INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE AVANCE Y LA LUBRICACIÓN EN EL ACABADO SUPERFICIAL EN UN PROCESO DE CILINDRADO

Luis Gustavo Hernandez Jimenez

Ingeniería y Tecnología

3ciencias

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE AVANCE Y LA LUBRICACIÓN EN EL ACABADO SUPERFICIAL EN UN PROCESO DE CILINDRADO

Luis Gustavo Hernandez Jimenez

Editorial Área de Innovación y Desarrollo,S.L.

Quedan todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida, distribuida, comunicada públicamente o utilizada, total o parcialmente, sin previa autorización.

© del texto: **Luis Gustavo Hernandez Jimenez**

ÁREA DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO, S.L.

C/ Els Alzamora, 17- 03802- ALCOY (ALICANTE) info@3ciencias.com

Primera edición: **octubre 2019**

ISBN: **978-84-120756-8-7**

DOI: **http://dx.doi.org/10.17993/IngyTec.2019.56**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN **7**
1.1. Planteamiento del problema 7
1.2. Objetivos 7
1.2.1. Objetivo General 7
1.2.2. Objetivos Específicos 7
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS **9**
2.1. Antecedentes 9
2.2. Fundamentos teóricos 10
2.2.1. Cilindrado 10
2.2.2. Rugosidad 11
2.2.3. Tipos de rugosidad 11
2.2.4. Superficie real 11
2.2.5. Superficie geométrica 12
2.2.6. Superficie de referencia 12
2.2.7. Perfil real 12
2.2.8. Especificación de la rugosidad. Simbología 14
2.2.9. Medición de la rugosidad superficial 15
2.2.10. Sistema de medición de la rugosidad 16
2.2.10.1. Sistema "E" o de la envolvente 16
2.2.10.2. Sistema "M" o de la línea media 17
2.2.11. Fluidos de corte 20
2.2.11.1. Tipos de fluidos 20
2.2.11.2. Taladrinas 21
2.2.11.3. Funciones de los fluidos de corte 23
2.2.11.4. Daños para el medio ambiente y la salud humana 23
2.2.11.5. Procesos productivos en los que intervienen los fluidos de corte 23
2.2.11.6. Mecanizado en seco 24
CAPÍTULO III: METODOLOGIA Y DESARROLLO DEL PROYECTO **27**
3.1. Materiales 27
3.2. Equipos 27
3.3. Procedimiento experimental 27
3.4. Datos experimentales 28
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS **31**
4.1. Resultados 31
4.2. Análisis de resultados 32
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES **35**
5.1. Conclusiones 35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **37**
ANEXOS **39**
7.1. Apéndice A: Especificación acero AISI A-2 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso de cilindrado 10
Figura 2. Superficie real 11
Figura 3. Superficie geométrica 12
Figura 4. Perfil real 12
Figura 5. Herramienta con radio de punta y Kr = K'r. 13
Figura 6. Herramienta sin radio de punta 13
Figura 7. Perfil de rugosidad 14
Figura 8. Sistema "E" o de la envolvente. 17
Figura 9. Sistema "M" o de la línea media. 18
Figura 10. Línea media con ondulación excluida 18
Figura 11. Línea media sin ondulación excluida 19
Figura 12. Perfil de ondulación 19
Figura 13. Amortiguamiento de oscilaciones. 20
Figura 14. Variación de la rugosidad promedio en función de la velocidad de avance. 31
Figura 15. Variación de la temperatura de corte en función de la velocidad de avance (Sin refrigerante) 31
Figura 16. Variación de la temperatura de corte en función de la velocidad de avance (Con refrigerante) 32
Figura 17. Tendencias (Con refrigerante y sin refrigerante) 32
Figura 18. Especificaciones técnicas acero AISI A-2. 39
Figura 19. Especificaciones técnicas acero AISI A-2. 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Simbología de la rugosidad. 15
Tabla 2. Rugosidad experimental, velocidad de avance y temperaturas de operación. 28
Tabla 3. Especificaciones del material. 29
Tabla 4. Rugosidad teórica en función de la velocidad de avance, velocidad de corte, y profundidad del corte. 31

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

A medida que se desarrollan las tecnologías mecánicas, se incrementa la necesidad de definir, medir e indicar con precisión el estado superficial de las piezas que integran las máquinas y los mecanismos, aspecto que afecta directamente al diseño y funcionamiento de los mismos. El estado superficial de una pieza manufacturada es un aspecto importante en propiedades mecánicas de las superficies tales como: capacidad de lubricación, desgaste, rozamiento y resistencia a la fatiga.

En la fabricación de piezas no es posible obtener la forma perfecta de las superficies definidas en los planos de diseño, debido a los defectos que aparecen en las superficies. Estos pueden estar provocados por deficiencias y desajustes de los equipos empleados en el proceso de fabricación, que generan los defectos de ondulación, o las huellas del mecanizado que producen los defectos de rugosidad.

1.1. Planteamiento del problema

Existe un conjunto de parámetros normalizados que dan información suficiente de las características micro geométricas que presentan las superficies de las piezas, pero existe una tendencia generalizada a usar como único parámetro de caracterización de la rugosidad superficial la desviación aritmética media Ra, muy utilizado en las indicaciones de estados superficiales en los dibujos técnicos.

El estudio del efecto que tiene la variación de la velocidad de avance y la lubricación sobre las superficies mecanizadas influyen directamente en la magnitud de la rugosidad de una pieza sometida a un proceso de cilindrado en un torno.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la influencia de la velocidad de avance y la lubricación en el acabado superficial para un proceso cilindrado.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar varias operaciones de cilindrado variando la velocidad de avance.
- Medir la rugosidad de la superficie cilindrada a distintas velocidades de corte.

- Realizar varios procesos de cilindrado a una misma pieza a distintas velocidades de avance.
- Medir la rugosidad aritmética de la superficie cilindrada a distintas velocidades de avance
- Calcular la rugosidad teórica.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes

Para el desarrollo de la siguiente investigación se toma como base el trabajo especial de grado descrito a continuación:

En primer lugar, Zamorano (2013), en su trabajo especial de grado titulado "*Línea de producción de procesamiento de aceros"* nombra y describe los procesos necesarios para efectuar el corte de planchas y perfiles en el departamento de Calderería, y así obtener un producto prefabricado. Cada proceso conlleva una serie de pasos, los cuales se deben llevar a cabo con rigurosidad para así obtener un producto que cumpla con los estándares de calidad requeridos. Se describe la maquinaria ocupada durante cada proceso para tener conocimiento de funcionamiento de éstas.

En segundo lugar, el trabajo de Alvarez (2003) tenía como objetivo general determinar los parámetros óptimos de corte que permitirían obtener un mejor acabado superficial en mecanizado de fresadora, para aleaciones de aluminios comerciales. Entre sus objetivos específicos se destacan los siguientes: Determinar la velocidad de corte, avance, número de filos cortantes de la herramienta, profundidad y fluido de corte para obtener excelente acabado superficial al mecanizar aleación de aluminio 62.S en fresadora; indicar los parámetros de corte de la aleación de aluminio que produce el mejor acabado superficial en mecanizado con maquina fresadora. Como conclusión más importante se destaca que para la aleación de aluminio 62.S se obtuvieron valores de rugosidad de 0.3 µm , utilizando velocidad de corte de 82.46 m/min, velocidad de avance de 35mm/min, herramienta con 2 filos cortantes, profundidad de corte 0.5 mm y fluido de corte kerosene.

