinada pieza, ya sea por arranque de viruta, la cual consisten en desprender material mediante procedimientos de desbaste donde se elimina bastante material originando poca precisión y de acabado donde ocurre lo contrario; sin arranque de viruta, que comprende en proceder a un amasado, laminado o conformado del material y por abrasión, la cual se origina por la eliminación de la materia prima desprendida en partículas (Roldán, 2016).



El mecanizado se clasifica en dos tipos:

- Cuando la herramienta de corte esta fija, mientras se mueve la pieza de trabajo.
- Cuando la herramienta de corte es movable, mientras la pieza de trabajo permanece fija.

2.2.2. Torno

Es una máquina que permite el mecanizado de piezas por revoluciones, provocando el desprendimiento de material de la pieza al estar en contacto con una herramienta de corte fija transversal (Argumedo, 2008).

El torneado se lo puede definir como una operación realizada por un torno, para poder obtener piezas cilíndricas que giran alrededor de un plato, donde la herramienta de corte se desplaza por la torreta en dirección paralela al eje, donde la profundidad de la herramienta se ubica antes de ponerlas en contacto con el material, a través de una herramienta dividida en una plaquita fabricada de material duro afilado y un mango soldado (Mustapha, 2017).

Argumedo (2008) indica, que las operaciones a realizarse en el torno son:

- Torneado cónico
- Refrentado
- Perfilado
- Tronzado
- Roscado



- Moleteado
- Mandrinado
- Ranurado
- Taladrado
- Escariado
- Cilindrado

Pernía *et al.* (2018) refieren que las operaciones más comunes a realizarse en el torno son:

- Cilindrado, es una operación ejecutada en el torno, que permite la reducción del diámetro de la barra del material, obteniendo una geometría cilíndrica requerida.
- Roscado exterior, consiste en una operación que permite describir una trayectoria helicoidal cilíndrica exteriormente alrededor de un eje, por ejemplo, tornillos.
- Roscado interior, consiste en una operación que permite describir una trayectoria helicoidal cilíndrica interiormente alrededor de un eje, por ejemplo, tuercas.
- Refrentado, es una operación determinada que permite aplanar una superficie de manera perpendicular al eje de rotación.
- Moleteado, consiste en el marcado que se le da a un eje determinado para facilitar el agarre manual.
- Ranurado, es un canal elaborado alrededor de un eje definido.

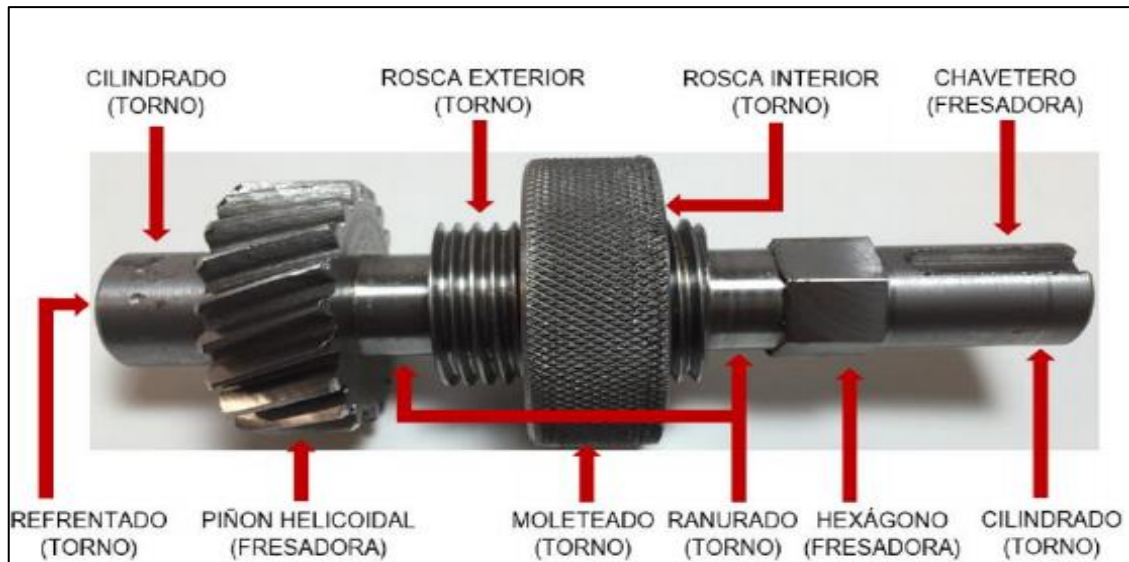


Figura 1. Principales operaciones de torneado

Fuente: Pusey (2013).

2.2.3. Operaciones de torneado

El torneado es un proceso en el que la parte de trabajo está girando mientras se máquina. El material inicial suele ser una pieza fabricada por otros procesos como fundición, forjado, extrusión o estirado (Kalpakjian, 2002).

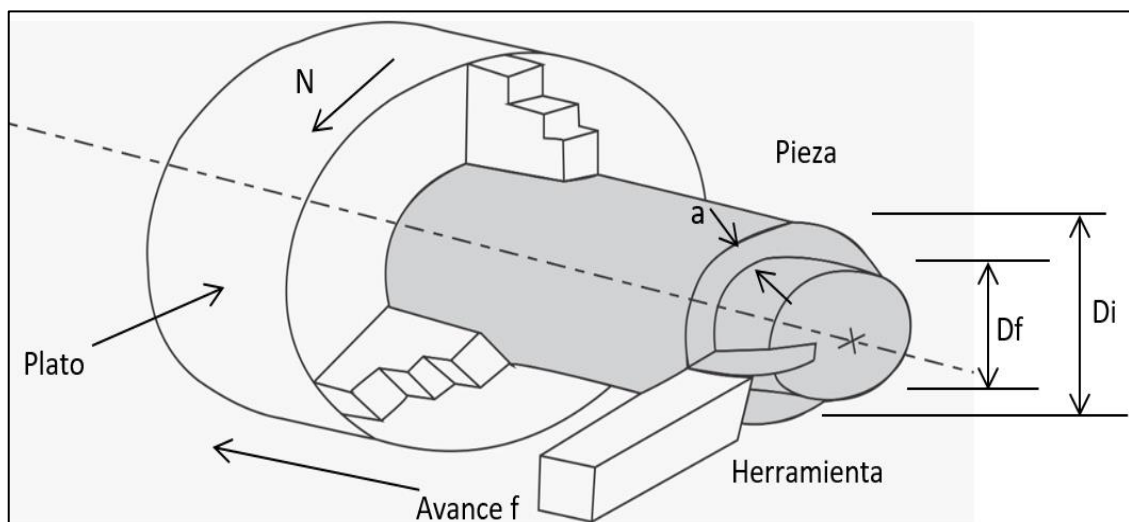


Figura 2. Esquema de una operación de cilindrado, mostrando la profundidad de corte a , y el avance f . La velocidad de corte es la velocidad superficial de la pieza en la punta de la herramienta

Fuente: Pusey (2013).

En la operación de cilindrado, la pieza se gira y una herramienta de corte (buril o inserto) quita una capa de material al moverse hacia la izquierda; La herramienta de corte se ajusta a determinada profundidad de corte (medida en mm o en pulg) y se mueve hacia la izquierda con cierta velocidad, cuando gira la pieza. El avance o la velocidad de avance es la distancia que recorre la herramienta en cada revolución de la pieza (mm/rev o pulg/rev). Como consecuencia de esta acción se produce una viruta, que se mueve cuesta arriba por la cara de la herramienta.

Durante el proceso de torneado se establecen ciertos parámetros dependiendo de la operación que se desee realizar. Estos parámetros son controlables y medibles, pero a su vez hay otros que no se pueden controlar, sino que son el resultado de la combinación de todo el proceso en general, como por ejemplo la fuerza de corte y la rugosidad superficial. Los parámetros que se fijan para trabajar son la velocidad de corte, profundidad de corte, avance y velocidad de rotación del husillo.

2.2.4. Parámetros de torneado

Los procesos de mecanizado debido al trabajo generado, están expuestos en la Figura 6, los mismos que son:

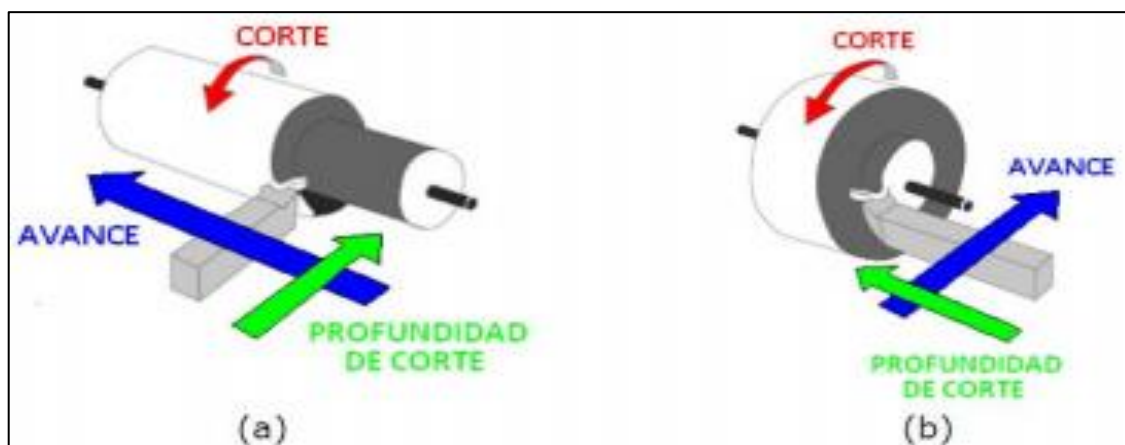


Figura 3. Proceso de Torneado a) Cilindrado, b) Refrentado

Fuente: Pusey (2013).



a) Velocidad de corte

Se define como la velocidad lineal de una herramienta conectada a una máquina determinada, de un diámetro mayor de una pieza en contacto, expresada en m/min, donde se genera el desprendimiento de material (Lobos, 2017).

Pusey (2013) indica que la fórmula para aplicar las velocidades de corte según el Sistema Métrico es:

$$Vc = \frac{\pi n D}{1000}$$

Donde:

n = Número de Revoluciones

D = Diámetro del eje

Vc = Velocidad de corte

b) Velocidad de avance

Consiste en la velocidad relativa que tiene una herramienta al enfrentarse al material para ser eliminado, correspondiente al desplazamiento lineal, expresada en mm/revolución (Lobos, 2017).

c) Profundidad de corte

Se define como el desplazamiento perpendicular que tiene la herramienta frente al material de trabajo, donde arranca la superficie de la pieza en un número de pasadas definida en mm (Lobos, 2017).



d) Velocidad de giro o husillo

Es la velocidad que es directamente proporcional a la velocidad de corte y diámetro de la herramienta (Montilla & Ríos, 2006).

La fórmula que se utiliza para determinar la velocidad del husillo es:

$$N = \frac{60 \cdot V_c}{\pi \cdot D}$$

Donde:

N = Velocidad del husillo en rpm

D = Diámetro del eje

V_c = Velocidad de corte

e) Tiempos de mecanizado

Es el tiempo necesario por pasada (Montilla & Ríos, 2006).

El tiempo de mecanizado se determina de la siguiente manera:

$$T_m = \frac{L \cdot n}{V_a}$$

Donde:

T_m = Tiempo de mecanizado

L = Longitud a mecanizar

N = Número de pasadas

V_a = Velocidad de Avance



2.2.5. Acero AISI 4140

El acero aleado AISI 4140 es un acero de baja aleación que contiene cromo, molibdeno y manganeso. Tiene alta resistencia a la fatiga, resistencia a la abrasión y al impacto, tenacidad y resistencia a la torsión (AZoM, 2019).

Es usado, generalmente, para construcción de maquinaria, que posee una alta resistencia, especialmente, en medidas pequeñas y medianas. El tratamiento térmico de fabricación es templado y revenido (temple tenaz bonificado), por lo que no se requeriría un tratamiento térmico posterior, a no ser que así lo exija la aplicación y en ese caso, se templaría en aceite para obtener propiedades mecánicas más elevadas (Iván, 2016).

También se conoce como Acero de grado maquinaria al Cromo-Molibdeno con dureza aproximada de 28-34 HRC, buena resistencia a la tensión, torsión y a la flexión para piezas y partes de maquinaria de uso general (Sisa, 2012).

2.2.6. Propiedades del acero AISI 4140

En las Tablas 1 y 2 se detallan las propiedades del acero AISI 4140, así como las equivalencias en otras normas usadas en la industria mecánica, también el porcentaje con que cada elemento químico lo conforma.

Además, se especifican las propiedades físicas y mecánicas; entre ellas la dureza, la elasticidad, resistencia a la tracción, entre otros.

Tabla 1. Propiedades químicas del acero laminado AISI 4140

Elemento	Valor %	Código de color	Equivalencia
C	0.38 – 0.43		AISI /SAE (4140)
Si	0.15 – 0.35		
Mg	0.75 – 1.00		W. Nr (1.7225)
P	0.030	Dorado / Verde	Din (42 CrMo4)
S	0.040		JIS (SCM4)
Cr	0.80 – 1.10		AFNOR (42CD4)
Mo	0.15 – 0.25		

Fuente: Iván (2019).

Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas del acero AISI 4140

Propiedades	Valor
Esfuerzo de tracción	90 - 105 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación	min 12%
Reducción en área	min 50%
Resistencia al impacto	aprox. 25 J
Dureza	210 - 240 HB
Módulo o resistencia al corte	80 GPa
Coefficiente de Poisson	0.27 - 0.30
Elasticidad límite	415 MPa
Alargamiento a la rotura (50mm)	25.70%
Módulo de elasticidad	190 - 210 GPa

Fuente: AZoM e Ivan (2019).

2.2.7. Características del acero AISI 4140

Este tipo de acero se caracteriza por ciertos elementos propios, esto puede ser observado con una descripción general en la Tabla 3.

Tabla 3. Descripción del acero AISI 4140

Tipo	Descripción
Resistencia	Por su alta resistencia a la tracción, compresión y torsión, es usado para fabricar piezas móviles.
Maquinado	Este acero se comporta muy bien en el acabado superficial y debido al % de Cr que posee, su resistencia a la corrosión es notoriamente mayor.
Soldadura	No recomendable para producir piezas mediante aporte de soldadura, las zonas cercanas a los cordones de unión tienen a templarse por lo tanto aumenta la fragilidad.
Ductilidad	Buenos resultados con piezas estampadas y embutidas, solo realizando estos procesos en caliente. Recomendable en piezas forjadas y aconsejable en elaboración de herramientas.
Tratamiento Térmico	Gran templabilidad tanto en capas superficiales como en el núcleo. Para obtener mayor dureza deben ser cementados y templados al aceite. Recomendado para piezas de tamaño mediano.

Fuente: Ficha técnica acero AISI 4140.

Sánchez (2015) indica que los componentes químicos de un acero AISI 4140, que ayudan a la dureza, tenacidad, disminución a la oxidación, entre otros es:

- Cr, permite que crezca la resistencia al desgaste, pudiendo trabajar a altas temperaturas
- C, aumenta la dureza y resistencia mecánica.
- Mn, brinda mejor tratamiento térmico, resistencia mecánica, abrasión y maquinado.
- Mo, origina mayor capacidad de endurecimiento, resistencia al desgaste y a la tenacidad.
- Ni, aumenta la resistencia, tenacidad y oxidación.
- P, genera resistencia a la oxidación, templabilidad y maquinabilidad.
- S, mejora la maquinabilidad



- Si, aumenta la dureza, resistencia a la oxidación, reduciendo la maquinabilidad

Viloria y Bohórquez (2016) indica que las aplicaciones del Acero AISI 4140 se da en:

- Recipientes que trabajan a presión
- Partes estructurales de aviones
- Ejes de automóviles
- Piezas de transmisión
- Cigüeñales
- Coronas dentadas
- Pernos
- Columnas de prensas
- Vástagos
- Partes de maquinarias
- Varillas roscadas para la industria petrolera

2.2.8. Superficies

Una superficie es lo que tocamos cuando sostenemos un objeto, tal como una parte manufacturada. El diseñador especifica las dimensiones de la parte relacionando entre sí las varias superficies. Estas superficies nominales que representan el contorno superficial que se intenta dar a la parte, se definen mediante líneas en los dibujos de ingeniería. Las superficies nominales aparecen como líneas absolutamente rectas,

círculos ideales, agujeros redondos y otros bordes y superficies que son geoméricamente perfectos. Las superficies reales de las partes manufacturadas están determinadas por los procesos que se usan para fabricarlas.

La variedad de los procesos disponibles en manufactura produce amplias variaciones en las características de la superficie y es importante para los ingenieros entender la tecnología de las superficies (Grover, 2007).

2.2.9. Textura de las superficies

La textura de la superficie que consiste en desviaciones repetitivas y aleatorias con respecto a la superficie nominal de un objeto, se define por 4 elementos: Rugosidad, Ondulación, Orientación y Fallas. Estas formas se ilustran en la Figura 4. Entre estos elementos la rugosidad superficial es la medida más usada.

