

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

VERIFICACIÓN Y COMPROBACIÓN DE OPERACIONES Y PARÁMETROS DE CORTE ENTRE EL TORNEADO CONVENCIONAL Y EL TORNEADO CNC

COMPONENTE: OPERACIÓN DE CILINDRADO

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

RAMSES RUBÉN BONILLA ESTÉVEZ

ramses.bonilla@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. CÉSAR AYABACA PhD.

cesar.ayabaca@epn.edu.ec

DMQ, agosto 2023

CERTIFICACIONES

Yo, RAMSES RUBÉN BONILLA ESTÉVEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

RAMSES RUBÉN BONILLA ESTÉVEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por RAMSES RUBÉN BONILLA ESTÉVEZ, bajo mi supervisión.

ING. CÉSAR RICARDO AYABACA SARRIA PhD.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

RAMSES BONILLA

ING. CÉSAR AYABACA PhD.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, Nancy y Rubén por su apoyo, ejemplo y por ser guías en mi camino. A mis hermanos, Anthony y Kenia por su cariño y comprensión. A la memoria de mis difuntos abuelitos Gerardo y Alfonso, que me vieron crecer. A mis abuelitas Luzmila y Magolita por ser sostén de la familia. Y a mi compañera de vida Sam, por su amor, paciencia y por verme renacer como una nueva persona.

Ramses Bonilla

AGRADECIMIENTO

A mi madre Nancy y a mi padre Rubén, por ser mis guías durante toda mi vida, por enseñarme valores, obligaciones y responsabilidades. Por ser pacientes y comprensivos. Y por siempre velar por mí sin importar la situación.

A mi familia materna y paterna, principalmente a mis abuelitas Magolita y Luzmila por ser pilar fundamental de la familia. A mi hermano Tonny por las tardes y noches de fútbol, y por siempre apoyarme en cualquier locura. A mi hermana Kenia que, a pesar de ser la más chiquita, me enseñó a amar y proteger a la familia por sobre todas las cosas.

Al Ing. César Ayabaca, por permitirme trabajar con él, por confiar en mí y por sacar adelante este trabajo.

Al Ing. Javier Valverde por sus directrices y consejos para lograr concluir este trabajo.

A los ingenieros Wilson Guachamín, Miguel Ortega y Oscar Sotomayor, a los cuales yo considero que son los mejores profesores de la Facultad con los que tuve el placer de compartir aulas, y que, a pesar de no ser parte de este trabajo, fueron parte fundamental de mi amor hacia Mecánica y la profesión que me enorgullezco de haber elegido.

A todo el equipo del Laboratorio de Máquinas-Herramientas, Luchito, Diego, Pato y Mario por permitirme trabajar en sus instalaciones, y a los que puedo considerar mis amigos.

Al personal administrativo de la Facultad, Señora Lucy, Mildred, Geovanna, Jaqueline y Denisse por su eficaz apoyo en la entrega de proyectos y documentos.

A mis amigos que se convirtieron en mi familia, Zach, Jaya, Andre, Daniel, Mandi, Mishell, Isra, Jota, Emmet, Elías, los ñaños Vega y el resto del Royal, por ser tan unidos y por hacerme parte de algo tan bonito. Por las risas, por mi última gira, porque logramos ser campeón de campeones y por tantas tardes de pláticas que siempre liberaban el estrés que la U generaba.

Y finalmente, a mi compañera de vida Sam, por ser la persona más hermosa, amorosa y comprensiva. Por brindarme seguridad y confianza. Y por permitirme caminar a su lado compartiendo tantas nuevas experiencias, momentos de felicidad y alegría que solo con ella logré conseguir.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Proceso de torneado	3
1.4.2 Teoría de formación de virutas	8
1.4.3 Calidad superficial.....	10
2 METODOLOGÍA.....	14
2.1 Procedimiento de la experimentación.....	14
2.2 Selección de material y herramienta de corte.....	14
2.2.1 Material de estudio	14
2.2.2 Herramienta de corte.....	15
2.3 Selección de máquina-herramienta.....	15
2.3.1 Especificaciones técnicas del torno TORRENT T 72-42.....	15
2.3.2 Especificaciones técnicas del torno ROMI C 420.....	16
2.4 Diseño de experimentos.....	16
2.4.1 Selección del criterio de experimentación	17
2.5 Pruebas iniciales y determinación de parámetros de mecanizado	18
2.5.1 Velocidad de husillo.....	19
2.5.2 Velocidad de avance	19
2.5.3 Profundidad de corte	20
2.6 Preparación previa de probetas	22
2.6.1 Corte, pre refrentado de probetas y centros para el contrapunto	22