Por último, el trabajo de Cordoba Charles (2005), "*Influencia de las variables de mecanizado en el torneado de piezas automotrices (discos de frenos*)", tenía como objetivo general estudiar la influencia de las variables de mecanizado en el torneado y acabado superficial de las pistas de discos de frenos. Entre sus objetivos específicos se destacan los siguientes: Establecer las variables que influyen en el acabado de las piezas mecanizadas (discos de frenos); optimizar las variables de mecanizado para un adecuado acabado superficial de las piezas (pistas de los discos de freno), de acuerdo con los rangos de dureza de las piezas. Como conclusión más importante se obtuvo que los parámetros óptimos de mecanizado de los discos de freno son: el avance f=0,2540 mm/rev, ya que según la rugosidad es la condición donde es más uniforme por cada cara y por más cantidad de discos mecanizados, manteniendo una

velocidad de giro mayor para garantizar también una rugosidad uniforme, siendo óptimo a N=622 rpm, ya que a N=1058 rpm, representa un trabajo forzado por parte de la máquina a bajos avances y mayor desgaste de la herramienta. Según desgaste, este avance garantiza una mayor duración útil de la herramienta.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Cilindrado

El cilindrado es una operación realizada en el torno mediante la cual se reduce el diámetro de la barra de material que se está trabajando.

Para poder efectuar esta operación, la herramienta y el carro transversal se han de situar de forma que ambos formen un ángulo de 90º (perpendicular), y éste último se desplaza en paralelo a la pieza en su movimiento de avance. Esto es así por el hecho de que por el ángulo que suele tener la herramienta de corte, uno diferente a 90º provocará una mayor superficie de contacto entre ésta y la pieza, provocando un mayor calentamiento y desgaste.

En este procedimiento, el acabado que se obtenga puede ser un factor de gran relevancia; variables como la velocidad y la cantidad de material que se corte en un "pase", así como también el tipo y condición de la herramienta de corte que se esté empleando, deben ser observados.

En este proceso, comúnmente rigen la cilindricidad y la concentricidad, si es el caso en que hayan varios diámetros a ser obtenidos.

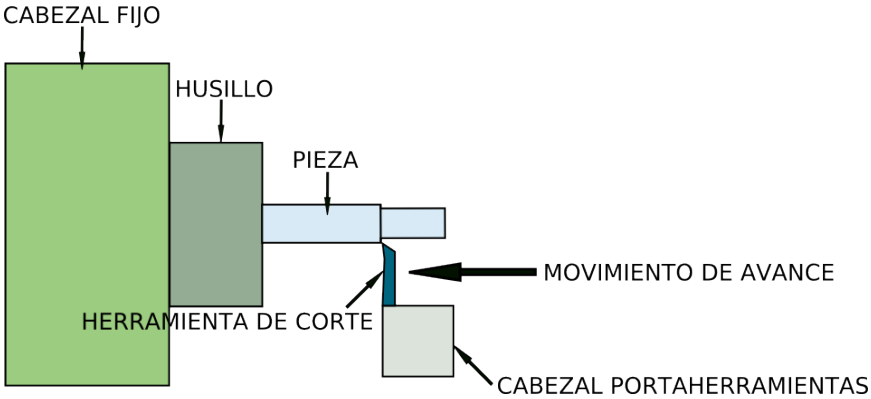


Figura 1. Esquema del proceso de cilindrado.
Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Rugosidad

Entendemos por rugosidad o aspereza de una superficie la huella que se produce en la misma como consecuencia de los procesos de mecanización a los que se le ha sometido, por lo tanto, la rugosidad está relacionada con el procedimiento de trabajo empleado de tal forma que éste se elige en función de la calidad superficial que se desee obtener.

La rugosidad se refiere a las irregularidades superficiales finamente espaciadas y es consecuencia, en las superficies mecanizadas, de las operaciones de mecanizado.

2.2.3. Tipos de rugosidad

- Rugosidad (hidráulica)

La rugosidad de las paredes de los canales y tuberías es función del material con que están construidos, el acabado de la construcción y el tiempo de uso. Los valores son determinados en mediciones tanto de laboratorio como en el campo.

- Rugosidad (mecánica)

El estado superficial de las piezas varía según la función que han de realizar o de su aspecto externo que a fines comerciales pueda tener. El acabado final y la textura de una superficie son de gran importancia e influencia para definir la capacidad de desgaste, lubricación, resistencia a la fatiga y aspecto externo de una pieza o material, por lo que la rugosidad es un factor importante para tener en cuenta.

2.2.4. Superficie real

Superficie que limita el cuerpo y lo separa del medio ambiente.

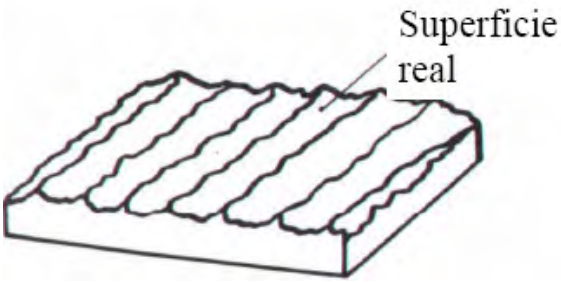


Figura 2. Superficie real.
Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Superficie geométrica

Superficie ideal cuya forma está especificada por el dibujo y/o todo documento técnico.

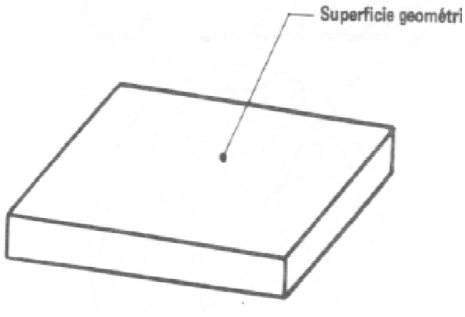


Figura 3. Superficie geométrica.
Fuente: elaboración propia.

2.2.6. Superficie de referencia

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

2.2.7. Perfil real

Es el perfil resultante de cortar una superficie real por un plano definido en relación con la superficie ideal. Limita la sección material y la separa del medio ambiente, incluida la ondulación.

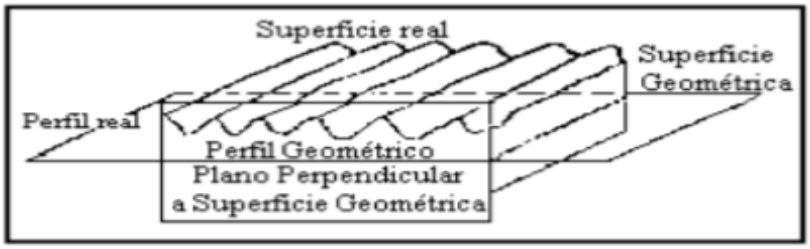


Figura 4. Perfil real.
Fuente: elaboración propia.

La rugosidad superficial de una pieza consiste en las finas irregularidades de la textura superficial originadas por la acción del proceso de fabricación. En una operación de maquinado el radio de punta “Rp” y el ángulo de desahogo “K´r” junto con el

avance son en principios, los parámetros que más afectan el acabado superficial y la precisión de la medida.