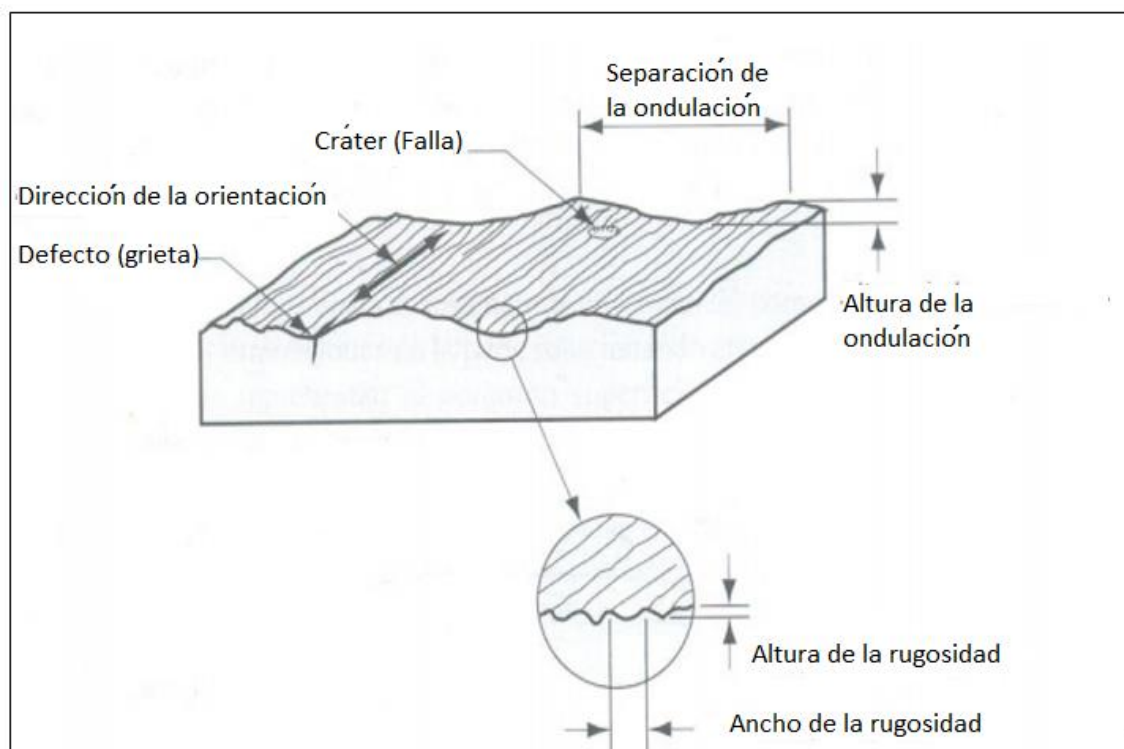


Figura 4. Formas de la textura superficial

Fuente: Chávez & Rojas (2015).



2.2.10. Rugosidad superficial

Kalpakjian (2002) define rugosidad superficial como desviaciones cercanas e irregulares a escala menor que la ondulación. Dice que la rugosidad puede estar sobrepuesta a la ondulación. Se expresa en función de su altura, su ancho y la distancia a lo largo de la cual se mide en la superficie.

Rugosidad Superficial, son irregularidades presentes en una superficie determinada, la cual mide las irregularidades verticales presentes, estableciendo la micro geometría válidas durante el proceso de mecanizado, basados en la media de su profundidad, horizontales o proporcionales, siendo elementos característicos del estado superficial de una pieza o elemento, pudiendo ser medidas por un rugosímetro., reflejándose en la siguiente fórmula (Chávez & Rojas, 2015).

$$Ra = \int_0^{Lm} \frac{|y|}{Lm} dx$$

Donde:

Ra = Media aritmética de la rugosidad

y = Desviación vertical

Lm = Distancia medida

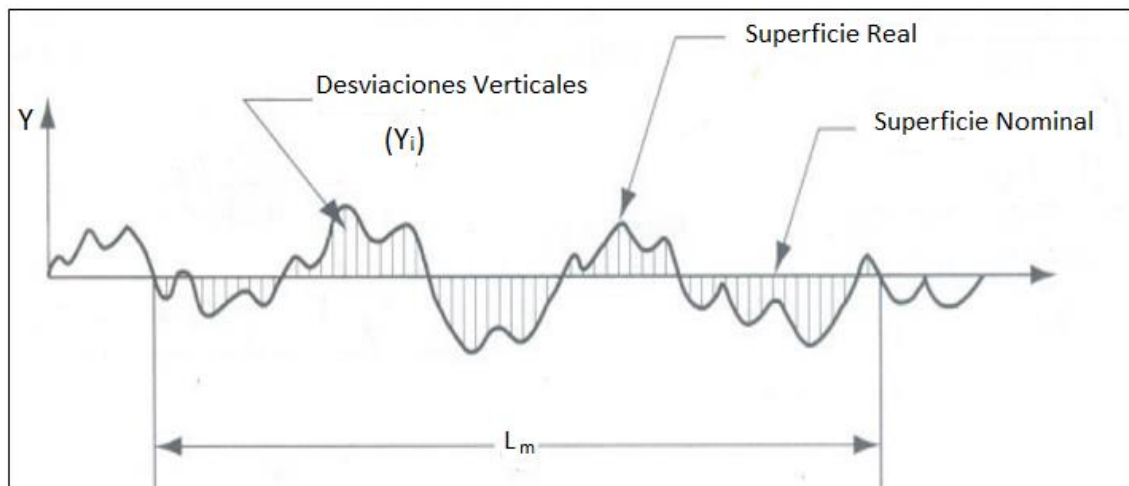


Figura 5. Representación gráfica de la rugosidad promedio

Fuente: Chávez & Rojas (2015).

Sullon & Vásquez (2017) indican que la rugosidad es una rama de la metrología que se encarga del análisis de irregularidades que se producen en el material durante su manufacturación, la cual se utiliza como un indicador de la calidad.

- Los tipos e irregularidades presentes en una superficie se identifican como: Irregularidades mayores (macro geométricas), las asociadas con la variación en tamaño de la pieza, generando paralelismo entre superficies.
- Irregularidades menores (micro geométricas), son ondulaciones originadas por la flexión de la pieza durante el maquinado, falta de homogeneidad del material, entre las más principales y la rugosidad utilizada por herramientas de corte presentadas simultáneamente sobre superficies.

Sullon y Vásquez (2017) indica además que la rugosidad tiene influencia sobre:

- El desgaste de la pieza
- Características de fricción y deslizamiento
- Capacidad de adherencia al aceite



- Resistencia a la corrosión
- Características de ajustes

El principal criterio de rugosidad (Ra), puede indicarse con el correspondiente número de grado de rugosidad de acuerdo a la tabla siguiente, para evitar la mala interpretación de valores numéricos, los cuales pueden anotarse con diferentes unidades (micrones o micro pulgadas).

Tabla 4. Clases de rugosidad

Valores de rugosidad Ra		Números de grados de rugosidad
μm	$\mu\text{pulgadas}$	
50	2000	N 12
25	1000	N 11
12.5	500	N 10
6.3	250	N 9
3.2	125	N 8
1.6	63	N 7
0.8	32	N 6
0.4	16	N 5
0.2	8	N 4
0.1	4	N 3
0.05	2	N 2
0.025	1	N 1

Fuente: ISO 1302: 2002 calidad superficial.

Los valores de rugosidad Ra se clasifican en una serie de intervalos Nx (siendo x un número del 1 al 12) según se indica en la Tabla 4 de clases de rugosidad.

Las clases de rugosidad se pueden agrupar, según la apreciación visual o táctil, en los siguientes grados:



- N1-N4 " La superficie es especular.
- N5-N6 " Las marcas de mecanizado no se aprecian ni con el tacto ni con la vista (pero si con lupa).
- N7-N8 " Las marcas de mecanizado se aprecian con la vista pero no con el tacto.
- N9-N12 " Las marcas de mecanizado se aprecian con la vista y con el tacto.

Tabla 5. Clase de rugosidad-aplicación

Rugosidad	Aplicación
N1	Espejos. Bloques patrón
N2	Planos de apoyo de relojes comparadores
N3	Herramientas de precisión. Cojinetes super acabados. Acoplamiento estancos de alta presión en movimiento alternativo. Superficies bruñidas de retención sin retén
N4	Soportes de cigüeñales y árboles de levas. Pies de válvulas. Superficies de cilindros de bombas hidráulicas. Cojinetes lapeados. Pernos de árboles para rotores de turbina, reductores...
N5	Árboles acanalados. Superficie exterior de pistones. Acoplamiento efectuados a presión. Asientos de válvulas...
N6	Tambores de freno. Agujeros brochados. Cojinetes de bronce. Dientes de engranaje. Superficies de piezas deslizante, como patines y sus guías.
N7	Caras de engranajes. Árboles y orificios de engranajes. Cara de émbolo.
N8	Pernos y cojinetes para transmisión (montaje a mano). Superficies de acoplamiento de partes fijas desmontables.
N9	Superficies laterales de retención con retenes normales.

Fuente: ISO 1302: 2002 calidad superficial.

2.2.11. Dirección de las estrías

Símbolo gráfico	Interpretación y ejemplo	
=	Paralelo al plano de la vista en el que se usa el símbolo.	
⊥	Perpendicular al plano de proyección de la vista en el que se usa el símbolo.	
X	Cruzado en dos direcciones oblicuas relativas al plano de proyección de vista en el que se usa el símbolo.	
M	Multidireccional	
C	Aproximadamente circular con respecto al centro de la superficie donde se aplica el símbolo.	
R	Aproximadamente radial con respecto al centro de la superficie donde se aplica el símbolo.	
P	Los surcos superficiales son en particular, no direccionales o protuberantes	
<p>Si fuera necesario especificar un patrón superficial que no estuviera claramente definido por estos símbolos, debe hacerse incluyendo una nota adecuada en el dibujo.</p>		

Figura 6. Orientación posible de una superficie

Fuente: ISO 1302 calidad superficial (2002).



2.2.12. Medición de la rugosidad superficial

Hay varios instrumentos comerciales disponibles, llamados rugosímetros superficiales, para medir y registrar la rugosidad superficial. Los que se usan con más frecuencia tienen un estilete de diamante, que se mueve sobre la superficie siguiendo una línea.

La distancia que recorre el estilete se llama recorrido; en general va de 0.08 a 25 mm; lo característico para la mayor parte de las aplicaciones es 0.8 mm. La regla general es que el corte debe ser suficientemente grande para abarcar de 10 a 15 irregularidades de rugosidad, y también todo el perfil ondulado.

Para reconocer la rugosidad, las trazas del rugosímetro se registran en una escala vertical exagerada, de algunos órdenes de magnitud mayor que la escala horizontal. La magnitud de la escala se llama ganancia del registrador. Así, el perfil registrado está bastante distorsionado, y la superficie parece ser mucho más áspera de lo que en realidad es. El registrador compensa cualquier perfil ondulado; sólo indica la rugosidad. Un registro del perfil superficial se hace con instrumentos mecánicos y electrónicos.

Por el radio finito del estilete de diamante, su rugosidad es menos rugosa que la superficie real. El diámetro más usado en la punta del estilete es de 10 μm .

Mientras menor sea el diámetro del estilete y más lisa la superficie, la trayectoria del estilete se acercará más a la rugosidad real.

La rugosidad superficial se puede observar en forma directa a través de un microscopio óptico, o con un microscopio electrónico de barrido. Las fotografías estereoscópicas son muy adecuadas para tener vistas tridimensionales de superficies, y también se pueden usar para medir la rugosidad superficial.



2.2.13. Importancia de las superficies

Las superficies son importantes en el aspecto comercial y tecnológico por numerosas razones, existen varias de ellas de acuerdo a las diferentes aplicaciones del producto:

- 1) Razones estéticas, estas incluyen las superficies que son tersas, libres de arañazos y defectos pueden producir una impresión favorable al consumidor;
- 2) Las superficies afectan la seguridad;
- 3) La fricción y el desgaste dependen de las características de la superficie
- 4) Las superficies afectan las propiedades físicas y mecánicas, por ejemplo, las grietas superficiales pueden ser puntos de concentración de esfuerzos;
- 5) Las superficies afectan el ensamble de las partes; Por ejemplo, la resistencia de las juntas pegadas con adhesivos se incrementa cuando las superficies son ligeramente rugosas; y
- 6) Las superficies tersas hacen mejores contactos eléctricos.

De igual manera, Smith (2004) comparte dicho concepto sobre la importancia de las superficies al decir: “Rugosidad Superficial. En general, cuanto más liso sea el acabado superficial de la probeta metálica, mayor será su resistencia a la fatiga. Las superficies rugosas generan concentración de tensiones que facilitan la formación de fisuras por fatiga”.



2.2.14. Rugosímetro

Es un instrumento de medida de la rugosidad superficial. El rugosímetro determina electrónicamente el perfil de la pieza en una sección transversal con respecto a la dirección de las estrías.

Se mide la profundidad de la rugosidad media y el valor de la rugosidad media R_a , expresada en micras.

$$1 \text{ micra} = 1 \mu\text{m} = 0.000001 \text{ m} = 0.001 \text{ mm}$$

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

Este instrumento se compone de las siguientes partes principales:

- Aguja (Palpador): se introduce entre los picos y valles. Es de diamante
- Captador: Registra los movimientos verticales de la aguja
- Patín: Se apoya en la superficie y sirve de filtro mecánico. (Son de rubí sintético)
- Motorización: Empuja y arrastra la aguja sobre la superficie.
- Electrónica: Registra los datos del captador, los procesa y obtiene los parámetros deseados.

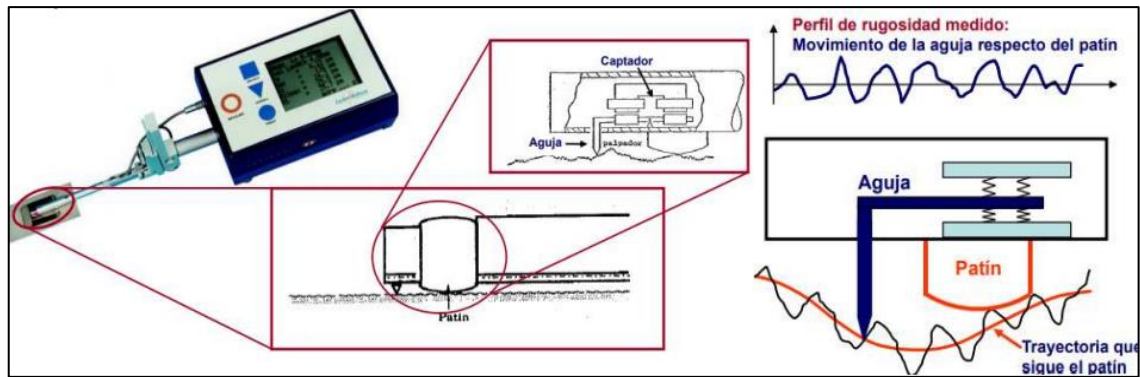


Figura 7. Procedimiento de uso del rugosímetro

Fuente: MITUTOYO (2016).

2.2.15. Norma ISO 1302 de 2002 para calidad superficial

En esta norma se establece la abstracción matemática y ponderada de la calidad superficial de los materiales; donde se contempla el proceso de fabricación del material y se establecen valores promedio de las rugosidades de las superficies.

La rugosidad de los materiales es un aspecto a tener en cuenta para piezas que están sometidas a fricción y esfuerzos. por ende, en esta norma se muestra el modelo correcto de acotación de superficies, con el fin de que el empleo de las piezas sea de acuerdo al diseño y la necesidad (Calidad Superficial ISO 1302, 2002).

La norma UNE-EN ISO 1302 (2002) la cual adopta íntegramente a la norma ISO 1302 (2002), establece los siguientes símbolos gráficos para la indicación de la calidad superficial en las superficies de una pieza fabricada.

- a) Cuando la superficie de la pieza va a ser obtenida por cualquier proceso de fabricación se usa el símbolo básico mostrado en la figura 8.

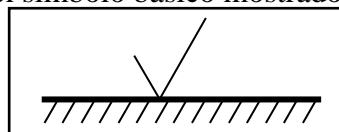


Figura 8. Símbolo básico para denotar la calidad superficial para cualquier proceso de fabricación

Fuente: ISO 1302 (2002).

- b) Cuando la superficie de la pieza va a ser obtenida por procesos con arranque de material como, por ejemplo: torneado, fresado, taladrado, rectificado, entre otros; se emplea el símbolo básico mostrado en la figura 9.

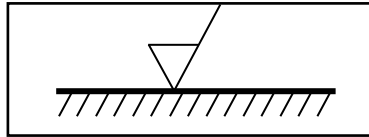


Figura 9. Símbolo básico para denotar la calidad superficial para procesos de fabricación con arranque de viruta

Fuente: ISO 1302 (2002).

- c) Cuando la superficie de la pieza va a ser obtenida por procesos sin arranque de viruta como, por ejemplo: fundición, sinterizado, forjado, doblado, entre otros; se emplea el símbolo básico mostrado en la figura 10.

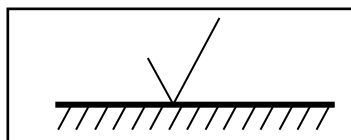


Figura 10. Símbolo básico para denotar la calidad superficial para procesos de fabricación sin arranque de viruta

Fuente: ISO 1302 (2002).

- d) Cuando se requiera una misma calidad superficial para todas las superficies del contorno externo de la pieza al símbolo gráfico se le agrega un círculo como se muestra en la figura 11.

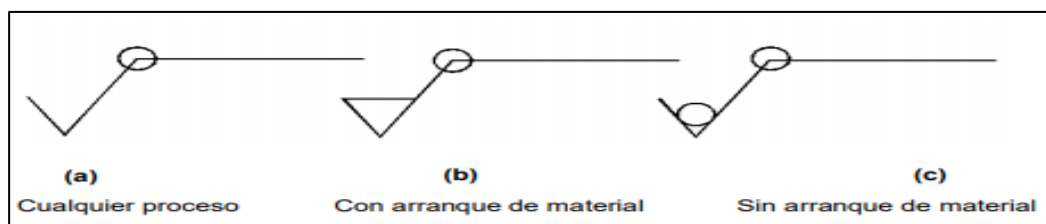


Figura 11. Símbolo para denotar la calidad superficial para todas las superficies del contorno externo de una pieza

Fuente: ISO 1302 (2002).

- e) Cuando se requiera especificar información complementaria de la calidad superficial se usa el símbolo gráfico mostrado en la figura 12.

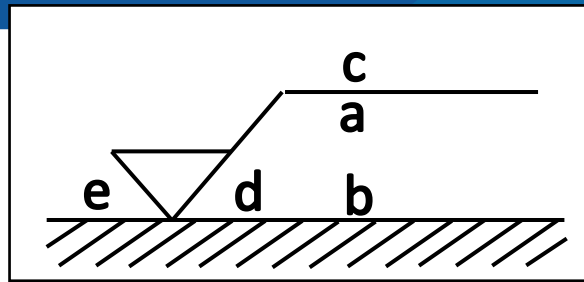


Figura 12. Símbolo para especificar información complementaria de la calidad superficial

Fuente: ISO 1302 (2002).

Las posiciones de las letras “a”, “b”, “c”, “d” y “e” se usan para indicar la siguiente información técnica:

Posición “a”: se usa para indicar un requisito individual de calidad superficial, la cual normalmente se indica mediante la desviación media aritmética de la rugosidad “Ra” (ver figura 12. a) o la altura de la rugosidad en diez puntos “Rz” como se muestra en la figura 12. b.