En la Figura 5 se esquematiza el perfil teórico que deja una herramienta con punta curva y montada en forma tal que el ángulo de posición de filo "Kr" sea igual al de desahogo "K´r".

En la Figura 6 se hizo lo mismo con herramienta sin radio de punta con un ángulo de posición de filo "Kr" y otro de desahogo "K´r".

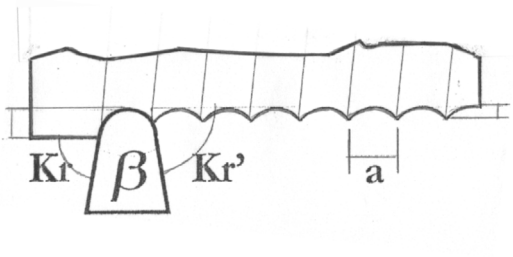


Figura 5. Herramienta con radio de punta y Kr = K'r.
Fuente: elaboración propia.

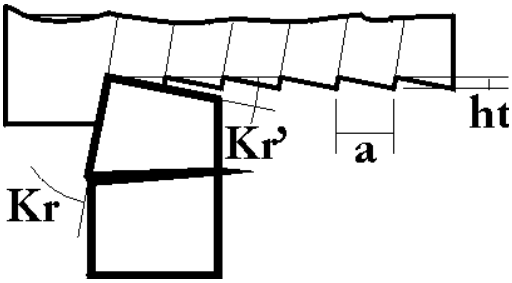


Figura 6. Herramienta sin radio de punta.
Fuente: elaboración propia.

La altura teórica (Rugosidad teórica) del perfil estaría dada por las ecuaciones:

Para el caso de la Figura 5:

$$Rt = Rp - 1/2\sqrt{4Rp^2 - a^2} \qquad (2.1)$$

O con la ecuación aproximada:

$$Rt = \frac{a^2}{8Rp} \qquad (2.2)$$

Para el caso de la Figura 6:

Rt= a x sen Kr x Sen K'r/ sen (Kr + K'r) (2.3)

La rugosidad cuadrática media “Rm” y la rugosidad respecto de la línea promedio “Ra” o “CLA” está dada por las ecuaciones (2.4) y (2.5).

$$R_a = \frac{1}{L}\int_0^L \left| y(x) \right| dx \qquad (2.4)$$

$$R_{rms} = \sqrt{\frac{1}{L}\int_0^L \left[y(x) \right]^2 dx} \qquad (2.5)$$

Si se calcula según los perfiles de las Figuras 5 y 6, los valores de la rugosidad “Ra” o “Rm” los valores que se obtienen son generalmente menores que los obtenidos de la superficie real por medio de un rugosímetro.

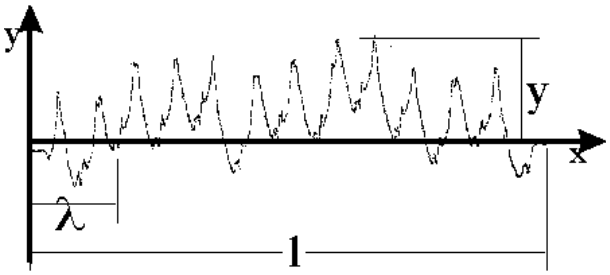
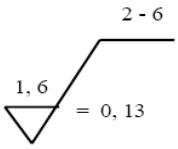


Figura 7. Perfil de rugosidad.
Fuente: elaboración propia.

Las especificaciones y manufactura de una superficie requieren una rigurosa interacción entre las propiedades metalúrgicas de la superficie, las condiciones de maquinabilidad y el método de ensayo de la medida de la rugosidad, como así también se necesita un estudio integral del comportamiento de la superficie, como de la estructura metalúrgica de la misma, pues ambos factores influyen en la calidad de la superficie maquinada. Así por ejemplo en estructuras en que las fallas por fatiga pueden afectar su superficie, en casos de corrosión bajo tensiones o en superficies con dureza crítica por desgaste, se hace imprescindible junto con las condiciones metalúrgicas un estudio de la rugosidad más conveniente. Debe tenerse en cuenta además que el costo de torneado entre una superficie con terminación fina y una semirugosa aproximadamente se triplica.

2.2.8. Especificación de la rugosidad. Simbología

Ejemplo:



El significado de cada número y símbolo es el siguiente:

- 1, 6 es el valor Ra de la rugosidad en μm.
- 2 es el valor de la altura de la ondulación (no necesario).
- = es la orientación de la rugosidad (en este caso paralela a la línea).
- 0, 13 es el paso de la rugosidad en μm (no necesario)
- 6 es el valor del paso de la ondulación en mm (no necesario).

Tabla 1. Simbología de la rugosidad.

SÍMBOLO	ORIENTACIÓN DE LA RUGOSIDAD	EJEMPLO	RUGOSIDAD
=	Paralela a la línea representativa de la superficie sobre la que el símbolo va indicado.	0, 8	Rugosidad máxima Ra = 0, 8 µm.
⊥	Perpendicular a la línea representativa de la superficie sobre la que el símbolo va indicado.	1, 6 0, 8	Rugosidad comprendida entre Ra = 0, 8 µm y Ra = 1, 6 µm.
×	Cruzado respecto a la línea representativa de la superficie sobre la que el símbolo va indicado.	0, 4 ⊥	Rugosidad máxima Ra = 0, 4 µm en la orientación.
M	Multidireccional.	0, 8 0, 4	Rugosidad máxima Ra = 0, 8 µm con paso de la rugosidad de 0, 4 mm.
C	Aproximadamente circular respecto al centro de la superficie sobre la que el símbolo va indicado.	1 0, 4	Rugosidad máxima Ra = 0, 4 µm con altura de 1 mm.
R	Aproximadamente radial respecto al centro de la superficie sobre la que el símbolo va indicado.	1 - 6 0, 4	Rugosidad máxima Ra = 0, 4 µm con altura de 1 mm y paso de la ondulación de 6 mm.

Fuente: elaboración propia.

2.2.9. 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 muestra sobre la superficie siguiendo una línea recta.

La distancia que recorre el estilete se llama recorrido; en general va de 0.08 a 25 mm (0.003 a 1 pulgada) lo característico para la mayor parte de las aplicaciones es 0.8 mm (0.03 pulgada). La regla general es que el corte debe ser lo 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; solo indica la rugosidad. Un registro del perfil superficial se hace con instrumentos mecánicos y electrónicos.

Por el radio finito estilete de diamante, su trayectoria 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 mas lisa la superficie, la trayectoria del estilete se acercará más a la rugosidad superficial 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.

2.2.10. Sistema de medición de la rugosidad

La definición de medición de textura superficial se realiza en forma geométrica, ante la imposibilidad de una definición funcional. Las definiciones geométricas son bastante abstractas porque están basadas en una línea de referencia que existe solamente en teoría. Los resultados incluso sufren ciertas distorsiones por la utilización de filtros para excluir la ondulación cuando se pretende definir la rugosidad.

Fueron desarrollados dos sistemas de referencia: El sistema “E” o de la envolvente y el sistema “M” o de la línea media.

2.2.10.1. Sistema “E” o de la envolvente

Este sistema tiene por base las líneas envolventes descriptas por los centros de dos círculos, uno de radio R (normalmente 250 mm) y otro de radio r (normalmente 25 mm) respectivamente, que ruedan sobre el perfil efectivo.