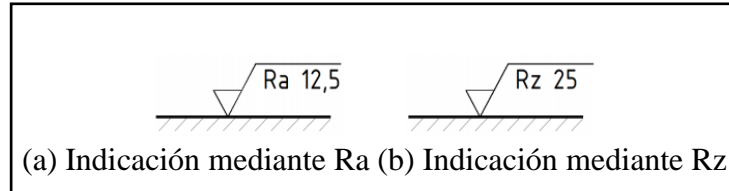


Figura 12. (a-b): Indicación de un requisito individual de calidad superficial

Fuente: ISO 1302 (2002).

Posición “a” y “b”: se usa para indicar dos o más requisitos de calidad superficial, como por ejemplo dos niveles de rugosidad media como se muestra en la figura 13.

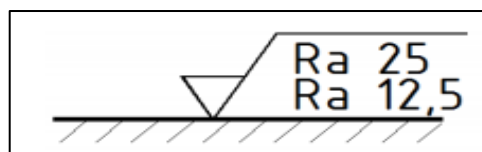


Figura 13. Indicación de dos o más requisitos de calidad superficial mediante Ra

Fuente: ISO 1302 (2002).

Posición “c”: se usa para indicar el método de fabricación, tratamiento térmico, recubrimiento, entre otros, para obtener la superficie; como por ejemplo una superficie rectificada, ver figura 14.

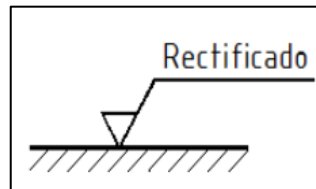


Figura 14. Indicación del método para obtener la superficie

Fuente: ISO 1302 (2002).

Posición “d”: Se usa para indicar los surcos y su orientación en caso de que sea necesario, como se muestra en la figura 15.

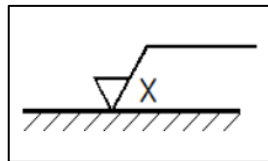


Figura 15. Indicación de los surcos y la orientación en la calidad superficial

Fuente: ISO 1302 (2002).

En la figura 6, se muestran los símbolos para la indicación de los surcos superficiales y su interpretación, de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 1302 (2002).

Posición e: Se usa para indicar valores de sobre medidas para el mecanizado del elemento geométrico especificado, ver figura 16.

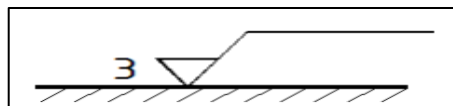


Figura 16. Indicación de sobre medida para mecanizado

Fuente: ISO 1302 (2002).

Tabla 6. Evolución de los símbolos de calidad superficial

	Ediciones de la Norma ISO 1302			Ejemplo ilustrando la publicación principal
	1971 (recomendación) ^a 1974 (primera edición) ^a 1978 (segunda edición) ^a	1992 (tercera edición) ^b	2001 (cuarta edición) ^c	
a)				Ra solo – “regla del 16%”
b)				Otro parámetro distinto de Ra – “regla del 16%”
c)				“Regla del valor máximo”
d)				Ra y longitud de muestreo
e)				Banda de transmisión
f)				Otro parámetro diferente a Ra y longitud de muestreo
g)				Ra y otro parámetro diferente a Ra
h)				Números de longitudes de muestreo en la longitud de evaluación – distinto a 5
j)				Límite inferior
k)				Límite inferior y superior

Fuente: ISO 1302 (2002).



2.2.16. Herramientas de corte

Una herramienta de corte es un dispositivo que se utiliza manual o automáticamente y que sirve para fabricar alguna pieza (Acosta, 2012).

Las herramientas utilizadas en el proceso de torneado son relativamente sencillas en su forma. Las herramientas de torneado son monofilos. El filo consta de dos partes que actúan simultáneamente para realizar el trabajo. El filo principal y el filo secundario (Romero, 1996).

Las propiedades principales que se buscan en un material para herramienta son la resistencia, dureza a altas temperaturas y ductilidad.

Existen dos tipos de herramientas empleadas en el torneado: los buriles y los insertos. Debido a que en este trabajo se emplearán insertos como herramientas de corte solo se describirán las partes principales de un buril.

Ante la expansión de la maquinaria para torneado de alta performance y con control CNC desde hace unos 40 años, el auge que han cobrado los insertos o plaquitas intercambiables fue notorio, al punto de convertirlos actualmente en la herramienta obligada para el torneado de alta velocidad, aún a pesar de su costo.

La gran variedad actual de insertos y porta-insertos en el mercado ha determinado su estandarización bajo normas ISO (o ANSI en Estados Unidos, que emplean medidas inglesas) a fin de facilitar la elección adecuada para cada aplicación.

2.2.17. Insertos

Son placas de corte que se utiliza en el mecanizado de aceros las cuales en su composición tienen otro tipo de materiales que las anteriores como son carburo de

tungsteno, carburo de titanio, de tántalo, de niobio, de cromo, de molibdeno y vanadio, en algunos casos y dependiendo el uso se incluyen carbonitruro de titanio o níquel. Las características de los insertos como son forma, tamaño, material depende directamente del material a trabajar, terminado requerido, y otros requerimientos (Correa, 2008).



Figura 17. Insertos para torneado

Fuente: Mitsubishi materials corporation (2017).

2.2.18. Estandarización de insertos: Norma ISO 1832

Esta norma agrupa los insertos de metal duro en 10 categorías diferentes que contemplan diversos parámetros. Cada una de estas categorías presenta una multiplicidad de insertos que se designan con símbolos compuestos por letras mayúsculas y/o números, formando una secuencia de identificación del inserto que sigue un orden estricto.

La especificación de las categorías 1 a 7 que veremos a continuación es obligatoria en la secuencia de identificación de todo tipo de insertos, mientras que la de las categorías 8, 9 y 10 es optativa y depende de cada fabricante. La categoría 10 se usa,



generalmente, para ofrecer información especial del inserto, por ejemplo, las características del rompe virutas. Si en la secuencia de identificación del inserto aparece el símbolo de la categoría 10, este se separa de todos los demás símbolos mediante un guion.

Veamos en detalle cada una de las 10 categorías que componen la secuencia de identificación del inserto según ISO, así como los símbolos que representan esas categorías.

1. Forma del inserto: es una letra que indica la forma de la cara superior del inserto. La norma categoriza 16 formas y las más comunes son: redonda, cuadrada, rómbica (de diversos ángulos), triangular y trigonal.
2. Ángulo de alivio frontal o ángulo de incidencia: es una letra que indica la diferencia de 90° medida en un plano normal al borde de corte generado por el ángulo entre el flanco y la superficie superior del inserto. Permite que el filo de corte trabaje libremente y que no se presente roce en la pieza a mecanizar.
3. Tolerancia en las dimensiones: es una letra que define las tolerancias máxima y mínima del tamaño del inserto, designado por el círculo más grande que puede inscribirse dentro del perímetro del mismo.
4. Sistema de sujeción y rompevirutas: es una letra que indica diferencias en el diseño no provistas específicamente en las otras categorías de la secuencia. Las diferencias más comunes son la existencia de agujeros de sujeción, avellanado y características especiales de las superficies de ataque.
5. Longitud de la arista de filo: es un número de dos dígitos (con un cero adelante o no) que indica el tamaño del círculo inscrito (CI) para todos los insertos que



tienen un CI verdadero (formas redondas, cuadrada, triangular, trigonal, rómbica, etc.). El símbolo de esta categoría se representa solamente con números enteros y no se consideran las cifras decimales; si el diámetro del CI es menor de 10 mm se antepone un cero. En el caso de los insertos de forma rectangular y de paralelogramo, que no tienen un CI verdadero, se usan las dimensiones de ancho y largo.

6. Espesor: es un número o letra + número que indica el espesor del inserto en milímetros. El símbolo de esta categoría se representa solamente con números enteros y no se consideran las cifras decimales.
7. Radio de la nariz (o punta): es un número o letra + número que indica el radio de la punta y varía generalmente de 0.03 mm a 3.2 mm. El símbolo de esta categoría se representa solamente con números enteros y no se consideran las cifras decimales.
8. Arista de corte: es una letra (o dos, según el fabricante) que define condiciones especiales, tales como el tratamiento de la arista y el acabado superficial.
9. Dirección de corte: es una letra que indica el sentido de corte que debe llevar el inserto durante el proceso. Puede ser R (derecho), L (izquierdo) o N (neutro o en ambos sentidos).
10. Personalización del producto: a criterio del fabricante.

En su catálogo de insertos, cada fabricante provee las tablas del código ISO que ayudan a identificar cada uno de sus productos.

Para una mejor comprensión de cómo funciona este proceso de identificación, veamos un ejemplo.

Supongamos que la etiqueta de cierto fabricante de un inserto nos brinda la siguiente secuencia de identificación del inserto:

C N M G 12 04 08 E N – MP

¿Cómo interpretamos cada uno de estos símbolos? La figura que sigue reproduce parte de esas tablas que provee el fabricante, donde podemos identificar con el óvalo rojo las características indicadas correspondientes al inserto en cuestión.

Como ejemplo se considera cuatro formas de cómo se interpreta esta simbología, teniendo en consideración las tablas del anexo 2.








Símbolo	Formas de Placa
H	Hexagonal 
O	Octagonal 
P	Pentagonal 
S	Escuadra 
T	Triangular 
C	Rómbica 80° 
D	Rómbica 55° 

Figura 18. Forma del inserto

Fuente: Mitsubishi materials corporation (2017).










Símbolo	Angulo de Incidencia
A	3° 
B	5° 
C	7° 
D	15° 
E	20° 
F	25° 
G	30° 
H	0° 
P	11° 

Figura 19. Angulo de incidencia

Fuente: Mitsubishi materials corporation (2017).

Símbolo	Angulo de radio (mm)
00	Radio
V3	0.03
V5	0.05
01	0.1
02	0.2
04	0.4
08	0.8
12	1.2
16	1.6

Figura 20. Radio de la nariz

Fuente: Mitsubishi materials corporation (2017).

Figura	Filo de Corte	Símbolo
	Filo Vivo	F
	Redonda Filo de corte	E
	Redonda Filo de Corte chaflanado	T
	Filo de corte redondeado y chaflanado	S

Figura 21. Arista de corte

Fuente: Mitsubishi materials corporation (2017).

2.2.19. Estandarización de porta-insertos

La elección del portaherramientas para el inserto se realiza de acuerdo con diferentes modos de mecanizado tales como torneado exterior, frontal y copiado. A tal efecto, el sistema de sujeción del inserto al portaherramientas también está normalizado por ISO y, aunque hay varias, existen cuatro categorías principales, simbolizadas por letras:

P: el inserto es fijado por medio de una palanca que lo empuja sobre su asiento en la herramienta.

C: el inserto se sujetado por una brida a presión, que mantiene al inserto presionado sobre el asiento en el porta-herramientas.

S: el agujero del inserto tiene forma cónica y el inserto es fijado por tornillo.

M: el inserto es fijado por una cuña (o brida y tornillo) que sujeta simultáneamente la parte superior y lateral del mismo.

Tabla 7. Tipos de fijación principal, características y aplicaciones

Tipo de fijación según ISO	Características	Aplicaciones	Esquema
Por palanca (P)	<ul style="list-style-type: none"> Excelente estabilidad Alta exactitud en posición Buena repetibilidad No dificulta la salida de viruta Cambio de inserto rápido y fácil 	<ul style="list-style-type: none"> Torneado exterior, mandrinado de grandes agujeros y todo tipo de mecanizado de pasada ligera a profunda. No recomendado en cortes interrumpidos debido a su pobre sujeción en dirección vertical. 	
Por brida (C)	<ul style="list-style-type: none"> Para insertos sin agujero Exactitud del filo muy elevada Apta para mecanizado interrumpido 	Operaciones de acabado exterior e interior y con diseños especiales en la brida y/o inserto, alta precisión en el mecanizado de copia.	
Por tornillo (S)	<ul style="list-style-type: none"> Gran variedad de insertos Fijación segura Excelente repetibilidad La viruta sale con facilidad Requiere poco espacio 	<ul style="list-style-type: none"> Mecanizado interior de diámetros pequeños. Desde el desbaste ligero exterior al acabado de piezas pequeñas. 	
Por brida-tornillo (M)	<ul style="list-style-type: none"> Gran rigidez Excelente estabilidad Alta exactitud en posición. Buena repetibilidad 	Más accesible en operaciones de copiado exterior.	

Fuente: Mitsubishi materials corporation (2017).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL ESTUDIO

El estudio se desarrolló en la empresa JMC SOLUCIONES INDUSTRIALES E.I.R.L dirección Av. Industrial N° 302-B APIMA, ubicado en el Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa Distrito de Paucarpata.

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

Para la preparación de las probetas y su respectiva evaluación estos se ejecutaron en los meses de enero y febrero del año 2020.

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL ESTUDIADO

El material que se utilizó para evaluar la rugosidad superficial fue el acero en barra AISI 4140 laminado en caliente de la empresa compañía general de aceros.

Así mismo los materiales que se utilizaron para cumplir los objetivos propuestos fueron los siguientes:

- Torno convencional marca:Turn-nado
- Herramienta de Corte: Inserto marca Mitsubishi de torneado DNMG 110408-MA UE6110
- Portaherramientas: de doble fijación (marca Mitsubishi)
- Computadora
- Vernier digital de marca Mitutoyo

- Medidor de Rugosidad (rugosímetro): Mitutoyo modelo SJ210
- Barras de acero laminado en caliente AISI 4140
- Equipo de protección personal
- Norma ISO 1302-2002: Calidad superficial
- Norma ISO 1832: Estandarización de insertos
- Registros de calibración de instrumentos.
- Especificaciones técnicas, normas y estándares aplicables



Figura 22. Vista del uso de herramientas e insumos

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1. Población

En la presente investigación se consideró como población para realizar el presente trabajo al material empleado de probetas cilíndricas en acero inoxidable

austenítico AISI 4140, todo esto con la finalidad de evaluar la rugosidad superficial y compararlos con la Norma ISO 1302.

El acabado de una pieza torneada dependió de muchas variables como es el tipo de maquina mecánica utilizada, las condiciones del estado de la máquina, la herramienta de corte (inserto), la velocidad de avance y de giro con la que se realice el maquinado y capacidad que tenga el operario para realizar el trabajo.

3.4.2. Muestra

Para realizar el presente proyecto se tomaron 12 muestras y se realizaron un análisis estadístico para comparar los niveles de calidad de los acabados superficiales producidos y así 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 este proceso.

Para determinar la muestra de una población no conocida, se utilizó una metodología que establezca el número mínimo de observaciones realizadas, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{w - w^2 Z_{\beta} + 1.4 * Z_{\alpha}^2}{w^2}$$

Donde:

n = Número de muestras mínimas

Z_{α} = Valor correspondiente al nivel de confianza = 1.96 (Tabla 8)

Z_{β} = Valor correspondiente al poder estadístico = 0.15 (Tabla 9)

W = Rendimiento mínimo esperado, basado en el nivel de confianza = 0.95



Tabla 8. Valores de Z_{α}

Nivel de confianza (1- α)		
α	(%)	Z_{α}
0.050	95.0	1.960
0.025	97.0	2.240
0.010	99.0	2.576

Fuente: Lozano (2011).

Tabla 9. Valores de Z_{β}

Poder Estadístico (1- β)		
β	(%)	Z_{β}
0.20	80.0	0.842
0.15	85.0	1.036
0.10	90.0	1.282

Fuente: Lozano (2011).

Por lo que:

$$n = \frac{0.95 - 0.95^2 * 1.036 + 1.4 * 1.96^2}{0.95^2}$$

$$n = 5.47 = 5$$

Tomando en consideración este resultado es que se optó por realizar 5 mediciones del índice de rugosidad por cada probeta para un total de 60 datos recolectados y estos datos son una muestra aceptable para la realización del análisis estadístico que dependió del nivel de confianza que fue del 95%.

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO

Para el análisis e interpretación de los datos la estadística que se utilizó es el MICRO SOFT EXCEL y ANOVA, el cual permitió conocer los valores de la presente



investigación como son la rugosidad superficial y las tolerancias que son mayormente los parámetros críticos evaluados en el control de calidad del proceso productivo de muchas de las piezas mecanizadas.

3.6. PROCEDIMIENTO

3.6.1. Metodología

El método científico que se utilizó fue el método deductivo y la metodología basada en el análisis cuantitativo los cuales se desarrollaron según los objetivos específicos y que se corroboró por medio de los resultados obtenidos por las probetas sometidas a operaciones de cilindrado con diferentes combinaciones de parámetros de mecanizado (velocidad de corte, avance y profundidad de corte).

Nivel de la investigación

Se utilizó la descriptiva- experimental: El que permitió establecer las falencias, fortalezas y debilidades del objeto en estudio con el objetivo de tener un panorama adecuado de las actividades a ejecutar para encontrar la solución al problema, para lo cual es necesario conocer los antecedentes del problema. Se determinó la influencia que tienen los parámetros de corte, tales como el avance, profundidad y velocidad de corte y la geometría de la herramienta de corte (radio de punta), sobre la magnitud de la rugosidad superficial.

Diseño de la investigación

El diseño de esta investigación fue tecnológico ya que por medio del desarrollo de un producto que hace uso de diferentes recursos tecnológicos dará solución a un problema de disposición de productos por arranque de viruta. Se utilizó un rugosímetro

digital y se realizó un diseño factorial de experimentos, que permitió realizar el mecanizado de barras macizas de acero AISI 4140 utilizando un torno convencional.