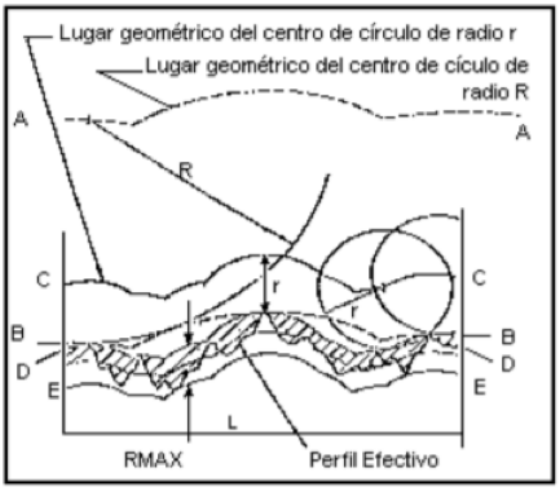


Figura 8. Sistema "E" o de la envolvente.
Fuente: elaboración propia.

Las líneas AA y CC así generadas, son colocadas paralelamente a sí mismas en dirección perpendicular al perfil geométrico, tocando el perfil efectivo y generando las posiciones BB y DD. La rugosidad es definida como el error del perfil efectivo en relación con la línea DD.

La ondulación está indicada como el error de la línea DD en relación con línea BB.

Finalmente, el error de la línea BB en relación con el perfil geométrico y considerado como error de forma. La línea envolvente puede ser colocada de manera de obtener la igualdad de áreas del perfil situadas por encima y por debajo de ellas. Obteniéndose una línea correspondiente a la línea media del sistema M.

Por este método, la línea de referencia es obtenida a través de la envolvente del círculo y su mayor dificultad reside en la definición del perfil geométrico, que debe ser ampliado por igual en ambas direcciones, consecuentemente la cantidad de papel gráfico que se requiere es considerable.

2.2.10.2. Sistema "M" o de la línea media

Dentro de la metrología de superficies no se mide la dimensión de un cuerpo (eso corresponde a la metrología dimensional) pero sí los desvíos con relación a una forma ideal (forma perfectamente plana, por ejemplo). De esta manera, tenemos que usar como línea de referencia una forma ideal (o una forma próxima a ésta, como ocurre en la práctica).

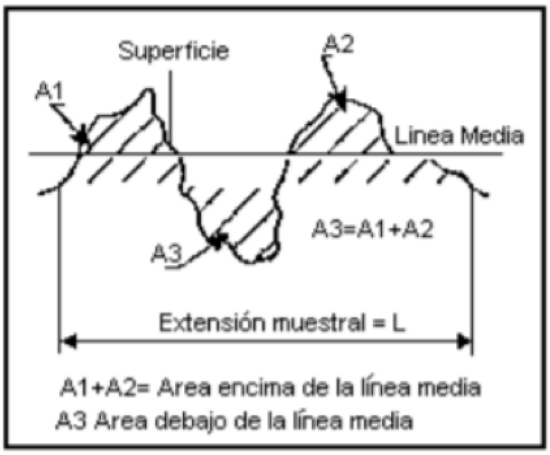


Figura 9. Sistema "M" o de la línea media.
Fuente: elaboración propia.

En el sistema M, la línea de referencia utilizada es la Línea Media, que se define como la línea localizada en la parte media del perfil de rugosidad, con la misma forma que el perfil geométrico, dispuesta paralela a la dirección general del perfil, dentro de los límites comprendidos como base de medición, de modo que la suma de las áreas por encima de ellas sea exactamente igual a la suma de las áreas que están por debajo.

También puede ser definida como la línea que quedaría si los picos fueran nivelados para compensar a los valles.

La línea media es trazada para cada compartimiento de muestra, si la ondulación fuera excluida, la forma de trazado de cada compartimiento de muestra formaría una línea recta e ininterrumpida.

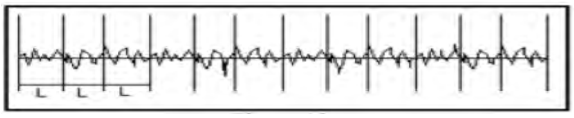


Figura 10. Línea media con ondulación excluida.
Fuente: elaboración propia.

Si la ondulación no fuera excluida, la forma del trazado acompañaría a la forma general del perfil, podrá tener inclinación diferente y podrá ser interrumpida para cada compartimiento de muestra.

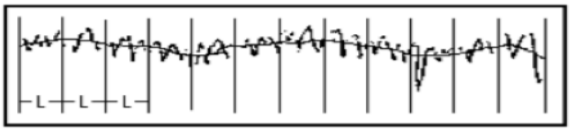


Figura 11. Línea media sin ondulación excluida.
Fuente: elaboración propia.

Dentro de cada compartimiento de muestra o módulo de medición la línea media es teóricamente recta, entretanto su inclinación en relación con la forma nominal de la superficie depende de la ondulación, de esta forma cuando la Línea Media está determinada gráficamente, ella podrá ser tratada como una línea recta. Cuando la Línea Media está determinada por medio de filtros podrá ser curva, más eso no causará variaciones significativas en los resultados de las mediciones.

La longitud de los módulos de medición debe ser suficiente para poder evaluar la rugosidad, esto es, debe contener todos los detalles representativos de rugosidad y excluir aquellos inherentes a la ondulación.

Es de gran importancia que esos módulos de medición sean correctamente definidos con relación al tipo de rugosidad. Por ejemplo, si el módulo de medición es L (Figura 11), conseguirá aislar la rugosidad de la ondulación satisfactoriamente. De forma tal que si una línea media (recta) fuera trazada para cada L1 posteriormente alineadas, como resultado tendremos el perfil original con una ondulación filtrada (Figura 10).

Un módulo demasiado pequeño no será representativo de la superficie, dando error al evaluar la rugosidad. Los resultados de mediciones repetidas, realizadas en esas condiciones, darán cierta dispersión. Si en caso contrario el valor del módulo de medición fuera L1, mayor que lo necesario, incluiría valores de perfil de ondulación que también afectarían los resultados de medición de rugosidad.

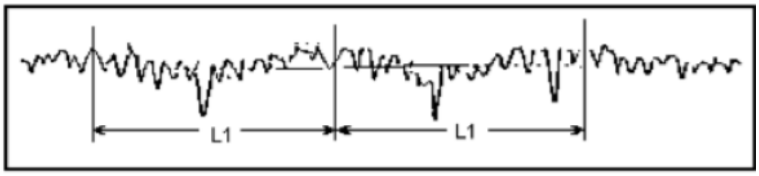


Figura 12. Perfil de ondulación.
Fuente: elaboración propia.

El módulo de medición es conocido también como CUT-OFF y no debe ser confundido con la longitud de medición. Su función es la de actuar como filtro, y normas

internacionales establecen cinco veces el módulo como mínimo para realizar una evaluación de la rugosidad de una superficie.

Existen modernos equipos para la medición de rugosidad a través de palpadores de aguja y que consideran un trecho inicial y otro final en la carrera total de palpado, cuya única finalidad es la de permitir el amortiguamiento de las oscilaciones del sistema, en especial las oscilaciones iniciales.

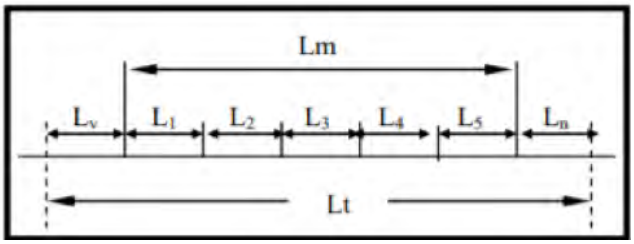


Figura 13. Amortiguamiento de oscilaciones.
Fuente: elaboración propia.

2.2.11. Fluidos de corte

Los fluidos de corte se utilizan en la mayoría de las operaciones de mecanizado por arranque de viruta. Estos fluidos, generalmente en forma líquida, se aplican sobre la zona de formación de la viruta, para lo que se utilizan aceites, emulsiones y soluciones. La mayoría de ellos se encuentran formulados en base a un aceite de base mineral, vegetal o sintético, siendo el primero el más utilizado, pudiendo llevar varios aditivos (antiespumantes, aditivos extrema presión, antioxidantes, biocidas, solubilizadores, inhibidores de corrosión).

2.2.11.1. Tipos de fluidos

Los principales tipos de fluidos de corte mecanizado son:

- Los aceites íntegros.
- Las emulsiones oleosas.
- Las “soluciones” semisintéticas.
- Las soluciones sintéticas.

En la mayoría de los casos contienen aditivos azufrados de extrema presión, en un 70% de los casos parafinas clorados y cada vez más aceites sintéticos (poliglicoles y ésteres). Es frecuente la adición de lubricantes sólidos como grafito, MoS2 o ZnS2.

2.2.11.2. Taladrinas

Los tres últimos tipos mencionados anteriormente son soluciones acuosas diluidas al 3,5% como media, y reciben el nombre genérico de taladrinas. El pH se sitúa en un ámbito ligeramente alcalino (pH 8-10).

Las taladrinas pueden contener todas o parte de las sustancias que se enumeran a continuación:

- Aceites minerales (de tendencias nafténica o parafínica)
- Aceites animales o vegetales
- Aceites sintéticos (alquilbencenos)
- Emulgentes
  - Catiónicos.
  - Aniónicos (como Na2SO4).
  - No iónicos (como trietanolamina, poliglicoleter, alilfenol oxietilo).
- Inhibidores de corrosión.
  - Nitritos (NaNO2, nitrito de diciclohexilamonio).
  - Aminas (mono-bi-trietanolamina, ciclohexilamininas).
  - Boratos (bacterioestático) y carbonatos.
  - Otros ácido butilbenzoico.
- Bactericidas-fungicidas (como fenoles, formoles, pentaclorofenoles).
- Aditivos extrema presión.
  - Parafinas cloradas.
  - Aditivos azufrados.
  - Aditivos fosforados (dialquilfosfato de cinc).

    - Aceites minerales y grasas, alcoholes.

- Humectantes o estabilizantes (como poliglicoles, alcoholes y fosfatos de aminas).
- Antiespumantes (siliconas como dimetilsiloxan).
- Colorantes.
- Acomplejantes (EDTA).
- Metales pesados (molibdeno, cinc).

Las taladrinas se presentan como concentrados que posteriormente son diluidos en el momento de su utilización con agua en proporciones entre un 1,5% y un 15% de volumen. Las taladrinas se pueden dividir en tres tipos:

a. Las emulsiones de aceite (mineral, sintético o vegetal/animal)

El concentrado se diluye al 4% como media (entre 2,5% y 15% según la clase) y contiene como base un 60% de aceites minerales, aproximadamente un 20% de emulgentes, un 10% de agua y un 10% de aditivos varios (anticorrosivos, bactericidas, aditivos de extrema presión).

Su uso se extiende a operaciones en las que la función lubrificante de la taladrina es prioritaria como es la laminación, la extrusión, la deformación (estampación y embutido).

Es frecuente el uso de las taladrinas más concentradas (15%) como protección de metales, es decir, para crear una capa protectora anticorrosiva sobre superficies metálicas.

b. Las taladrinas semisintéticas

El concentrado se diluye al 4% como media (entre el 1,5% y 5%) y contiene como base cerca de 20% de aceite mineral o sintético, un 30% de emulgentes, un 40% de agua y un 10% de aditivos varios (importantes bactericidas).

Su uso se extiende a operaciones en las que lubricación y refrigeración son importantes como es el mecanizado (taladrado, fresado).

c. Las taladrinas sintéticas

El concentrado se diluye el 2,5% (entre el 1,5 y el 12%) y contienen además de 15% de anticorrosivos, hasta un 25% de humectantes (glicoles), etc. (facultativo). Un 10% de aditivos varios y un 50-75% de agua.

Su uso se extiende a operaciones en las que la función refrigerante de la taladrina es prioritaria como el rectificado y la protección antioxidante.

2.2.11.3. Funciones de los fluidos de corte

LUBRICACIÓN: Reducir el coeficiente de fricción entre la herramienta y la pieza y entre la herramienta y la viruta que está siendo eliminada.

REFRIGERACIÓN: El fluido debe eliminar el elevado calor que se produce en la operación de mecanizado.

ELIMINACIÓN DE VIRUTA: El fluido debe retirar eficientemente la viruta lejos de la zona de operación para no interferir en el proceso y permitir la calidad superficial requerida.

PROTECCIÓN FRENTE A LA CORROSIÓN: El fluido acuoso podría oxidar y corroer la pieza, la herramienta o la máquina, para evitarlo las formulaciones incorporan protectores frente a la corrosión.

2.2.11.4. Daños para el medio ambiente y la salud humana

- Pueden tener efectos muy negativos sobre el medio ambiente, por ser contaminantes.
- Pueden ser causa de riesgos para la salud del operario.
- Pueden ocasionar bajo ciertas condiciones efectos negativos sobre la secuencia de producción.
- Son el motivo de costos considerables gastos de adquisición, almacenamiento, mantenimiento y eliminación de residuos.
- Hay cuatro componentes en los fluidos de corte que se consideran peligrosos para la salud humana y el medio ambiente. Estos componentes han sido considerados como peligrosos por entidades o programas como National Toxicology Program en USA, la Convención de Oslo y un proyecto de Directiva de la Unión Europea.

2.2.11.5. Procesos productivos en los que intervienen los fluidos de corte

Los procesos productivos son muy variados pudiendo enumerar como principales las siguientes:

- Rectificados (plano, cilíndrico, sin centro y lento).

- Torneado / fresado.
- Roscado / escariado.
- Taladrado (profundo).
- Corte (con sierra).
- Otros (troquelado, enderezado, etc.).

Por su parte las principales actividades industriales en las que se usan fluidos de corte son:

- Primera transformación de metales (laminación, corte...).
- Fabricación de tubos.
- Segunda transformación de metales (corte, troquelado...).
- Mecánica de precisión (construcción herramientas, máquinas...).
- Industria del vidrio.

Los metales que transformar en los procesos antes citados son fundamentalmente:

- Acero al carbono (para la construcción resistencia media a tensión).
- Acero inoxidable (como cromo aleaciones resistencia alta tensión).
- Acero para herramientas (con titanio, níquel... resistencia alta tensión).
- Fundición de hierro.
- Metales ligeros aluminio y aleaciones de magnesio.
- Metales de “color” cobre y aleaciones.