3.6.2. Desarrollo del procedimiento de investigación

En el siguiente diagrama de flujo se describe el plan de actividades que se utilizó

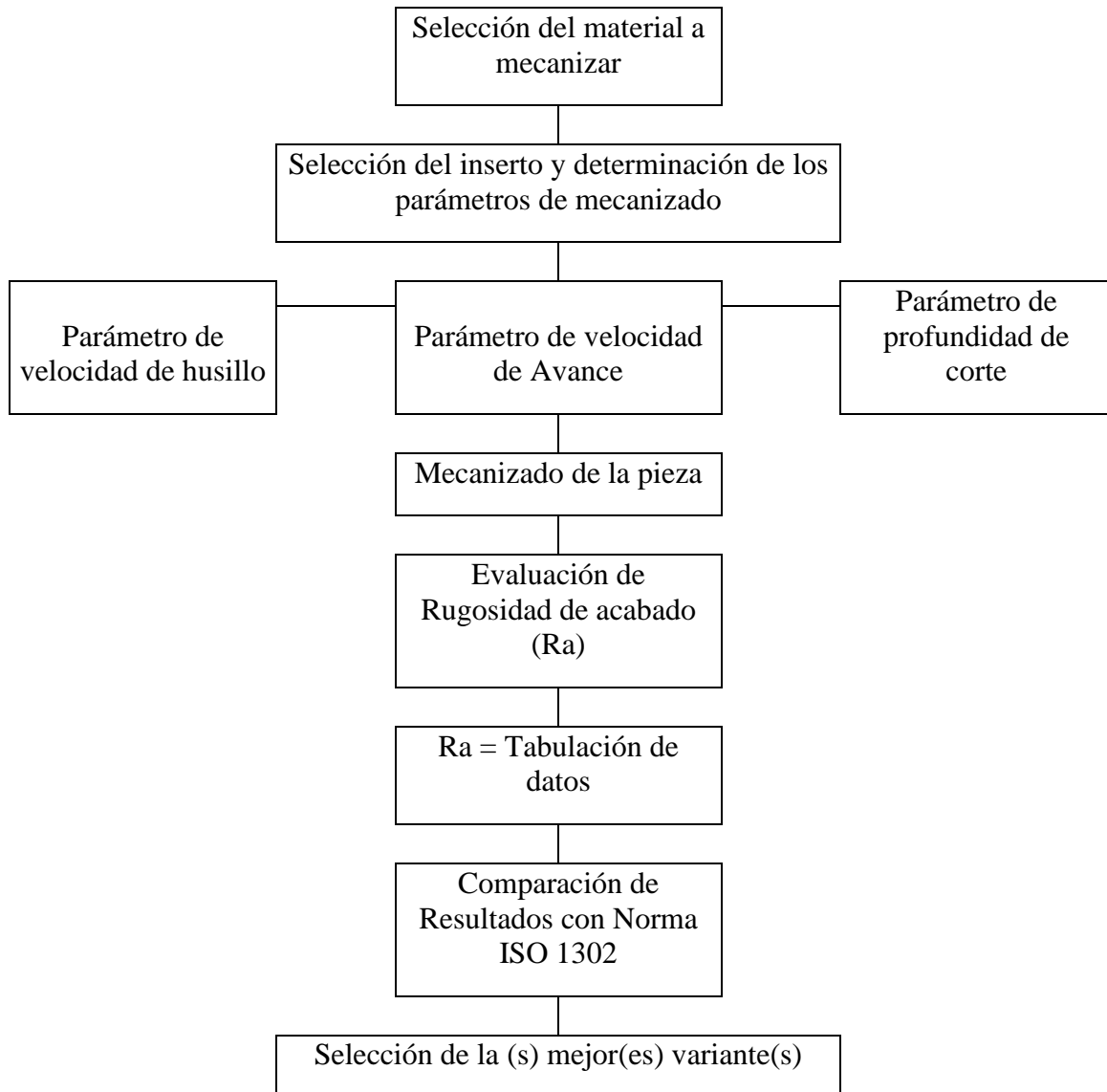


Figura 23. Mapa conceptual de la metodología

Una vez que se recolectaron los datos arrojados se procedió a revisar la información para eliminar posibles errores y manejarla de una manera que facilite su



tabulación usando el criterio de desgaste seleccionado en donde se categorizaron las probetas mediante el análisis y medición de las rugosidades utilizando el rugosímetro.

3.6.3. Técnicas y procedimientos de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó el medio de observación directa donde se llevó el registro detallado de todos los ensayos a los que se sometió la pieza de ensayo y la herramienta para después ser sometidos a una observación más rigurosa y a detalle utilizando el vernier digital y fundamentalmente el rugosímetro.

En el estudio se empleó las siguientes técnicas de recolección para la información.

- Bibliográficas

Se recolectó información referente al tema mediante estudio bibliográfico, revistas técnicas, internet, para tener referencia del resultado al que debemos llegar mediante esta investigación.

- Observación y experimentación directa

Realizada en la Empresa JMC SOLUCIONES INDUSTRIALES, debido a la escases de información sobre el tema.

- Fichas técnicas

Durante el estudio cada uno de los parámetros después del maquinado y su medición de la rugosidad, se guardó la información mediante fichas y registros para luego poder comparar con la Norma ISO 1302.



- **Guías de laboratorios y guías de informes bajo norma**

Las guías de laboratorio ayudaron a tener una idea más acertada ya que se han realizado estudios anteriores, tomando en cuenta las guías normadas para rendir un informe apropiado del estudio sobre las probetas sometidas a diferentes parámetros de estudio.

3.7. VARIABLES

Variable dependiente

Rugosidad superficial del torneado según norma ISO 1302 de un acero AISI 4140

Variable independiente

Verificación de la calidad: Siendo las variables intervinientes la velocidad de avance, profundidad de corte y velocidad del husillo generado por el torno.

3.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En esta etapa de la investigación se caracterizó la superficie de un acero AISI 4140 por el promedio de la rugosidad superficial (Ra) reportada en micrómetros (μm).

La investigación se llevó a cabo mediante las metodologías de análisis de varianza (ANOVA), utilizando 12 probetas de material acero laminado en caliente AISI 4140 bajo las condiciones normales de suministro industrial.

Las barras fueron provistas por la empresa Compañía general de aceros.

Las dimensiones iniciales de cada barra fueron en promedio de 135 mm de diámetro por 150 mm de largo.

La operación de mecanizado seleccionada fue el cilindrado.

El proceso de corte se realizó en un torno convencional horizontal marca Turnado herramienta de corte insertos de carburo, marca Mitsubishi DNMG 110408-MA UE6110 y los siguientes parámetros de corte.

Tabla 10. Parámetros de Mecanizado

Nivel	Avance (mm/rev)	Profundidad (mm)	Velocidad de corte RPM
1	0.2 y 0.3	0.3	450 y 645
2	0.2 y 0.3	0.6	450 y 645
3	0.2 y 0.3	1.0	450 y 645

Una vez definidas las velocidades de husillo, avance de corte y profundidad de corte, se realizaron las pruebas utilizando diferentes combinaciones entre ellas, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 11. Parámetros de mecanizado del acero AISI 4140

N° PROBETA	Velocidad de husillo (RPM)	Velocidad de avance (mm/rev)	Profundidad de corte (mm)
1	V1	Av1	P1
2	V1	Av1	P2
3	V1	Av1	P3
4	V1	Av1	P1
5	V1	Av1	P2
6	V1	Av1	P3
7	V2	Av2	P1
8	V2	Av2	P2
9	V2	Av2	P3
10	V2	Av2	P1
11	V2	Av2	P2
12	V2	Av2	P3

Una vez definido los parámetros del experimento, se procedió a cilindrar bajo estas especificaciones debido a su gran utilidad a nivel industrial, puesto que son condiciones bastante comunes.

Cada barra se sujetó a un mandril de tres mordazas autocentrantes. La distancia sujeta de cada barra fue de 60 mm (aproximadamente media longitud de cada barra). No se utilizó contrapunto; a cada barra se le practicó un cilindrado una distancia de 25 mm a lado y lado a fin de alcanzar las 12 corridas requeridas para el experimento.

Se hicieron pruebas a todas las probetas, combinando entre sí los parámetros establecidos. Luego se tomaron cinco medidas de la rugosidad superficial para cada probeta utilizando un rugosímetro Mitutoyo modelo SJ210 de contacto superficial.

En cada medida se tomó una longitud de barrido de 5 mm, por lo tanto, la rugosidad de la superficie es un promedio de los valores tomados encima de la longitud de barrido.

Las medidas tomadas se realizaron según la norma ASME B46.1-1995 para la textura de la superficie.

La figura 24 esquematiza la preparación del trabajo experimental para cada una de las probetas del estudio.

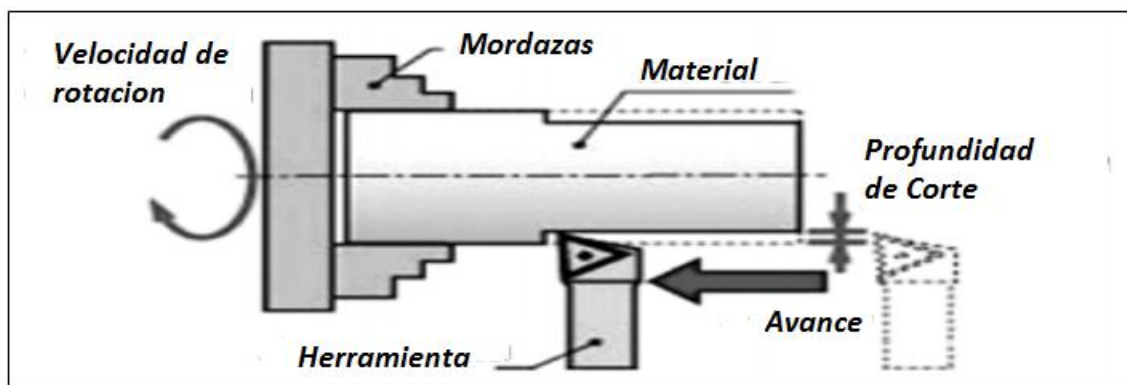


Figura 24. Variables que Influyen en el acabado superficial durante el torneado



Los parámetros que se evaluaron durante la investigación, de las diferentes formas fueron:

- Material
- Velocidad de avance, generado por el torno
- Profundidad de corte, generado por el torno
- Velocidad de husillo, generado por el torno
- Rugosidad superficial, originado por el mecanizado del eje, para lo cual se utilizó un rugosímetro,



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

Este capítulo de la investigación se enfocó en analizar y caracterizar la superficie de un acero AISI 4140 por el promedio de la rugosidad superficial (R_a) reportada en micrómetros (μm), una vez realizada la cuantificación de estos parámetros, se procedió a la representación simbólica de la calidad superficial obtenida, atendiendo a las Normas ISO 1302:2002, centrándonos en los requisitos individuales y complementarios definidos por las especificaciones unilaterales y bilaterales de los estados superficiales, consistente en las siguientes etapas:

4.1.1. Selección de inserto y determinación de parámetros de torneado

Como punto de partida para establecer las condiciones de corte, fue muy necesario utilizar los catálogos de los principales fabricantes de herramientas de corte y comparar las distintas opciones y condiciones de corte, según la operación, material a mecanizar y herramienta de corte seleccionada (Kobelco, 2002).

4.1.1.1. Material empleado y preparación de las muestras

El material que se utilizó fue acero laminado en caliente AISI 4140 en un número de 12 probetas bajo las condiciones normales de suministro industrial que fueron provistas por la empresa compañía general de aceros.

Antes de la realización de los ensayos, se procedió a efectuar un desbastado con una profundidad de corte de 1 mm y avance de 0.1 mm/rev con objeto de que, por una parte, se elimine la capa mixta de óxido natural e impurezas desarrollada durante la

manipulación y almacenamiento y, por otra, que todas las muestras presentasen el mismo estado superficial inicial, quedando las medidas que indican la tabla 12.



Figura 25. Preparación de probetas en JMC Soluciones

Tabla 12. Medidas del eje Acero AISI 4140

Datos del eje	mm
Longitud (largo)	150
Diámetro	135



Figura 26. Probetas de acero AISI 4140

Teniendo en consideración la Norma ISO 513 que definen 6 categorías de metal duro representadas por una letra y un color diferente, se eligió la letra P y el color azul (ver anexo 1.), así mismo se consideró la Norma ISO 1832 que agrupa los insertos de metal duro en 10 categorías diferentes que contemplan diversos parámetros, en donde cada una de estas categorías presenta una multiplicidad de insertos que se designan con símbolos compuestos por letras mayúsculas y/o números, formando una secuencia de identificación del inserto que sigue un orden estricto. (Ver anexo 1)

Para elegir el inserto adecuado para el trabajo que se realizó se consideró características tales como el tipo de material que conforma la pieza (dureza y fuerza de corte específica), el tipo de corte (desbaste, acabado, ranurado, tronzado, barrenado, roscado, etc.) y la capacidad del torno determinaron el material, la forma, la profundidad de corte, el avance, el radio de la nariz, el tamaño y el espesor del inserto y en función a todos esos parámetros se eligió el inserto de carburo, marca Mitsubishi de torneado DNMG 110408-MA UE6110 que se detalla en la tabla 13, más detalles ver anexos 1, 2 y 3.

D N M G 11 04 08 E N – MA

¿Cómo interpretamos cada uno de estos símbolos? La figura que sigue reproduce parte de esas tablas que provee el fabricante, donde podemos identificar con el óvalo rojo las características indicadas correspondientes al *inserto* en cuestión.

De la interpretación de estas tablas, se desprende entonces que un inserto con el código: D N M G 11 04 08 E N – MA tiene las siguientes características:

1. “D”: forma rómbica de 55°.
2. “N”: ángulo de alivio o incidencia de 0°.



3. “M”: las tolerancias dimensionales en las medidas del inserto son: altura “m” del rombo de $\pm 0,08$ mm a $\pm 0,18$ mm, diámetro del círculo inscrito D1 de ± 0.05 mm a ± 0.13 mm y espesor S1 ± 0.13 mm.
4. “G”: respecto del sistema de sujeción y rompevirutas, el código “G” indica que se trata de un inserto con agujero central (cilíndrico) y con rompevirutas en ambas caras.
5. “11”: con este número “11” para una forma rómbica “D” indicada en la categoría 1, vemos que la longitud de la arista de filo (representada por el diámetro del círculo inscrito) es de 9.525 mm.
6. “04”: indica que el espesor del inserto es de 4.76 mm.
7. “08”: indica que el radio de la nariz es de 0.8 mm.
8. “E”: arista de corte redondeada.
9. “N”: dirección de corte en ambos sentidos.
10. “MA”: características del rompevirutas (de corte medio): Insertos negativos (herramienta de torneado exterior) para material de acero al carbono /acero aleado, dureza 180-280HB, modo de corte general con una terminación de corte medio con una velocidad de corte entre 190 y 325 [m/min]; velocidad de avance entre 0.20 y 0.50 (mm/rev) y la profundidad de corte entre 0.30 y 4.00 mm.

Los ciclos de cilindrado se han llevado a cabo haciendo uso de plaquitas de nitruro de titanio en seco. En la figura 27, se muestran sus principales parámetros geométricos. Como se puede observar, es una herramienta neutra con ángulo de punta de 55° . Para la realización de cada uno de los ensayos se empleó una nueva herramienta,

con la intención de garantizar las mismas condiciones iniciales.

La forma del inserto es romboidal de 55° , ángulo de despeje de 0° , tolerancia ± 0.11 , el inserto es con un agujero cilíndrico de doble cara

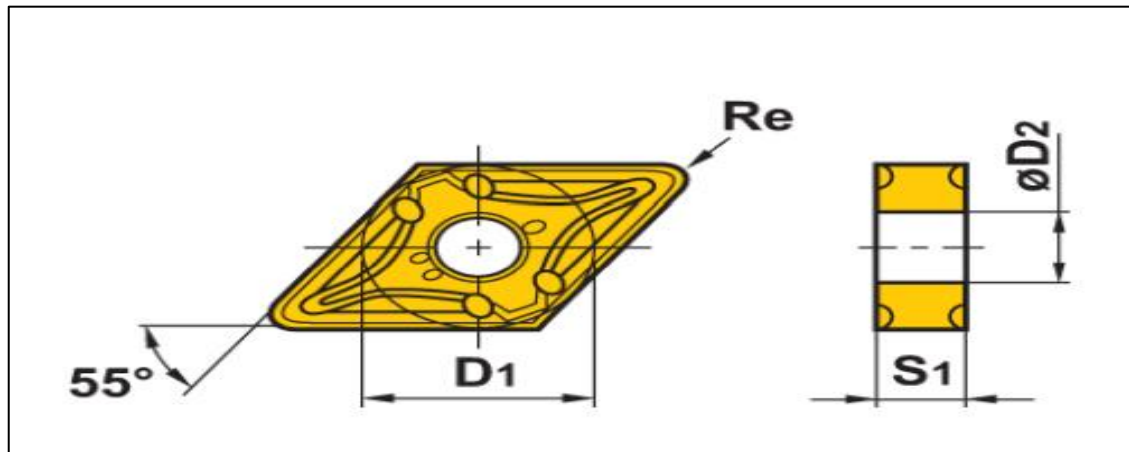


Figura 27. Parámetros geométricos del inserto D N M G 11 04 08 E N – MA

Fuente: Mitsubishi materials corporation (2017).

Tabla 13. Especificaciones del inserto D N M G 11 04 08 E N – MA

ESPECIFICACIONES DEL INSERTO	
Nombre del grado	Carburo
Grado	UE6110
ANSI	DNMG
D1	9.525 mm
D2	3.81
EPSR	55°
S1	4.76
Re	0.8

Para el proceso de torneado “cilindrado” se utilizó una porta herramientas de doble fijación para corte pesado

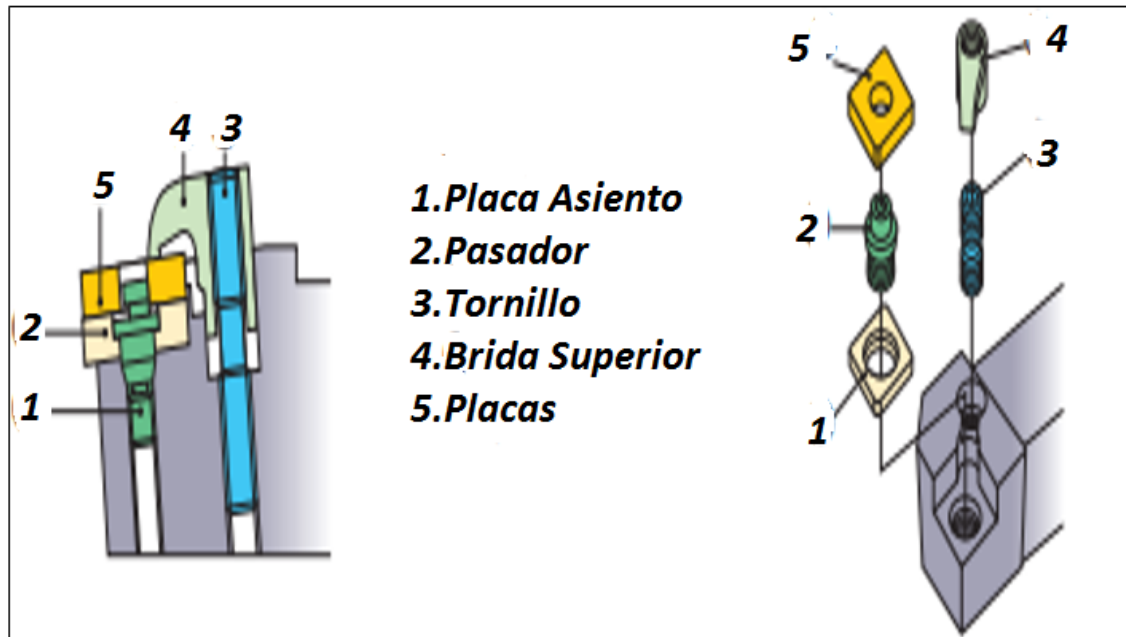


Figura 28. Porta herramientas de doble fijación

Fuente: Mitsubishi materials corporation (2017).