2.2.11.6. Mecanizado en seco

El mecanizado en seco supone la eliminación completa del fluido de corte. De forma que cuando se desempeña un proceso de este tipo, se deben adoptar medidas para que las funciones que normalmente ejerce el fluido sean asumidas por otros medios.

Para implantarlo se requiere realizar un profundo análisis de las condiciones límites de la operación en conjunción con el conocimiento detallado de las complejas interacciones asociadas al proceso, entre la herramienta de corte, la pieza a mecanizar y la máquina herramienta. Sobre esta base, se pueden identificar y adoptar medidas y soluciones para lograr implementar el mecanizado en seco.

Los factores a los que se les otorga mayor influencia en el desgaste de la herramienta son la adhesión y la abrasión para velocidades de corte bajas y la difusión y la oxidación a altas velocidades y elevadas temperaturas de corte. En consecuencia, el material de la herramienta debe presentar baja tendencia a la adhesión con el material de la pieza, así como elevada dureza y resistencia al desgaste a alta temperatura. Los materiales de herramientas actualmente disponibles responden de desigual forma a las mencionadas características.

Las herramientas recubiertas son ejemplo de materiales que permiten que el mecanizado en seco se extienda a áreas en las que los lubricantes se consideran actualmente como esenciales. Los avances en el campo de los materiales de corte están contribuyendo a la eliminación de los lubricantes, incluso en el caso de operaciones que se consideran extremadamente difíciles debido a la complejidad de la geometría de la herramienta y/o a la cinemática del proceso.

Un tema estrechamente relacionado con el mecanizado en seco es la creciente substitución del rectificado por procesos de mecanizado con filos de corte geométricamente definidos (mecanizado duro). Mientras el uso de los fluidos de corte es esencial en casi todas las operaciones de rectificado, estas piezas templadas se pueden tornear en seco utilizando herramientas cerámicas.

La energía mecánica introducida en el proceso de corte se transforma casi íntegramente en calor. Mientras en el mecanizado húmedo la mayor parte del calor del mecanizado es absorbido y extraído por el refrigerante, en el mecanizado en seco, la herramienta, la pieza y la máquina están sujetas a mayores niveles de tensión térmica, lo que puede traducirse en desviaciones dimensionales y de forma en las piezas. El diseño del proceso de mecanizado en seco debe tener muy en cuenta este aspecto.

El nivel de precisión alcanzable de la pieza en condiciones de mecanizado en seco depende principalmente de la cantidad de calor que recibe y de sus dimensiones geométricas. Resulta esencial diseñar el proceso de corte de forma que minimice la cantidad de calor transferido a la pieza.

En general, se puede decir que las operaciones de mecanizado en seco son siempre posibles cuando la pieza no requiere gran precisión dimensional de forma.

Un factor secundario que ejerce influencia sobre la precisión de las piezas es el comportamiento de la máquina cuando no se usa refrigeración. La refrigeración además de extraer las virutas y limpiar los elementos de guiado también reduce la

temperatura de los componentes de la máquina, lo que garantiza un mecanizado de precisión. Esta función no se cumple en el mecanizado en seco. Se necesitan tomar medidas especiales para garantizar que las virutas calientes se extraigan rápida y eficazmente de la zona de corte, y que se compense el calor introducido en los elementos de la máquina. Esto representa un desafío para los fabricantes de máquina-herramienta, desarrollar un concepto de máquina adaptado para cumplir con las necesidades específicas del mecanizado en seco. Los usuarios que tratan de invertir en una máquina deberían añadir la capacidad de mecanizar en seco a las especificaciones que reúne el fabricante.

De hecho, en la práctica, si el mecanizado en seco no ha desarrollado su potencial de forma significativa a pesar de la disponibilidad de materiales de herramienta eficaces, es debido a varios factores. Uno de éstos es seguramente que, en muchas empresas, una gran parte de las piezas y materiales se mecanizan aplicando el criterio de la disponibilidad de máquinas. Otro es que el refrigerante en la mayoría de las máquinas se utiliza sin prestar atención al material, a la herramienta y al método de mecanizado. Aunque el refrigerante en muchos casos no es técnicamente necesario y tiene incluso un efecto adverso en el corte interrumpido, es a menudo útil para funciones secundarias como la extracción de virutas. En estos casos no es posible introducir la política del mecanizado en seco.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA Y DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Materiales

- Probeta cilíndrica. Acero AISI A-2 (Especificación ver en Apéndice A)
- Un marcador negro.
- Una base para colocar el eje cilíndrico.
- Un cuaderno de anotaciones.
- Una brocha.
- Bolsa para colocar la viruta.

3.2. Equipos

- Torno.
- Rugosímetro.

3.3. Procedimiento experimental

1. Escuchar la explicación de la práctica a realizar en el laboratorio.
2. Buscar el eje el cual estaba sometido al proceso de cilindrado.
3. Determinar el radio de la punta.
4. Medir el diámetro del eje.
5. Conocer el material del eje a utilizar.
6. Montar el eje en el torno.
7. Buscar un marcador.
8. Establecer doce divisiones a lo largo del eje para realizar las medidas.
9. Realizar una tabla para colocar cada una de las anotaciones al variar la velocidad y aplicar lubricante.
10. Encender el torno.
11. Colocar la palanca del torno con un movimiento longitudinal.

12. Proceder a marcar doce rallas alrededor del cilindro, separadas por la misma distancia.
13. Establecer la velocidad de corte.
14. Determinar la profundidad.
15. Establecer una velocidad de avance.
16. Variar la velocidad de avance para las 6 primeras medidas (con lubricante y sin lubricante).
17. Establecer las diferentes revoluciones a emplear para variar la velocidad de corte.
18. Fijar una velocidad de avance.
19. Variar las revoluciones, para las 6 siguientes medidas.
20. Observar el comportamiento de los dos experimentos en el mismo eje.
21. extraer el eje del torno.
22. Esperar que se enfriara el eje cilíndrico.
23. Montar el eje en una superficie plana.
24. Buscar el rugosímetro.
25. Medir tres ángulos principales (0º, 120º y 260º) para determinar la rugosidad en cada división del eje.
26. Tomar una medida de rugosidad experimental en cada separación por cada ángulo con la variación de la velocidad de avance y aplicación de lubricante.

3.4. Datos experimentales

Tabla 2. Rugosidad experimental, velocidad de avance y temperaturas de operación.

Sin refrigerante						
N.°	**Vavance (mm/RPM)**	**Tc (°C)**	**Ra (m)**			**Prom.**
			0°	**120°**	**240°**	
1	0,06	74	14	6,59	2,69	7,76
2	0,10	83	1,24	1,43	1,74	1,47
3	0,15	92	9,33	1,55	6,37	5,75
4	0,19	113	7,42	1,51	1,60	3,51

Sin refrigerante						
N.°	**Vavance (mm/RPM)**	**Tc (°C)**	**Ra (m)**			**Prom.**
			0°	**120°**	**240°**	
5	0,28	116	7,55	1,84	1,81	3,73
6	0,34	101	6,28	6,92	2,82	5,34
Con refrigerante						
N.°	**Vavance (mm/RPM)**	**Tc (°C)**	**Ra (m)**			**Prom.**
			0°	**120°**	**240°**	
1	0,06	43	3,57	0,75	0,70	1,67
2	0,10	41	5,84	1,56	1,11	2,83
3	0,15	40	4,41	1,76	1,77	2,64
4	0,19	38	9,49	2,34	2,25	4,69
5	0,28	37	7,07	2,38	3,63	4,36
6	0,34	37	5,03	2,07	4,97	4,02

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Especificaciones del material.