4.1.1.2. Determinación de parámetros de torneado

Para iniciar el experimento se obtuvieron los datos que recomienda el fabricante de los insertos en este caso Mitsubishi, para la operación de torneado.

Esta información se encuentra en el anexo 3, el rango de la velocidad de corte se encuentra entre 190 y 325 [m/min]; por lo tanto y para el presente estudio se seleccionaron dos velocidades de corte permitidas; estas fueron de 190 y 273 [m/min], el rango para la velocidad de avance en (mm/rev) está entre 0.20 y 0.50 y el rango de la la profundidad de corte esta entre 0.30 y 4.00 mm.

Con estos valores extraídos, se realizaron las operaciones necesarias para obtener los valores de los parámetros tecnológicos, la velocidad del husillo, velocidad de avance y la profundidad de corte de las 12 probetas de ensayo.

Para las seis primeras probetas se trabajó con un de diámetro igual a 135 mm y velocidad de corte 190 m/min



$$N = \frac{1000 * Vc}{\pi * D}$$

$$N = \frac{1000 * 190}{\pi * 135}$$

$$N = 448.21 = 450$$

Para las seis probetas restantes se trabajó con un diámetro igual a 135 mm y velocidad de corte 273 m/min

$$N = \frac{1000 * Vc}{\pi * D}$$

$$N = \frac{1000 * 273}{\pi * 135}$$

$$N = 644.01 = 645$$

Con los valores obtenidos de la velocidad de giro del husillo, se obtuvo las siguientes condiciones iniciales para el experimento:

Tabla 14. Valores de mecanizado del acero AISI 4140

N° PROBETA	Velocidad de husillo (RPM)	Velocidad de avance (mm/rev)	Profundidad de corte (mm)
1	450	0.2	0.3
2	450	0.2	0.6
3	450	0.2	1
4	450	0.3	0.3
5	450	0.3	0.6
6	450	0.3	1
7	645	0.2	0.3
8	645	0.2	0.6
9	645	0.2	1
10	645	0.3	0.3
11	645	0.3	0.6
12	645	0.3	1

Las piezas preparadas según se ha indicado, se sometieron a ensayos de torneado horizontal cilindrado en seco, haciendo uso de un torno mecánico de la empresa JMC SOLUCIONES con el que se obtuvo un acabado superficial



Figura 29. Torno de marca Turn-nado utilizado para preparar las probetas

El citado control, permitió fijar los parámetros de avance, profundidad de pasada y controlar la velocidad de corte durante el proceso de mecanizado.

4.1.2. Determinación de la rugosidad superficial

Para el análisis de los resultados se tuvo en cuenta el proceso de fabricación de cada una de las probetas para poder contrastar la información con la tabla 16 de rugosidades promedio de materiales según su método de manufactura establecidas por la norma ISO 1302 de 2002.

Una vez realizado el reconocimiento de los datos tomando como referencia la figura 33 se procedió a realizar la comparación de las tablas 17,18,19,10 y 21 versus tabla 16 para verificar que los valores medidos estén en los rangos establecidos por la norma ISO 1302 2002.

4.1.2.1. Equipo empleado en las mediciones de los parámetros de rugosidad

El rugosímetro empleado para esta investigación fue el modelo SJ210. Este rugosímetro cuenta con varias configuraciones de medición y varios modos de manejo. Las características básicas de este rugosímetro pueden visualizarse en la tabla 14; las cuales fueron obtenidas directamente del fabricante.



Figura 30. Rugosímetro Mitutoyo modelo SJ210.

Tabla 15. Especificaciones del rugosímetro MITUTOYO SJ210

Elemento	Designación
Pantalla	Digital
Rango de medición en X	17.5mm
Rango de medición en Z	360 μm (-200 μm \pm 160 μm)
Velocidad de seguimiento en medición	(0.25 – 0.5 – 0.75) mm/s
Radio de la punta aguja	5 μm
Rango mínimo / resolución	(25 μm / 0,002 μm)

Fuente: Mitutoyo (2016).

- Previo a medir la rugosidad superficial se procedió a la verificación final con el reloj comparador y un vernier digital marca Mitutoyo.



Figura 31. Verificación de medidas finales

- Antes de realizar las mediciones se procedió a la calibración del rugosímetro, para lo cual se emplearon diversos patrones con trazabilidad nacional e internacional (ISO 1992).
- Las disposiciones de los tramos obedecieron intencionadamente a la apreciación de la posible influencia del desgaste de la herramienta sobre el acabado superficial de las muestras mecanizadas.
- Cada medida se llevó a cabo sobre cuatro generatrices equi espaciadas. A partir de las medidas realizadas en cada tramo de cada generatriz, se evaluó la rugosidad superficial a través del parámetro Ra.

- Las mediciones realizadas permitieron una doble interpretación: Por un lado, la asignación a cada muestra de un valor medio de las sesenta mediciones realizadas. Y por otro, la anotación simbólica del estado superficial obtenido. Llegado a este punto, es conviene remarcar, que las mediciones se realizaron al menos tres veces en cada tramo con la intención de garantizar su repetibilidad.

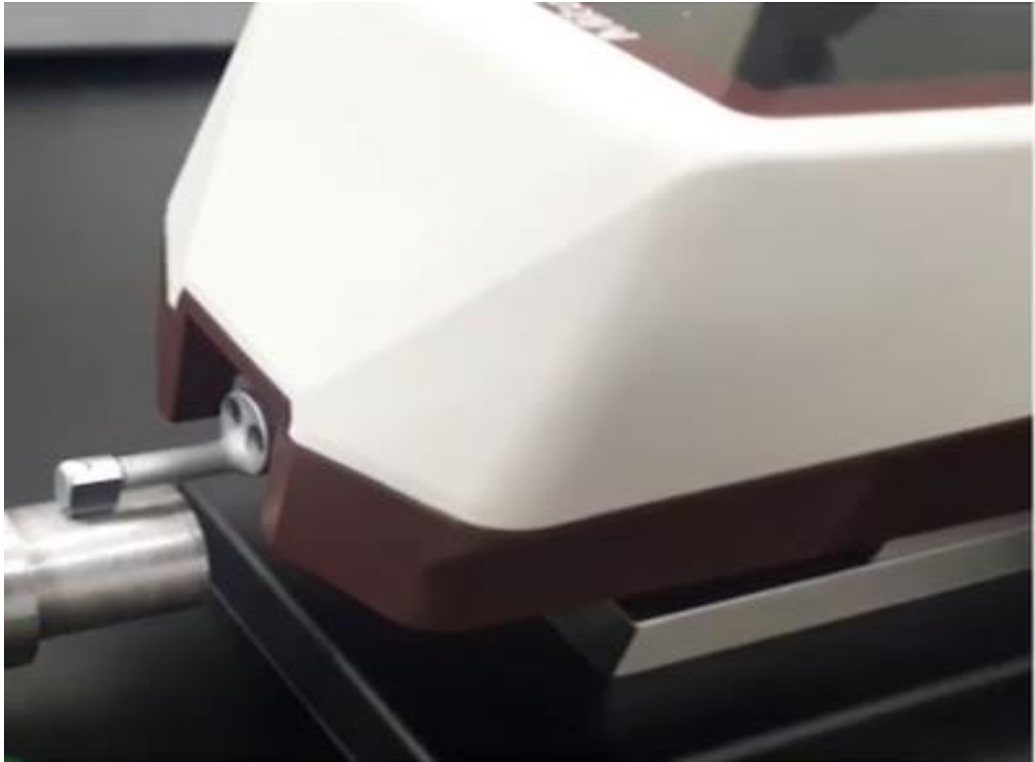


Figura 32. Medición de rugosidad (Ra)

4.1.2.3. Norma utilizada para la comprobación de resultados

La norma UNE-EN ISO 1302:2002 (ISO 1302:2002) presenta una tabla con la comparación del parámetro de rugosidad Ra y los números de calidades de rugosidad correspondientes para especificar la rugosidad sobre los planos de diseño de piezas (Tabla15).

Tabla 16. Valores de rugosidad estándar frente a números de calidades de rugosidad

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							■	■	■	■	■	■	■	
Recalcado			■	■	■	■								
Rectificado				■	■	■	■	■	■	■	■	■		
Superacabado							■	■	■	■	■	■	■	
Taladrado			■	■	■	■								
Torneado		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Trefilado				■	■	■	■							
	Aplicación frecuente										Aplicación menos frecuente			

Fuente: ISO 1302 (2002).

4.1.2.4. Resultados de rugosidad superficial

La rugosidad de la superficie de cualquier muestra nunca fue un valor exacto en toda la superficie de la muestra donde se ejecutó la medición. Siempre la rugosidad osciló entre un valor máximo y uno mínimo por la presencia de los picos y valles que presentó toda la superficie por más pulida que se encuentre.

Se utilizó un inserto nuevo para cada uno de los cilindrados finales de modo que no cambie el ángulo de corte y no de diferente acabado, por lo tanto, los datos de rugosidad fueron más fiables y con menor margen de error.

Una vez mecanizadas las probetas se procedió a realizar el procesamiento y análisis de los datos de rugosidad superficial obtenidos, los mismos que se lo hicieron cinco mediciones por cada probeta con un medidor de rugosidad marca Mitutoyo SJ210 para obtener una rugosidad superficial media (Ra).

En consecuencia, para el caso estudiado atendiendo a, su anotación simbólica, se representa el rango de rugosidades entre 6.30 y 0.80 μm .

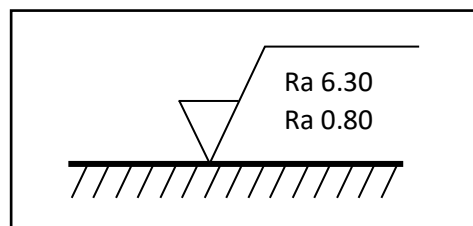


Figura 33. Valor de rugosidad de aplicación frecuente

Los valores de rugosidad tomadas de cada probeta se tabularon, obteniendo una rugosidad media Ra, los mismos que se indican en las subsiguientes tablas y figuras.

En la realización de este trabajo, se obtuvieron los límites superior e inferior de la rugosidad media (Ra) del torneado en seco del acero AISI 4140, para todas las

combinaciones de velocidad de corte, avance y profundidad que se recogieron en las tablas que se muestran a continuación:

Los resultados obtenidos se muestran por separado a 450 y 645 rpm de velocidad de husillo, velocidad de avance entre 0.2 y 0.3 mm/rev y con profundidades de corte de 0.3,0.6 y 1.0 mm. respectivamente.

Tabla 17. Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance

MEDICION DE LA RUGOSIDAD: RPM=450 VELOCIDAD DE AVANCE=0.2 mm/rev								
PROFUNDIDAD								
Nº	(mm)	R1 (um)	R2 (um)	R3 (um)	R4 (um)	R5 (um)	SUMA	Ra (um)
1	0.3	3.999	4.368	4.452	4.715	4.382	21.916	4.383
2	0.6	2.198	2.392	2.321	2.035	2.099	11.045	2.209
3	1.0	1.677	1.599	1.656	1.689	1.639	8.26	1.652

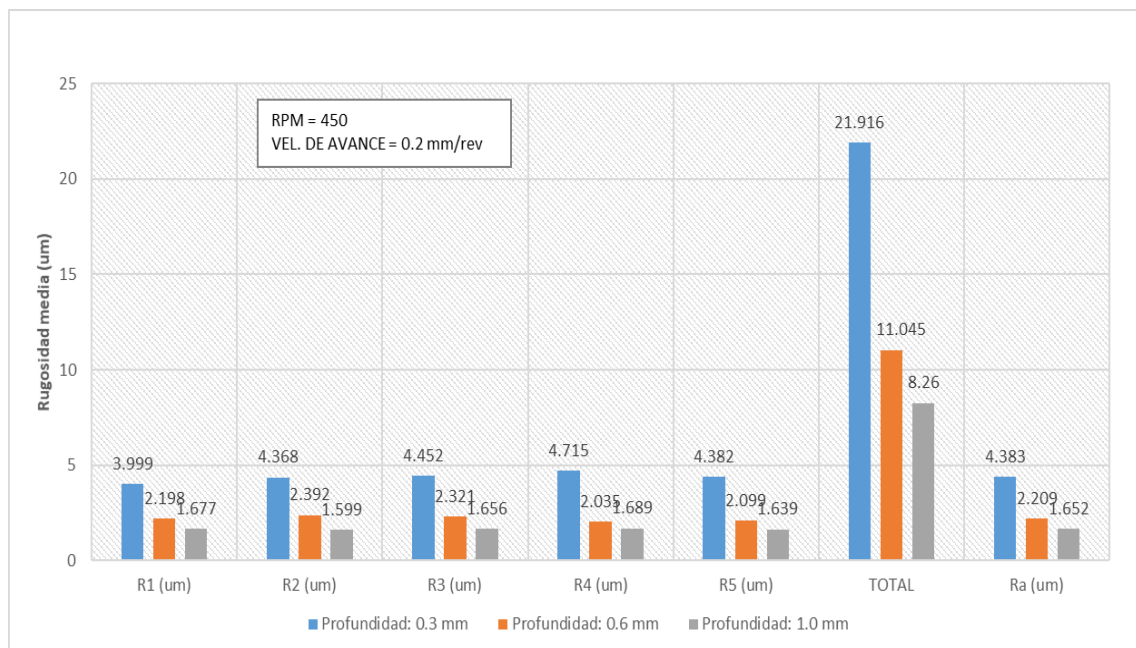


Figura 34. Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance

- Los valores de Ra obtenidos de las pruebas realizadas con RPM=450, velocidad de avance=0.2 mm/rev y tres niveles de profundidad determinados, se observa

que mecanizando con una profundidad de avance de 0.3 mm; su Ra es de 4.383 μm , a 0.6 mm su Ra es 2.209 y a 1.0 mm su Ra es 1.652 μm .

- De lo anterior se observa que las pruebas realizadas a las probetas mecanizadas por procesos de torneado tienen un valor máximo de rugosidad de 4.383 μm y un mínimo de 1.652 μm . Estos valores comparados con los valores de rugosidad superficial se encuentran dentro del rango establecido por la norma ISO 1302 de 2002.

Tabla 18. Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.3 mm/rev velocidad de avance

MEDICION DE LA RUGOSIDAD: RPM=450 VELOCIDAD DE AVANCE=0.3 mm/rev								
PROFUNDIDAD								
N°	(mm)	R1 (μm)	R2 (μm)	R3 (μm)	R4 (μm)	R5 (μm)	SUMA	Ra (μm)
4	0.3	3.586	3.645	3.997	3.475	3.460	18.163	3.633
5	0.6	3.488	3.336	3.27	3.499	3.245	16.838	3.368
6	1.0	3.69	3.855	3.845	3.687	3.901	18.978	3.796

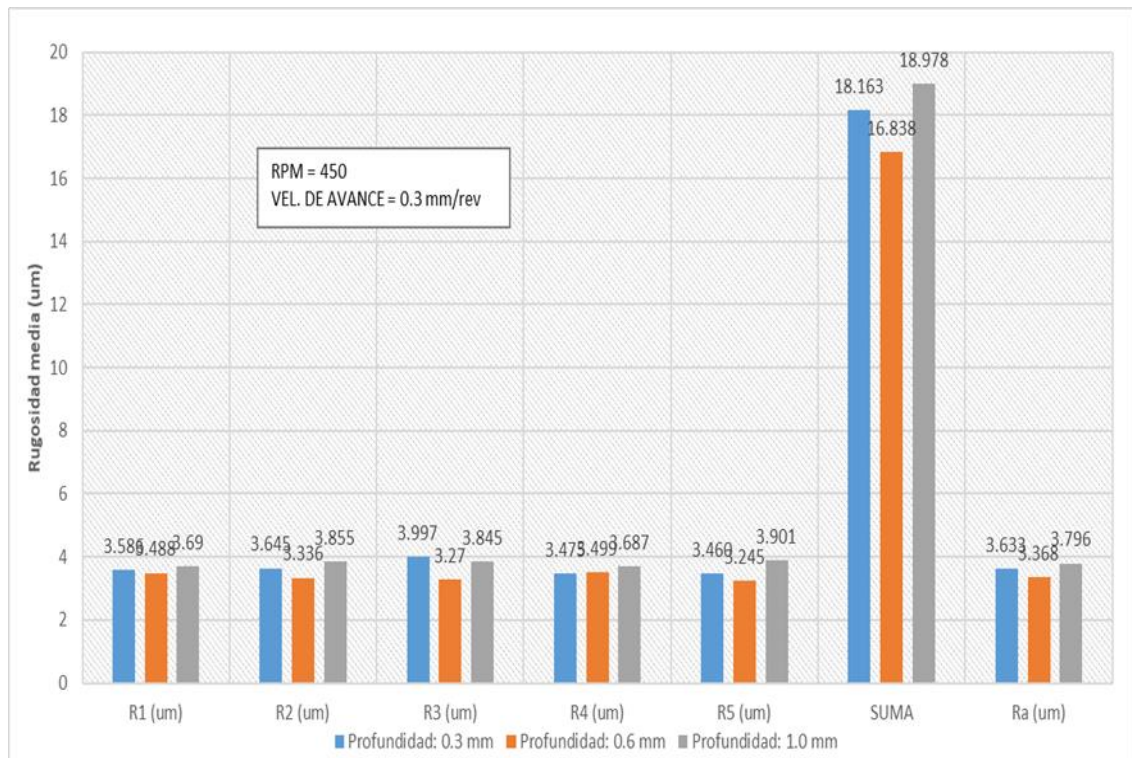


Figura 35. Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance

- Los valores de Ra obtenidos de las pruebas realizadas con RPM=450, velocidad de avance=0.3 mm/rev y tres niveles de profundidad determinados, se observa que mecanizando con una profundidad de avance de 0.3 mm su Ra es de 3.633 μm , a 0.6 mm su Ra es 3.368 y a 1.0 mm su Ra es 3.796
- De lo anterior se observa que las pruebas realizadas a las probetas mecanizadas por procesos de torneado tienen un valor máximo de rugosidad de 3.796 μm y un mínimo de 3.368 μm . Estos valores comparados con los valores de rugosidad superficial se encuentran dentro del rango establecido por la norma ISO 1302 de 2002.

Tabla 19. Rugosidad superficial (Ra) a 645 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance

MEDICION DE LA RUGOSIDAD: RPM=645 VELOCIDAD DE AVANCE=0.2 mm/rev								
PROFUNDIDAD								
Nº	(mm)	R1 (um)	R2 (um)	R3 (um)	R4 (um)	R5 (um)	SUMA	Ra (um)
7	0.3	2.187	2.198	2.150	2.159	1.930	10.624	2.125
8	0.6	1.245	1.196	1.338	1.396	1.199	6.374	1.275
9	1.0	1.17	1.286	1.269	1.24	1.199	6.164	1.233

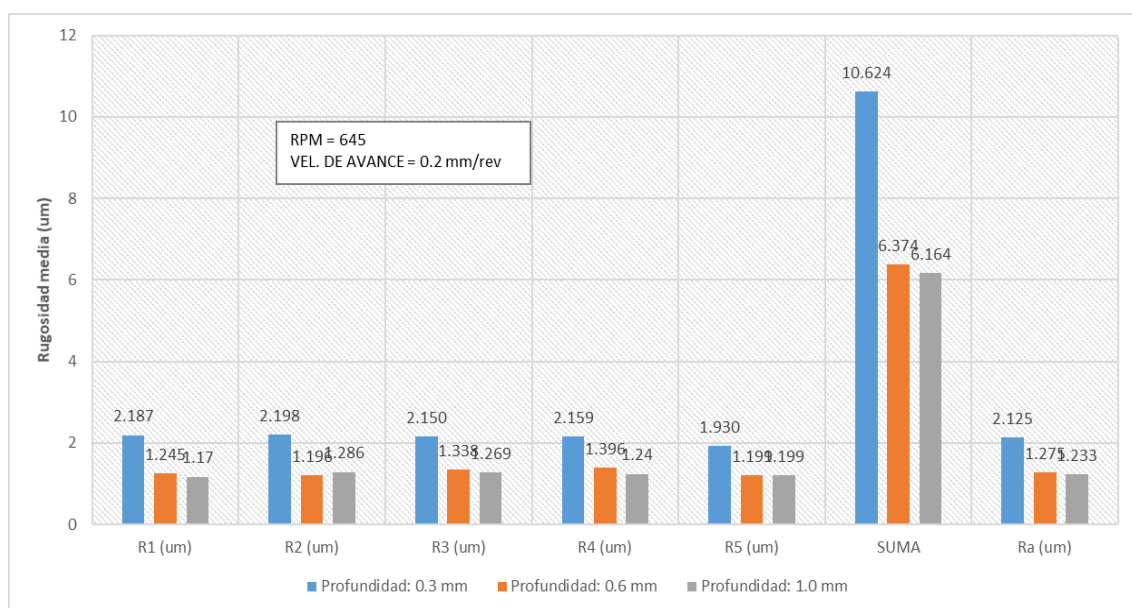


Figura 36. Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance

- Los valores de Ra obtenidos de las pruebas realizadas con RPM=645, velocidad de avance=0.2 mm/rev y tres niveles de profundidad determinados, se observa que mecanizando con una profundidad de avance de 0.3 mm su Ra es de 2.125 μm , a 0.6 mm su Ra es 1.275 y a 1.0 mm su Ra es 1.233 μm .
- De lo anterior se observa que que las pruebas realizadas a las probetas mecanizadas por procesos de torneado tienen un valor máximo de rugosidad de 2.125 μm y un mínimo de 1.233 μm . Estos valores comparados con los valores de rugosidad superficial se encuentran dentro del rango establecido por la norma ISO 1302 de 2002.

Tabla 20. Rugosidad superficial (Ra) a 645 rpm y 0.3 mm/rev velocidad de avance

MEDICION DE LA RUGOSIDAD: RPM=645 VELOCIDAD DE AVANCE=0.3mm/rev								
PROFUNDIDAD								
N°	(mm)	R1 (μm)	R2 (μm)	R3 (μm)	R4 (μm)	R5 (μm)	SUMA	Ra (μm)
10	0.3	2.142	1.966	1.989	1.981	2.053	10.131	2.026
11	0.6	1.792	1.947	1.851	1.793	2.019	9.402	1.88
12	1.0	3.499	3.974	3.898	3.69	3.696	18.757	3.751

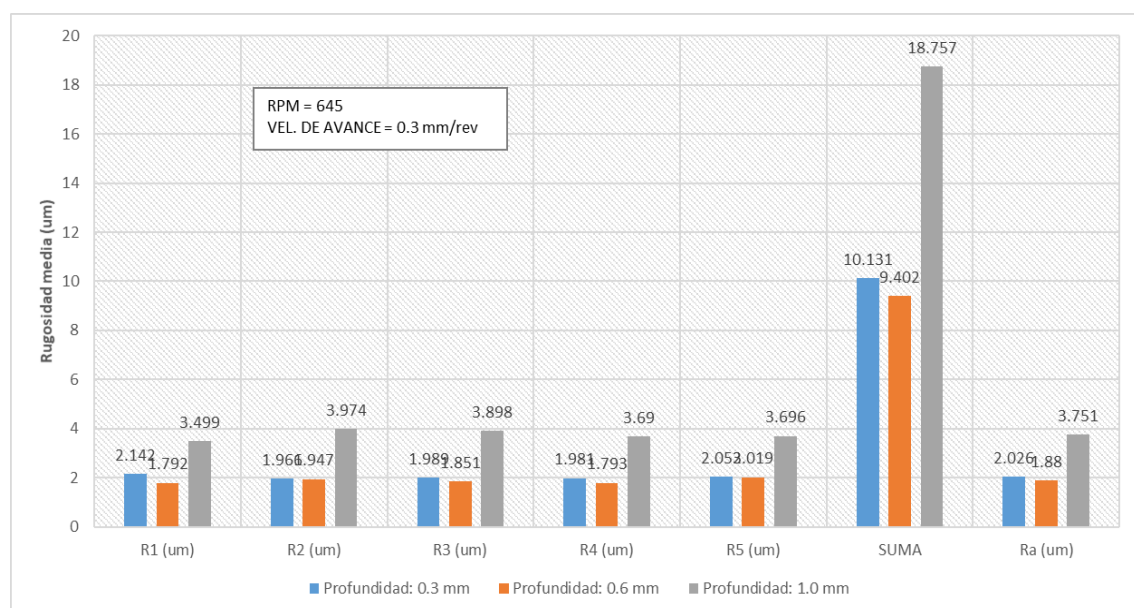


Figura 37. Rugosidad superficial (Ra) a 450 rpm y 0.2 mm/rev velocidad de avance



- Los valores de Ra obtenidos de las pruebas realizadas con RPM=645, velocidad de avance=0.3 mm/rev y tres niveles de profundidad determinados, se observa que mecanizando con una profundidad de avance de 0.3 mm su Ra es de 2.026 μm , a 0.6 mm su Ra es 1.88 μm y a 1.0 mm su Ra es 3.751 μm .
- De lo anterior se observa que las pruebas realizadas a las probetas mecanizadas por procesos de torneado tienen un valor máximo de rugosidad de 3.751 μm y un mínimo de 1.88 μm . Estos valores comparados con los valores de rugosidad superficial se encuentran dentro del rango establecido por la norma ISO 1302 de 2002.

Tabla 21. Cuadro matricial mostrando los resultados de rugosidad, para diferentes regímenes de corte

N° Probeta	Velocidad de husillo (RPM)	Velocidad de avance (mm/rev)	Profundidad de corte (mm)	Ra (μm)
1	450	0.2	0.3	4.383
2	450	0.2	0.6	2.209
3	450	0.2	1	1.652
4	450	0.3	0.3	3.633
5	450	0.3	0.6	3.368
6	450	0.3	1	3.796
7	645	0.2	0.3	2.125
8	645	0.2	0.6	1.275
9	645	0.2	1	1.233
10	645	0.3	0.3	2.026
11	645	0.3	0.6	1.88
12	645	0.3	1	3.751

En la tabla precedente nos muestran los resultados de la rugosidad media (Ra), para diferentes regímenes de profundidad de corte, velocidad de avance y velocidad de husillo que determinaron la influencia de cada uno de los parámetros en la rugosidad, utilizando como herramienta de corte el inserto: D N M G 11 04 08 E N – MA, de los cuales se hacen un análisis del comportamiento de dichas variables en cada uno de los gráficos presentados a continuación:

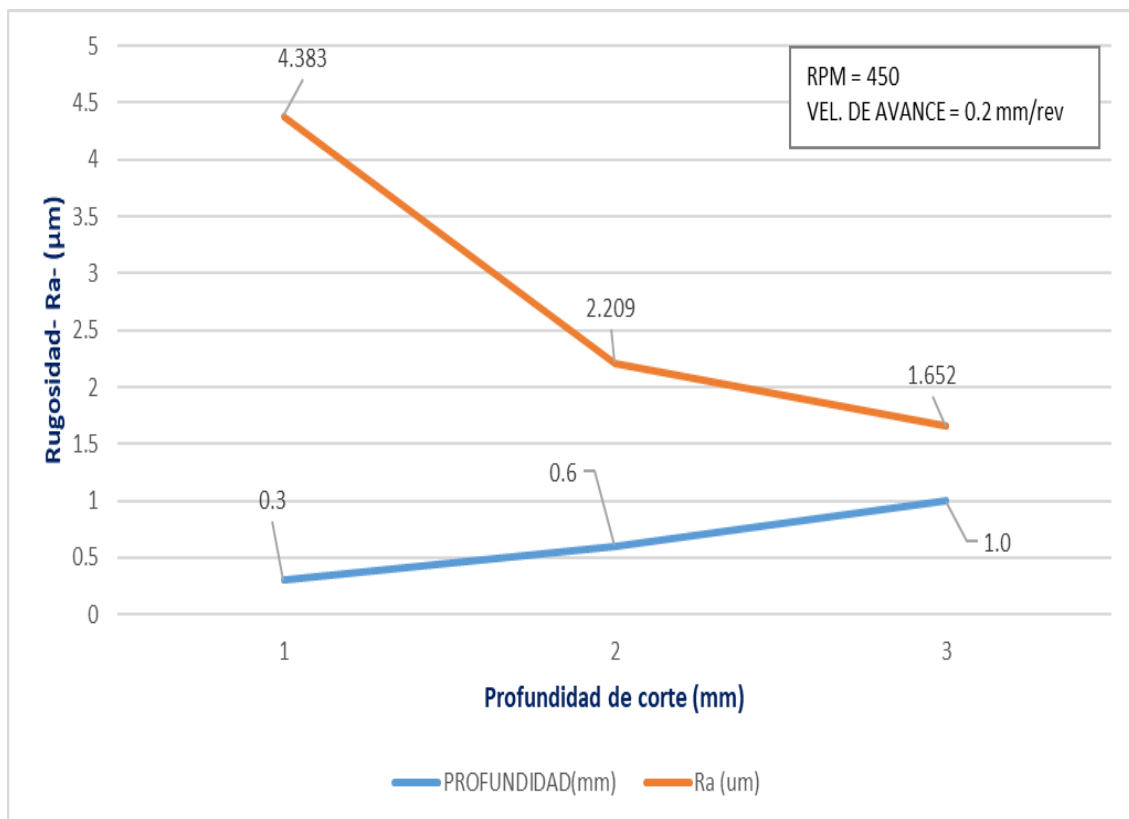


Figura 38. Variación de la rugosidad con 450 RPM, 0.2 mm/rev y profundidades de corte

Esta gráfica muestra cómo la velocidad del husillo, la velocidad de avance y la profundidad de corte se relacionan con Ra.

De la figura se observa a 450 RPM y una velocidad de avance de 0.2 mm/rev, la rugosidad decrece a mayor profundidad de corte.

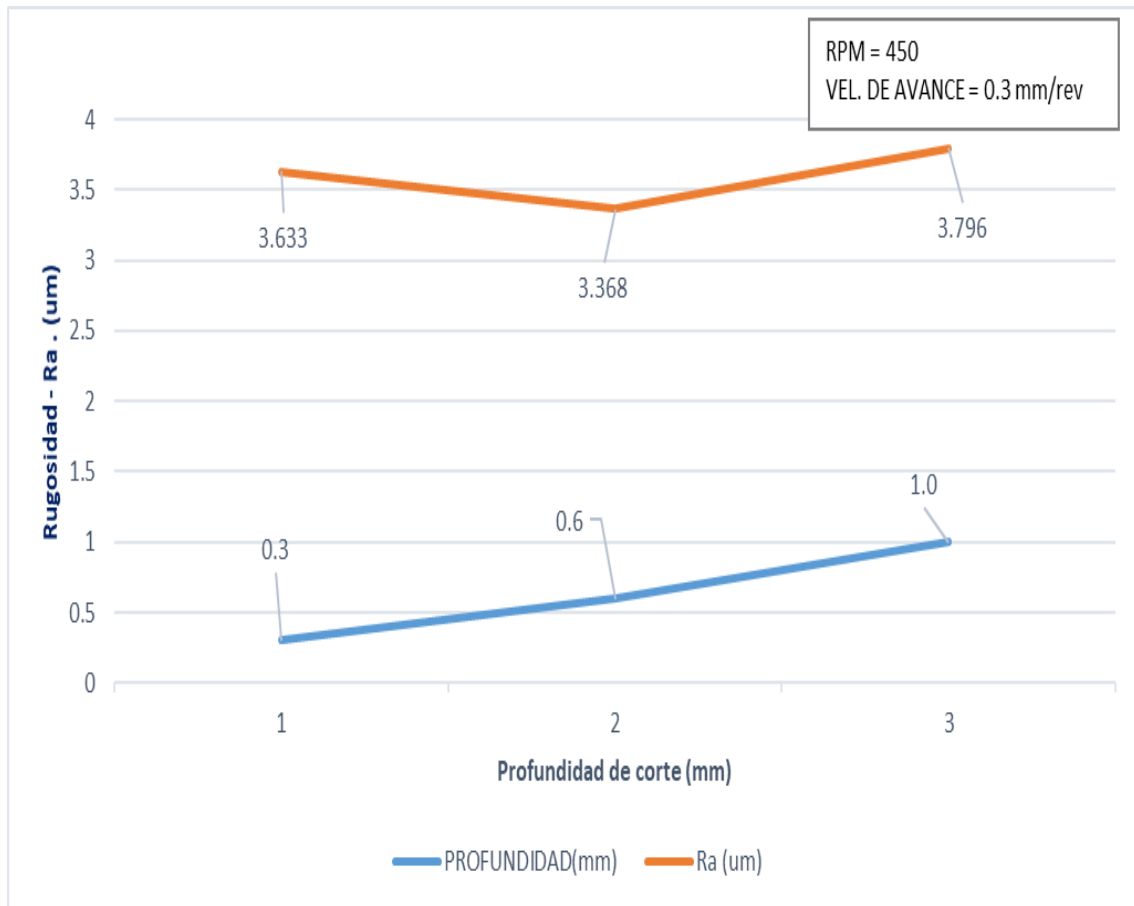


Figura 39. Variación de la rugosidad con 450 RPM, 0.3 mm/rev y profundidades de corte

Esta gráfica muestra cómo la velocidad del husillo, la velocidad de avance y la profundidad de corte se relacionan con Ra.