Material
Acero AISI A-2

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

Tabla 4. Rugosidad teórica en función de la velocidad de avance, velocidad de corte, y profundidad del corte.

N.º	R_a teórica (m)
1	0,345835303
2	0,716222832
3	1,276478264
4	1,787836476
5	3,106975208
6	4,097433502

Fuente: elaboración propia.

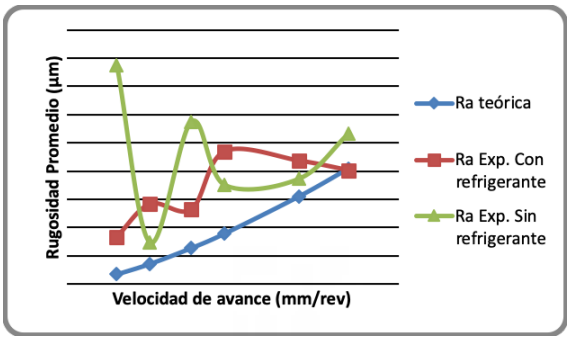


Figura 14. Variación de la rugosidad promedio en función de la velocidad de avance.
Fuente: elaboración propia.

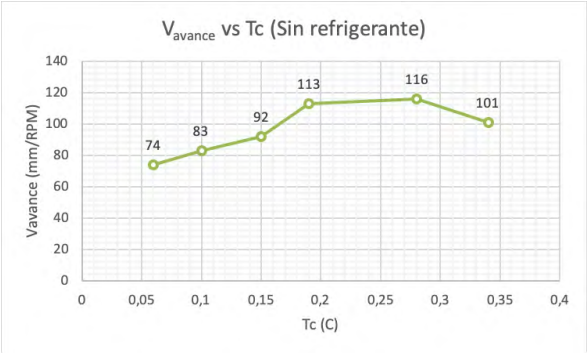


Figura 15. Variación de la temperatura de corte en función de la velocidad de avance (Sin refrigerante).
Fuente: elaboración propia.

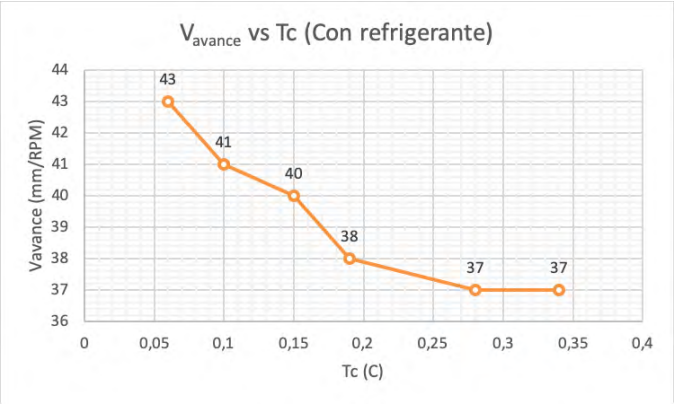


Figura 16. Variación de la temperatura de corte en función de la velocidad de avance (Con refrigerante).
Fuente: elaboración propia.

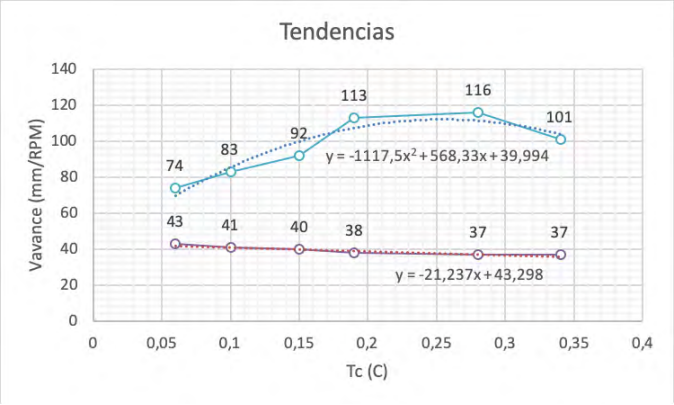


Figura 17. Tendencias (Con refrigerante y sin refrigerante).
Fuente: elaboración propia.

4.2. Análisis de resultados

En la Tabla 2, podemos observar los valores cuantificados en laboratorio de la velocidad de avance, la temperatura de operación y la rugosidad experimental para dos condiciones distintas, una con fluido lubricante y otra sin fluido lubricante. Se consideraron tres puntos específicos (0º, 120º y 240º) para la lectura de la rugosidad experimental, esto con la finalidad de obtener un promedio que permita establecer un parámetro de medición único de la rugosidad.

Haciendo un análisis del caso de la obtención de la rugosidad sin presencia de refrigerante (o fluido lubricante), podemos observar que la velocidad de avance, a medida que se incrementa, ocasiona un incremento en la temperatura de corte

(o temperatura de operación del proceso de cilindrado). Esto es indicativo de que la fuerza de fricción es mayor debido a que no existe presencia de una película lubricante entre la superficie a maquinar y la herramienta de corte.

Debido a la dispersión de las lecturas de rugosidad experimental sin presencia de refrigerante, se puede inferir que la velocidad de avance no influye en la rugosidad superficial. No existe tendencia de incremento o decremento de la rugosidad experimental a medida que aumentamos la velocidad de avance, por lo que podemos intuir que la herramienta de corte influye considerablemente en la rugosidad de la superficie a cilindrar.

Para el caso de la obtención de la rugosidad experimental en presencia de refrigerante (fluido lubricante), se observa que la temperatura de corte (o temperatura de operación del proceso de cilindrado) disminuye en función del avance. Este comportamiento es producto de la disminución de las fuerzas de fricción debido a la presencia de una película de lubricante entre la superficie a maquinar y la herramienta de corte.

Se puede observar también que los patrones de rugosidad experimental son dispersos, sin embargo, parecieran describir una tendencia de incremento, por lo que se analizaron los puntos donde se tomaron las lecturas (0º, 120º y 240º) contrastando la dispersión en la data. Se puede notar también que los datos de rugosidad son más bajos que el caso anterior, y esto se debe a la presencia del refrigerante, debido a que genera un corte más suave debido a las bajas fuerzas de fricción presentes durante el proceso de cilindrado de la probeta en estudio.

De la Tabla 4, se observa que la rugosidad teórica se incrementa a medida que la velocidad de avance aumenta, lo cual podemos contrastar en la Figura 14. De esta tendencia, se puede intuir que la ecuación para determinar la rugosidad teórica incluye un parámetro de profundidad de corte, lo que, de alguna manera, introduce dentro de las variables que rigen el comportamiento de la ecuación, la influencia de la herramienta de corte durante el proceso de cilindrado.