De la figura se observa a 450 RPM y una velocidad de avance de 0.3 mm/rev, la rugosidad aumenta a mayor profundidad de corte. Se debe evitar profundidades de corte elevadas a velocidades de corte también elevadas,

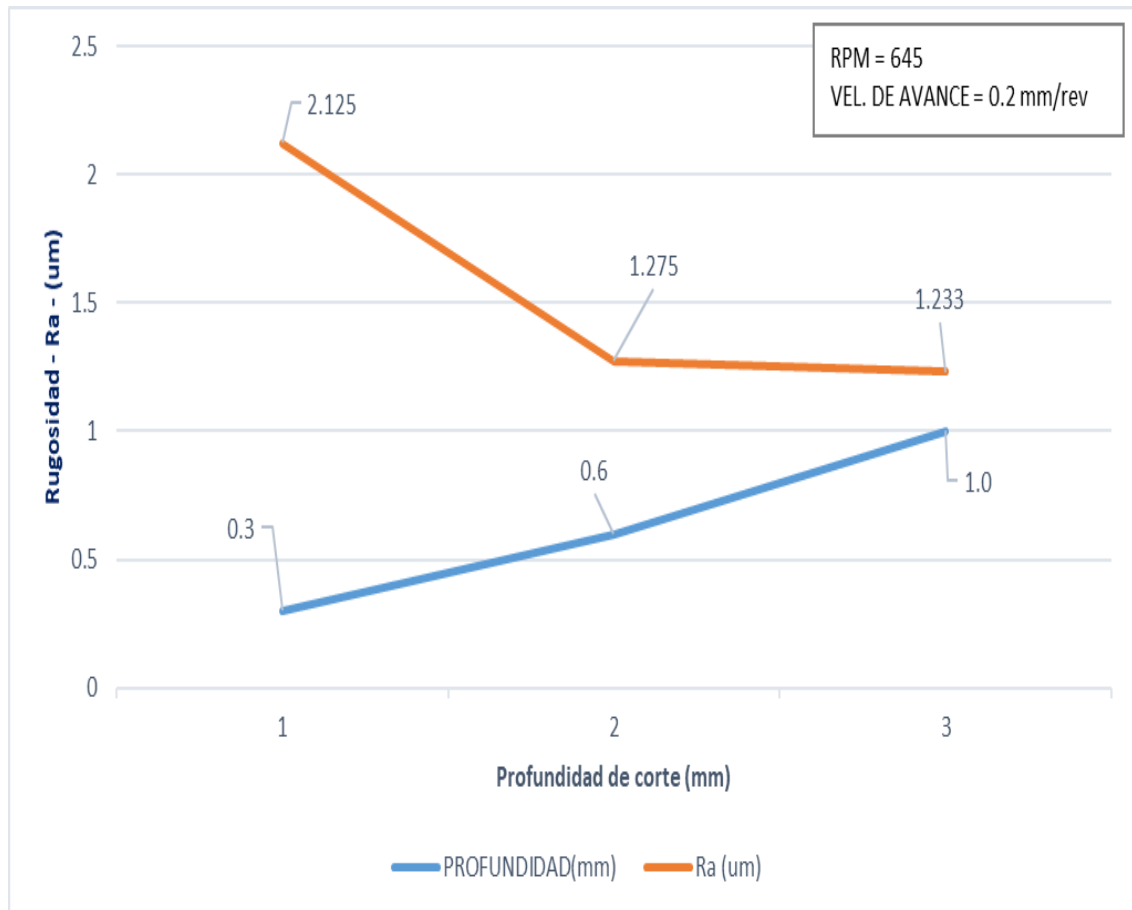


Figura 40. Variación de la rugosidad con 645 RPM, 0.2 mm/rev y profundidades de corte

Esta gráfica muestra cómo la velocidad del husillo, la velocidad de avance y la profundidad de corte se relacionan con Ra.

De la figura se observa a 645 RPM y una velocidad de avance de 0.2 mm/rev la rugosidad disminuye a mayor profundidad de corte.

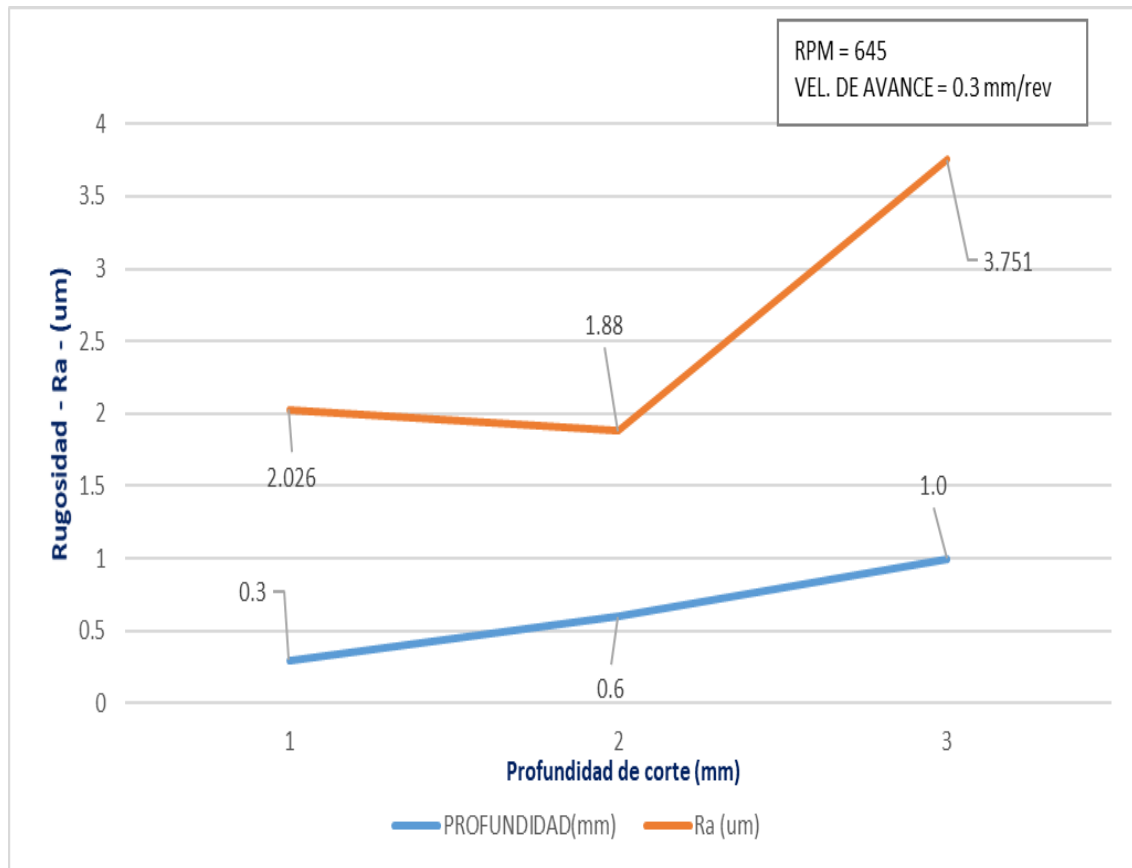


Figura 41. Variación de la rugosidad con 645 RPM, 0.3 mm/rev y profundidades de corte

Esta gráfica muestra cómo la velocidad del husillo, la velocidad de avance y la profundidad de corte se relacionan con Ra.

De la figura se observa a 645 RPM y una velocidad de avance de 0.3 mm/rev la rugosidad aumenta a medida que la profundidad de corte se incrementa. Se debe evitar profundidades de corte elevadas a velocidades de corte también elevadas,

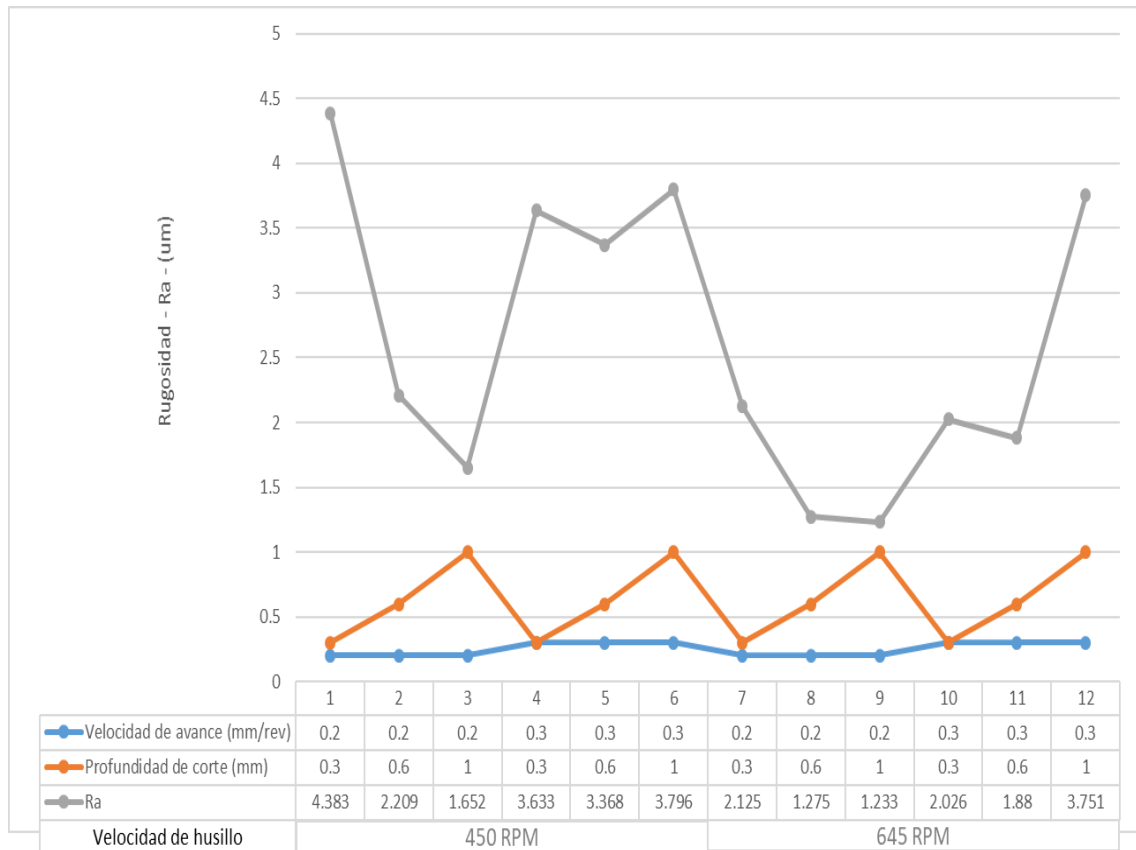


Figura 42. Resumen de las variaciones de rugosidad y parámetros establecidos de estudio

El análisis de esta figura consta en comparar los valores de Ra establecidos en las pruebas según el proceso de fabricación de las probetas y determinar si se encuentra dentro del rango que establece la norma ISO 1302 de 2002.

Los resultados indican que el menor valor de rugosidad 1.233 μm se dio en la probeta N° 9 a una velocidad del husillo igual a 645 RPM, velocidad de avance igual a 0.2 mm/rev y profundidad de corte igual a 1.0 mm. seguido de la probeta N° 8 con los mismos parámetros a excepción de la profundidad de corte igual a 0.6 mm.

Los resultados indican que, a menor velocidad de husillo empleada en este proyecto, la rugosidad es siempre mayor, independientemente de las otras condiciones; Es decir, las mejores (más bajas) rugosidades fueron obtenidas con la velocidad de 645 rpm de husillo.



Se observa, sin embargo, rugosidades aceptables aún pueden ser obtenidas a velocidades de husillo menor. De modo que, evitando puntos extremos como se ha dicho, la dependencia de la rugosidad con la velocidad de husillo no será tan primordial para obtener una buena rugosidad, tal es el caso que a 450 RPM a una velocidad de avance de 0.2 mm/rev, profundidad de corte se obtuvo un Ra de 1.652 μm , rugosidad que está en el orden de prelación en la tercera ubicación.

Todos los valores de rugosidad obtenidos están en el rango que establece la Norma ISO 1302: 2002, demostrándose que los parámetros de velocidad del husillo, velocidad de avance y las profundidades a las cuales se mecanizaron son los adecuados.

La velocidad del husillo define la rugosidad en dos mayores regiones como se aprecia en la figura 42 para una velocidad de husillo de 450 RPM se tienen rugosidades mayores a 1.5 μm para el acero AISI4140 mientras que para una velocidad de husillo de 645 RPM), se tienen rugosidades inferiores a estos valores (en conjunto con la profundidad de corte de 0.6 mm y 1.0 mm a un avance de 0.2 mm/rev.

4.2. DISCUSIÓN

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

Uno de los aspectos más importantes en el control de calidad de los productos mecanizados es el estado superficial obtenido tras el proceso de corte. El indicador más utilizado para evaluarlo es la caracterización o medida de la rugosidad superficial, cuyo



parámetro más usado en todos los ámbitos del sector del mecanizado, es la rugosidad media aritmética Ra. Así también lo considera Vargas et al. ,(2014) En su artículo de investigación en donde manifiesta que la calidad superficial es uno de los indicadores de desempeño que tiene efecto sobre la aceptación o rechazo de un producto terminado. Un producto terminado que no cumpla con el acabado superficial requerido por el cliente es garantía de la generación de costos en el proceso de corte de metales manifestándose a través de grandes cantidades de desperdicio de material, re-trabajo de piezas, tiempos extras, etc.

La selección del inserto permitió establecer el comportamiento en servicio del proceso de corte, ya que depende de numerosos aspectos relacionados con la selección de las condiciones de corte: geometría de la herramienta, velocidad de corte, avance, profundidad de pasada, fluidos de corte, etc. Pero la rugosidad superficial también está condicionada por otros factores del proceso de tipo aleatorio, como son: las condiciones de la herramienta, el estado de la máquina-herramienta, la aparición de chatter, etc., aspectos dinámicos difíciles de evaluar, que implican que la estimación teórica del parámetro Ra no se pueda realizar de forma precisa, precisiones que concuerdan con Morales et al.,(2014) quien en su artículo de investigación experimental se centra en investigar los efectos de los parámetros de corte en la rugosidad superficial durante el torneado de acabado en seco a altas velocidades del acero inoxidable AISI 316L utilizando dos insertos de corte.

Así mismo, 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 precisiones que se concuerda con Roldan (2016) en razón a que su trabajo



puede ayudar a la mejora de estrategias del proceso de mecanizado, además de proporcionar información para la investigación como; formación de viruta, desgaste de la herramienta, validación de modelos matemáticos, mejora en la elección de la geometría de corte y comportamiento real que presentan diferentes materiales.

Finalmente, no existe una guía de referencia que permita al operario, determinar cuáles 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.



V. CONCLUSIONES

- El resultado de la rugosidad media (Ra) obtenido fue de 1.233 μm el cual se encuentra dentro del rango establecido por la norma ISO 1302:2002, utilizándose para ello un inserto D N M G 11 04 08 E N – MA, velocidad de husillo 645 RPM, velocidad de avance 0.2 mm/rev y profundidad de corte 1.0 mm. apreciándose que las velocidades de avance y profundidades de corte de la herramienta respecto a la pieza, manifiestan claramente ser dos factores importantes en la calidad del acabado superficial.
- Según el manual de herramientas de corte Mitsubishi y teniendo en consideración que las características del inserto pre seleccionado tienen una dureza de 180-280 HB, velocidad de corte entre 190 y 325 m/min, velocidad de avance 0.20 y 0.50 mm/rev y la profundidad de corte entre 0.30 y 4.00 mm. Se seleccionó un inserto con ángulo de forma rómbica de 55° , ángulo de incidencia de 0° , tolerancia ± 0.11 , con un agujero cilíndrico de doble cara, longitud de la arista de 9.525 mm de corte redondeado, espesor del inserto 4.76 mm, radio de la nariz 0.8 mm. y un porta herramienta de doble fijación para corte pesado.
- Para determinar la rugosidad superficial del acero AISI 4140 se utilizó el rugosímetro Mitutoyo SJ210 estableciéndose Ra (max) 6.30 μm y Ra (min) 0.80 μm , obteniéndose el menor valor Ra 1.233 μm en la probeta N° 9 a una velocidad del husillo igual a 645 RPM, velocidad de avance igual a 0.2 mm/rev y profundidad de corte igual a 1.0 mm. demostrándose que, a menor velocidad de husillo empleada en este trabajo, la rugosidad es siempre mayor, independientemente de las otras condiciones.



VI. RECOMENDACIONES

- Para el presente proyecto, los factores seleccionados se consideran como los más significativos a la hora de controlar la rugosidad superficial. Sin embargo, para el análisis de los factores que afectan la rugosidad, se recomienda incluir las fuerzas de corte como una función del avance, a fin de establecer los niveles de forma más adecuada.
- También se recomienda trabajar con múltiples variables de salida adicional a la rugosidad superficial, como el tiempo del proceso y el costo de maquinado a fin de establecer un modelo multi objetivo, que busque ahorros en tiempo y costo, manteniendo la calidad del producto.
- Queda abierta una investigación futura para encontrar una ecuación de predicción de rugosidad (R_a) utilizando algún tipo de lubricante en el momento de torneado del acero. Sería de mucho interés trabajar con distintos tipos de herramientas para ver cómo inciden en la rugosidad (R_a).

Al realizar otro trabajo de investigación con un torno de control numérico CNC, se podría ver de qué manera incidirían las variables de velocidad de husillo, profundidad de corte y velocidad de avance en la rugosidad superficial (R_a).



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, C. (2002). *Manual de manufactura II*, Primavera.
- Argumedo, P. (2008). *Programación del torno didáctico con control numérico computacional*. BOXFORD 250. México D.F.: Autor - Editor.
- AZoM, «AZOMaterials,» AZoNetwork (2012). [En línea]. Available: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6769>. [Último acceso: 10 11 2020].
- Calle, F. y Valencia, J. (2020). *Análisis comparativo de la influencia del sistema de mínima cantidad de lubricación con aceite vegetal y sintético en operaciones de fresado CNC del acero AISI 4140*. (Tesis). Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. Carrera de ingeniería mecánica. Ecuador.
- Castellanos, R. y Martínez, D. (2009). *Evaluación de maquinabilidad por torneado de un acero SAE 1020 fabricado en Colombia*. Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial-Argentina
- Chávez, R. y Rojas, M. (2015). *Caracterización del acabado superficial utilizando el VMC del ICN de la UNAM*. México D.F.: Autor - Editor.
- Correa, A. (2008). *Principios de torneado*. [En línea]. Available: <http://www.epetrg.edu.ar/apuntes/principiosdetorneado.pdf>. [Último acceso: 20 enero 2020].
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. (3ra Ed.). McGraw-Hill Interamericana.



- ISO 4288 (1998). *Norma ISO 4288: 1996. Geometrical Product Specification (GPS)- Surface texture: Profile method-Rules and procedures for the assessment of surface texture*. Ed. ISO Standards.
- ISO 8785 (1998). *Standard ISO 8785: 1998. Geometrical Product Specification (GPS)- Surface imperfections-Terms, definitions and parameters*. Ed. ISO Standards.
- ISO 1302 (2002). *Calidad superficial*.
- Ivan, B. (2016). [En línea]. Available: <https://www.ivanbohman.com.ec>. [Último acceso: 10 11 2020].
- Kalpakjian, S. (2002). *Manufactura-Ingeniería y tecnología*. México: Pearson - Prentice Hall.
- Lobos, N. (2017). *Ensayo de arranque de viruta para la obtención de parámetros de mecanizado del TECHNYL*. Viña del Mar: Autor – Editor
- Mitsubishi Materials Corporation. (2017). *New insert grade provides outstanding durability*. Tokyo.
- MITUTOYO (2016). «*Quick Guide to Surface.*» MITUTOYO- Korea.
- Montilla, & Ríos, (2006). *Caracterización de regímenes de corte del torno Spectralight 0400 de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira*. Scientia Et Technica.
- Morales, I. & et. al. (2014). *Estudio experimental de la rugosidad superficial en el torneado en seco de alta velocidad del acero AISI 316L destinado al agro industria alimenticia*. Universidad de Granma (UDG), Departamento de Ciencias Técnicas, Bayamo, Cuba.



- Mustapha, E. (2017). *Diseño y fabricación de una herramienta de torno asistida por vibración*. Barcelona: Autor – Editor.
- Pernía, A., Blanco, J., Sierra, J., Azofra, J. & Martínez, F. (2018). *Prácticas de mecanizado en torno y fresadora*. Universidad de la Rioja.
- Pusey, L. (2013). *Guía teórica y práctica del curso de procesos de manufactura 1*. Guatemala: Autor - Editor.
- Roldán, D. (2016). *Análisis experimental de las fuerzas de corte en operaciones de cilindrado*. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería.
- Romero, A. (1996). *Desarrollo de un ambiente virtual de torneado en lenguaje de programación VRML*. (Tesis). Ingeniería Mecánica, UDLA-P.
- Sánchez, D. (2015). *Estudio y formación de capas duras sobre un acero AISI 4140 utilizado en la manufactura*. Tultitlán: Autor - Editor.
- SISA, «Aceros SISA,» Aceros SISA-MET (2012). [En línea]. Available:
<http://sisal.com.mx/wp-content/uploads/Acero-SISA-4140T-Tratado-y-Revenido.pdf>. [Último acceso: 11 11 2020].
- Sullon, T. y Vásquez, J. (2017). *Efecto del fluido de corte y la velocidad de avance sobre la rugosidad, fuerza de corte y potencia específica de corte para el mecanizado del aluminio 6061-T6*. (Tesis). Universidad Nacional de Trujillo-Facultad de Ingeniería.
- Vargas, L., Pedraza, C., Devia, C. y Martínez, C. (2014). *Desarrollo de un modelo predictivo para la calidad superficial en un proceso de torneado sobre aceros*



de alta resistencia. Grupo de Investigación IMTEF Ingeniería Mecánica.
Universidad del Atlántico.

Viloria, L. & Bohórquez, L. (2016). *Efecto de la temperatura de revenido en la microestructura y en las propiedades del acero AISI 4140.* Córdoba: Universidad de Córdoba.

Villacres, J. (2016). *Influencia de los sistemas de lubricación en el acabado superficial en la punta de eje posterior del nissan patrol en el proceso de torneado.* (Tesis) Universidad técnica de Ambato. Facultad de ingeniería civil y mecánica carrera de ingeniería mecánica. Ecuador.



ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones del acero AISI 4140

ACEROS ESPECIALES
Para aplicaciones Industriales

Cía. General de Aceros

Acero Grado Ingeniería

Referencia:
Aceros Aleados

AISI / SAE: 4140

Composición química (%)			
C	0.33 - 0.43	Cr	0.80 - 1.10
Mn	0.75 - 1.00	Mo	0.15 - 0.25
Si	0.15 - 0.35	S	0.040 Máx
P	0.035 Máx.		

Dureza de suministro 28 - 32 HRC.

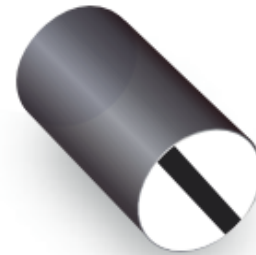
EQUIVALENCIAS EN OTRAS NORMAS

NORMAS	NOMBRE
AISI SAE	4140
DIN	42CrMo4
AFNOR	42CD4
UNI	40CD4
BS	708M40

Características:

Acero de medio carbono aleado con Cr y Mo. Posee mediana templabilidad, buena maquinabilidad, alta resistencia, buena tenacidad y baja soldabilidad. Es comúnmente utilizado para la fabricación de piezas que requieran alta tenacidad y resistencia.

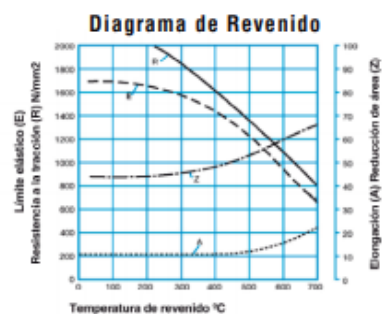
Usos: Se utiliza en piñones, tornillos de alta resistencia. Piezas de alta exigencia para la industria petrolera. Cigüeñales, espárragos, árboles, engranajes de transmisión, etc.



Estado de Suministro	Resistencia tracción kg/mm ²	Límite elástico kg/mm ²	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza brinell HB
Laminado en Caliente	60/70	40	22	50	210/240
Calibrado	70/80	60	14	40	240/260
Bonificado	88/100	75	14	47	260/320

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850/1100	Ceniza o arena
Temple	830/850	Aceite
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	680/720	Horno
Revenido	500/650	Aire

* Tener presente que los tratamientos térmicos modifican las propiedades mecánicas de origen del material.



Observaciones: Toda la información técnica es solo de referencia.

Los datos suministrados están dentro de los rangos promedio de lo exigido por norma o la calidad asociada y no corresponden a los valores exactos para cada materia

Anexo 2. Interpretación de los insertos de torneado (MARCA MISTSUBISHI)

IDENTIFICACIÓN

Simbolo	Forma de placa
H	Hexagonal
O	Octagonal
P	Pentagonal
S	Escuadra
T	Triangular
C	Rómbica 80°
D	Rómbica 55°
E	Rómbica 75°
F	Rómbica 50°
M	Rómbica 86°
V	Rómbica 35°
W	Trigona
L	Rectangular
A	Paralelogramo 85°
B	Paralelogramo 82°
K	Paralelogramo 55°
R	Redonda
X	Diseño especial

① Símbolos para tipo de placa

③ Símbolos según tolerancias			
Simbolo	Tolerancia cota m (mm)	Tolerancia del círculo inscrito eD1 (mm)	Tolerancia de espesor S1 (mm)
A	±0.005	±0.025	±0.025
F	±0.005	±0.013	±0.025
C	±0.013	±0.025	±0.025
H	±0.013	±0.013	±0.025
E	±0.025	±0.025	±0.025
G	±0.025	±0.025	±0.13
J	±0.005	±0.05-±0.15	±0.025
K*	±0.013	±0.05-±0.15	±0.025
L*	±0.025	±0.05-±0.15	±0.025
M*	±0.08-±0.18	±0.05-±0.15	±0.13
N*	±0.08-±0.18	±0.05-±0.15	±0.025
U*	±0.13-±0.38	±0.08-±0.25	±0.13

La placa tiene una marca en la superficie.

③ Símbolos según tolerancias							
● Tolerancia cota m (mm)							
D.I.C.	Triangular	Escuadra	Rómbica 80°	Rómbica 55°	Rómbica 35°	Redonda	
6.35	±0.08	±0.08	±0.08	±0.11	±0.16	—	
9.525	±0.08	±0.08	±0.08	±0.11	±0.16	—	
12.70	±0.13	±0.13	±0.13	±0.15	—	—	
15.875	±0.15	±0.15	±0.15	±0.18	—	—	
19.05	±0.15	±0.15	±0.15	±0.18	—	—	
25.40	—	±0.18	—	—	—	—	
31.75	—	±0.20	—	—	—	—	

● Tolerancia del círculo inscrito (mm)							
D.I.C.	Triangular	Escuadra	Rómbica 80°	Rómbica 55°	Rómbica 35°	Redonda	
6.35	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	—	
9.525	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	
12.70	±0.08	±0.08	±0.08	±0.08	—	±0.08	
15.875	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	—	±0.10	
19.05	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	—	±0.10	
25.40	—	±0.13	—	—	—	±0.13	
31.75	—	±0.15	—	—	—	±0.15	

③ Símbolos según tolerancias

① ② ③ ④

C N M G

② Símbolos según ángulo de incidencias	
Simbolo	Ángulo de incidencia
A	3°
B	5°
C	7°
D	15°
E	20°
F	25°
G	30°
N	0°
P	11°
O	Otros ángulos de incidencia
	Mayor ángulo de incidencia

④ Símbolos según fijación y rompevirutas									
Métrica									
Simbolo	Agujero	Configuración Agujero	Viruta Rompevirutas	Figura	Simbolo	Agujero	Configuración Agujero	Viruta Rompevirutas	Figura
W	Con agujero	Agujero cilíndrico + Avellanado (40-60°)	No		A	Con agujero	Agujero cilíndrico	No	
T	Con agujero	Agujero cilíndrico + Avellanado (40-60°)	Una cara		M	Con agujero	Agujero cilíndrico	Una cara	
Q	Con agujero	Agujero cilíndrico + Cilindro cónico dos caras (40-60°)	No		G	Con agujero	Agujero cilíndrico	Doble cara	
U	Con agujero	Agujero cilíndrico + Avellanado (70-90°)	Doble cara		N	Sin agujero	—	No	
B	Con agujero	Agujero cilíndrico + Avellanado (70-90°)	No		R	Sin agujero	—	Una cara	
H	Con agujero	Agujero cilíndrico + Avellanado (70-90°)	Una cara		F	Sin agujero	—	Doble cara	
C	Con agujero	Agujero cilíndrico + Cilindro cónico dos caras (70-90°)	No		X	—	—	—	Diseño especial
J	Con agujero	Agujero cilíndrico + Cilindro cónico dos caras (70-90°)	Doble cara						

Símbolo							Diámetro del círculo inscrito (mm)
R	W	D	C	S	A		
	02		04	03	03	06	3.97
	L3	08	05	04	04	08	4.76
	03	09	06	05	05	09	5.56
06							6.00
	04	11	07	06	06	11	6.35
	05	13	09	08	07	13	7.94
08							8.00
09	06	16	11	09	09	16	9.525
10							10.00
12							12.00
12	08	22	15	12	12	22	12.70
15	10		19	16	15	27	15.875
16							16.00
19	13		23	19	19	33	19.05
20							20.00
			27	22	22	38	22.225
25							25.00
25			31	25	25	44	25.40
31			38	32	31	54	31.75
32							32.00

⑤ Símbolos según medidas

*Espesor entre cara-base altura-filo de corte.

Símbolo	Espesor (mm)
S1	1.39
01	1.59
T0	1.79
02	2.38
T2	2.78
03	3.18
T3	3.97
04	4.76
06	6.35
07	7.94
09	9.52

⑥ Símbolos según espesor

12 04 08 (E) (N)-MP

⑦ Símbolos para placas según radio de la punta

Símbolo	Ángulo del radio (mm)
00	Radio
V3	0.03
V5	0.05
01	0.1
02	0.2
04	0.4
08	0.8
12	1.2
16	1.6
20	2.0
24	2.4
28	2.8
32	3.2

00 : Inch
M0 : Métrica

Placa redonda

⑧ Símbolo según el filo de corte

Figura	Filo de corte	Símbolo
	Filo vivo	F
	Redonda Filo de corte	E
	Filo de corte chafanado	T
	Filo de corte redondeado y chafanado	S

Mitsubishi Materials omite el símbolo del filo de corte.

⑨ Símbolo de dirección de corte

Figura	Mano	Símbolo
	Derecha	R
	Izquierda	L
	Neutro	N

⑩ Símbolo para rompevirutas

LP	MP	RP
LM	MM	RM
LK	MK	RK
LS	MS	RS
FP	LP	MP
MA	SW	MW
HZ	HX	HV

Anexo 3. Condiciones de corte recomendadas para el inserto (MARCA MITSUBISHI)

Insertos negativos (Herramienta de torneado exterior)

Material	Dureza	Modo de corte		Rompeviruta	Vel. de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Prof. de corte (mm)
Acero al carbono Acero aleado (S45C, SCM440 etc.)	180–280HB	Corte general	Terminación	FH	230–390	0.08–0.20	0.20–1.00
		Corte general	Corte ligero	LP	210–355	0.10–0.40	0.30–2.00
		Corte general		SH	210–355	0.10–0.40	0.30–2.00
		Corte general		SA	210–355	0.10–0.40	0.30–2.00
		Corte general		SW	210–355	0.10–0.50	0.30–2.50
		Corte general		Corte medio	MP	190–325	0.16–0.50
		Corte general	MA		190–325	0.20–0.50	0.30–4.00
		Corte general	MH		190–325	0.20–0.55	1.00–4.00
		Corte general	Std		190–325	0.25–0.60	1.50–5.00
		Corte general	MW		190–325	0.20–0.60	0.90–4.00
		Corte general	Desbaste	RP	180–310	0.25–0.60	1.50–6.00
		Corte general		GH	180–310	0.25–0.60	1.50–6.00
		Corte estable	Corte pesado	HX	160–275	0.50–1.26	3.00–11.00
		Corte estable		HV	135–275	0.70–1.30	4.00–12.00
		Corte general		HZ	160–275	0.40–1.20	2.00–10.00


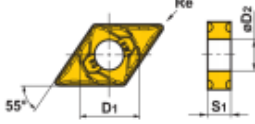

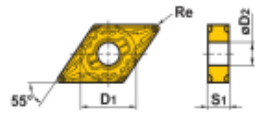

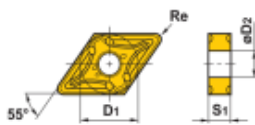

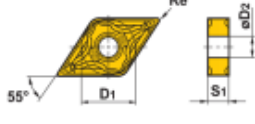

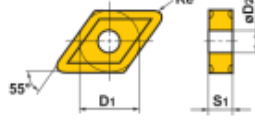

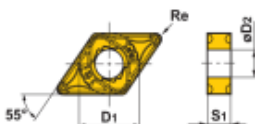
Insertos positivos de 5°/7° (HSKT TOOLS, Porta SP)

Material	Dureza	Modo de corte		Rompeviruta	Vel. de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Prof. de corte (mm)
Acero ligero (SS400, S10C etc.)	≤180HB	Corte general	Terminación	FP	250–425	0.04–0.20	0.20–0.90
		Corte general	Corte ligero	LP	250–425	0.06–0.25	0.20–1.00
		Corte general	Corte medio	MP	205–350	0.08–0.30	0.30–2.00
Acero al carbono Acero aleado (S45C, SCM440 etc.)	180–280HB	Corte general	Terminación	FP	185–310	0.04–0.20	0.20–0.90
		Corte general	Corte ligero	LP	185–310	0.06–0.25	0.20–1.00
		Corte general	Corte medio	MP	150–260	0.08–0.30	0.30–2.00
Acero al C, Acero aleado (SCM439 etc.)	280–350HB	Corte general	Corte medio	MP	110–185	0.08–0.30	0.30–2.00

Insertos positivos de 11° (Porta MC)

Material	Dureza	Modo de corte		Rompeviruta	Vel. de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Prof. de corte (mm)
Acero ligero (SS400, S10C etc.)	≤180HB	Corte general	Corte medio	Estándar	205–350	0.08–0.30	0.30–2.00
Acero al C, Acero aleado (S45C, SCM440 etc.)	180–280HB	Corte general	Corte medio	Estándar	150–260	0.08–0.30	0.30–2.00
Fundición gris (FC300 etc.)	≤350MPa	Corte general	Corte medio	—	130–200	0.08–0.30	0.30–2.00
Fundición nodular (FCD450 etc.)	≤450MPa	Corte general	Corte medio	—	120–190	0.08–0.30	0.30–2.00
	≤800MPa	Corte general	Corte medio	—	105–170	0.08–0.30	0.30–2.00

Anexo 4. Características geométricas del inserto (UE6110)

Forma	Código	Stock	Dimensiones (mm)				Geometría
		UE6110	D1	S1	Re	D2	
 Corte ligero (Wiper)	DNMX150404-SW	●	12.7	4.76	0.4	5.16	
	150408-SW	●	12.7	4.76	0.8	5.16	
	150412-SW	●	12.7	4.76	1.2	5.16	
	150604-SW	●	12.7	6.35	0.4	5.16	
	150608-SW	●	12.7	6.35	0.8	5.16	
	150612-SW	●	12.7	6.35	1.2	5.16	
 Corte medio	DNMG150404-MP	●	12.7	4.76	0.4	5.16	
	150408-MP	●	12.7	4.76	0.8	5.16	
	150412-MP	●	12.7	4.76	1.2	5.16	
	150416-MP	●	12.7	4.76	1.6	5.16	
	150604-MP	●	12.7	6.35	0.4	5.16	
	150608-MP	●	12.7	6.35	0.8	5.16	
	150612-MP	●	12.7	6.35	1.2	5.16	
150616-MP	●	12.7	6.35	1.6	5.16		
 Corte medio	DNMG110404-MA	●	9.525	4.76	0.4	3.81	
	110408-MA	●	9.525	4.76	0.8	3.81	
	110412-MA	●	9.525	4.76	1.2	3.81	
	150404-MA	●	12.7	4.76	0.4	5.16	
	150408-MA	●	12.7	4.76	0.8	5.16	
	150412-MA	●	12.7	4.76	1.2	5.16	
	150604-MA	●	12.7	6.35	0.4	5.16	
	150608-MA	●	12.7	6.35	0.8	5.16	
	150612-MA	●	12.7	6.35	1.2	5.16	
150616-MA	●	12.7	6.35	1.6	5.16		
 Corte medio	DNMG150404-MH	●	12.7	4.76	0.4	5.16	
	150408-MH	●	12.7	4.76	0.8	5.16	
	150412-MH	●	12.7	4.76	1.2	5.16	
	150604-MH	●	12.7	6.35	0.4	5.16	
	150608-MH	●	12.7	6.35	0.8	5.16	
150612-MH	●	12.7	6.35	1.2	5.16		
 Corte medio	DNMG110408	●	9.525	4.76	0.8	3.81	
	150404	●	12.7	4.76	0.4	5.16	
	150408	●	12.7	4.76	0.8	5.16	
	150412	●	12.7	4.76	1.2	5.16	
	150416	●	12.7	4.76	1.6	5.16	
	150604	●	12.7	6.35	0.4	5.16	
	150608	●	12.7	6.35	0.8	5.16	
	150612	●	12.7	6.35	1.2	5.16	
150616	●	12.7	6.35	1.6	5.16		
 Corte medio (Wiper)	DNMX150408-MW	●	12.7	4.76	0.8	5.16	
	150412-MW	●	12.7	4.76	1.2	5.16	
	150608-MW	●	12.7	6.35	0.8	5.16	
	150612-MW	●	12.7	6.35	1.2	5.16	

Anexo 5. Panel de fotografías