En la Figura 15 se observa el comportamiento de la temperatura de corte en función de la velocidad de avance sin presencia de refrigerante (o fluido de corte). La curva describe una tendencia polinomial, tal como se observa en la Figura 17. Una línea de tendencia polinómica es una línea curva que se utiliza cuando varía de datos. Es útil para analizar las pérdidas y ganancias de un conjunto de datos de gran tamaño. El orden del polinomio se puede determinar por la cantidad de fluctuaciones en los datos o por la cantidad de ajustes (máximos y mínimos) que aparecen en la curva.

En la Figura 16 se observa el comportamiento de la temperatura de corte en función de la velocidad de avance con presencia de refrigerante (o fluido de corte). La curva describe una tendencia lineal, tal como se observa en la Figura 17. Una línea de tendencia lineal es una línea recta de ajuste perfecto que se utiliza con conjuntos de datos lineales simples. Los datos son lineales si la trama en los puntos de datos se asemeja a una línea. Una línea de tendencia lineal frecuentemente muestra que hay algo que aumenta o disminuye a un ritmo constante.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

El torneado es una operación destinada fundamentalmente a la generación de formas cilíndricas con herramientas de un único punto de corte, con una herramienta dotada de un avance lineal y una pieza rotativa.

Los factores determinantes en procesos de maquinado se centran en la velocidad de corte, el avance de la herramienta, la profundidad de corte y el espesor medio de la viruta.

La velocidad de avance es directamente proporcional a la temperatura de corte sin presencia de refrigerante. Esto es un indicativo del incremento de la fricción durante el proceso de cilindrado.

La velocidad de avance es indirectamente proporcional a la temperatura de corte con presencia de refrigerante. Esto es un indicativo de la reducción de la fricción por aplicación del refrigerante durante el proceso de cilindrado.

La lubricación influye en el acabado superficial considerablemente, debido a que, si mantenemos una pieza lubricada durante el proceso de cilindrado, el avance, sería más suave porque hay menos resistencia a la fricción, y, por lo tanto, seria menos rugosa la superficie.

La velocidad de avance es un parámetro de corte que tiene relevancia cuando la pieza no está lubricada. Los incrementos proporcionales de temperatura reflejan la fricción entre la herramienta de corte y la probeta a cilindrar, siendo esto causante de la degeneración del material.

La efectividad de una película de aceite en la lubricación de dos piezas en movimiento será nula si su espesor es menor que la profundidad de la rugosidad, ya que eso significa que habrá contacto de metal con metal, pudiendo influir no solamente en su altura como también en su forma.

La herramienta de corte juega un papel fundamental en la determinación de la rugosidad superficial debido a que es la responsable de ejecutar el corte en la probeta. La profundidad de corte determina las condiciones de acabado final de la pieza luego del proceso de cilindrado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez, A.J. (2003). *Determinación de los parámetros óptimos de mecanizado de aleaciones de aluminio en operaciones de fr*esado. Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Valencia, Venezuela: Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.

Cordoba Charles, S.J. (2005). *Influencia de las variables de mecanizado en el torneado de piezas automotrices (discos de frenos). Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico.* Valencia, Venezuela: Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.

Gerling, H. (2006). *Alrededor de las máquinas – herramienta (3ª ed.).* Barcelona, España: Editorial Reverte.

Kalpakjian, S., y Schmid, S. (2002). *Manufactura – Ingeniería y Tecnología (4ª ed.).* Naucalpan de Juárez, México: Editorial Prentice Hall.

Peinado, N.P. (2006). *Tecnología de los metales y procesos de manufactura.* Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.

Zamorano Rocco, S.I. (2013). *Línea de producción de procesamiento de aceros.* Chile: Facultad de ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Naval.

ANEXOS

7.1. Apéndice A: Especificación acero AISI A-2

AISI A2

Air Hardening Tool Steel

AISI A2 is an air-hardening tool steel containing 5 pct chromium. It replaces O1 when safer hardening, better dimensional stability, and increased wear-resistance are required. Use for dies, punches, and similar forming and blanking tools as recommended for Type O1, but where less distortion in heat-treatment or better wear-resistance is required.

Machinability - If properly annealed to Brinell 212 max, A2 has a machinability of 65, as compared with a 1-pct carbon tool steel, rated at 100.

Dimensional Stability - When air-quenchedfrom the proper hardening temperature, this grade generally expands 0.001 in./in. of cross-section.

Typical Analysis

Carbon 1.00	Molybdenum 1.10
Vanadium 0.25	Chromium 5.25
Silicon 0.60	Manganese 0.60

Annealing

A2 should always be annealed after forging. To prevent decarburization use a controlled-atmosphere furnace or pack in a sealed container using some inert material. To anneal for lowest hardness, heat slowly to 1650°F and hold at this temperature for about two hours per inch of greatest cross-section. Cool at a rate of 20 degrees per hour to 1150°F and reheat to 1350°F; hold three hours per inch of greatest cross-section; furnace cool at 20 degrees per hour to 1100°F; then furnace-cool to 900°F and air-cool. A hardness of Brinell 212 max will result from this treatment.

Hardening

To prevent decarburization, pack in some inert material; or the treatment can be carried out in a salt bath or controlled-atmosphere furnace. Preheat to 1200°F and hold at this temperature until thoroughly soaked. Heat to 1750 to 1800°F and hold for one hour per inch of greatest cross-section. Remove from the furnace and cool in air. Although A2 is primarily an air-hardening grade, flash oil-quenching is occasionally used on large sections; but tools must be removed from the oil when they reach 1000°F, and air-cooled to 1500°F. Temper immediately to minimize the possibility of cracking.

Figura 18. Especificaciones técnicas acero AISI A-2.
Fuente: elaboración propia.

The fracture grain size and Rockwell C hardness of specimens 1in. square X 4 in. long, quenched in air and quenched in oil, after holding 1 hour at temperatures ranging from 1600 to 1900°F are:

	Still-Air Cooled				Oil-Quenched	
Quenching	Fracture	Rockwell	|	Quenching	Fracture	Rockwell
temp - °F	grain size	C	|	temp - °F	grain size	C
1600	7	48	|	1600	9-3/4	54
1650	9-1/2	54	|	1650	9-3/4	55
1700	9-3/4	59.5	|	1700	9-3/4	62
1750	9-3/4	64	|	1750	9-3/4	65
1775	10	64	|	1800	9-3/4	64
1800	10	64	|	1850	9-1/2	63.5
1850	9-1/2	63	|	1900	9-3/4	62
1900	9-1/4	62	|			

Tempering

After the pieces have cooled in the quench to about 150°F they should be tempered immediately. For most applications A2 should be tempered at 350 to 400°F. A minimum holding time of two hours per inch of greatest cross-section should be used.

The Rockwell C hardness obtained on specimens 1 in. square when quenched in air from 1775°F, and quenched in oil from 1750°F, and tempered at various temperatures, are as follows:

Rockwell C		
Tempering	1775°F	1750°F
temperature - °F	Air-quench	Oil-quench
None	64	65
300	62	62.5
400	60	61
500	56	57.5
600	56	56
700	56	56
800	56	56
900	56	56
1000	56	55
1100	50	50
1200	43	45
1300	34	34

These results on 1-in. diameter specimens may be used as a guide in tempering tools to desired hardness. However, tools of heavy section or mass may be several points lower in Rockwell hardness for a given treatment.

Figura 19. Especificaciones técnicas acero AISI A-2.
Fuente: elaboración propia.

Ingeniería y Tecnología

3ciencias