2.6.2	Codificación, delimitación de longitud de cilindrado y diámetro inicial	23
2.7	Experimentación de cilindrado	25
2.7.1	Cilindrado en torno convencional	25
2.7.2	Cilindrado en torno CNC.....	26
2.8	Medición de amperaje máximo y tiempo de mecanizado	27
2.8.1	Medición de amperaje máximo	27
2.8.2	Determinación del tiempo de mecanizado	28
2.9	Medición de redondez y conicidad	28
2.9.1	Medición de redondez.....	28
2.9.2	Medición de conicidad.....	29
2.10	Medición de diámetro y rugosidad	30
2.10.1	Medición de diámetro final.....	30
2.10.2	Medición de rugosidad	31
3	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
3.1	Pruebas	32
3.2	Resultados.....	32
3.2.1	Experimentación de cilindrado convencional.....	32
3.2.2	Experimentación de cilindrado CNC	43
3.2.3	Comparación entre resultados del torneado convencional y el CNC	52
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
4.1	Conclusiones	61
4.2	Recomendaciones	63
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ANEXOS.....	66
	ANEXO I: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CONVENCIONAL	66
	ANEXO II: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CNC ...	71
	ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1: Operación de torneado que muestra a_p , f_n y N	3
Fig. 1.2: Designación de herramienta de corte derecho.....	3
Fig. 1.3: Condiciones de corte	6
Fig. 1.4: Vida útil de la herramienta de corte en función de los parámetros de corte.....	7
Fig. 1.5: Esquema de la operación de cilindrado.....	7
Fig. 1.6: Modelo de corte ortogonal reducido a su vista lateral.....	8
Fig. 1.7: Formación de virutas.....	10
Fig. 1.8: Esquema de análisis de la rugosidad media aritmética	10
Fig. 1.9: Grados de rugosidad según R_a	11
Fig. 1.10: Calibrador Mitutoyo	12
Fig. 1.11: Reloj comparador Mitutoyo con certificación de calibración EPN.....	12
Fig. 1.12: Control de cilindrada.....	13
Fig. 1.13: Control de circularidad	13
Fig. 2.1: Flujograma de procesos para la experimentación (Cilindrado y medición)	14
Fig. 2.2: Propiedades mecánicas y composición química del acero AISI 1018	15
Fig. 2.3: Especificaciones técnicas del inserto CNMG 12 04 08-PM 4325.....	15
Fig. 2.4: Especificaciones técnicas del torno TORRENT T 72-42	16
Fig. 2.5: Especificaciones técnicas torno ROMI C 420	16
Fig. 2.6: Esquematación del experimento	18
Fig. 2.7: Combinaciones de tratamientos en un diseño 3^3	18
Fig. 2.8: Corte de 60 probetas a 100 [mm]	22
Fig. 2.9: Probetas pre refrentadas y con agujero guía de contrapunto	23
Fig. 2.10: Codificación colocada en las probetas a maquinar.....	24
Fig. 2.11: Probetas marcadas a 70 [mm] para el proceso de cilindrado.....	25
Fig. 2.12: Medición del diámetro inicial de las probetas.....	25
Fig. 2.13: Determinación de parámetros de corte	26
Fig. 2.14: Código G para control manual (línea por línea) del cilindrado.....	26
Fig. 2.15: Medición del amperaje de la probeta V3F1A2-M.....	27
Fig. 2.16: Medición del tiempo de mecanizado de la probeta V3F1A2-M	28
Fig. 2.17: Esquema de marcas realizadas para medición de redondez	29
Fig. 2.18: Proceso de medición de redondez	29
Fig. 2.19: Esquema de marcas para la medición de conicidad.....	30
Fig. 2.20: Proceso de medición de conicidad	30
Fig. 2.21: Ejemplo de medición de diámetro final en la probeta V1F2A1-M.....	31
Fig. 2.22: Medición de rugosidad de la superficie cilindrada.....	31
Fig. 3.1: Tiempo de maquinado vs Velocidad de avance en cilindrado convencional	34
Fig. 3.2: Error de diámetro final indistinto de los parámetros de corte.....	35
Fig. 3.3: Error de diámetro final respecto a la profundidad de corte	35
Fig. 3.4: Rugosidad vs Velocidad de husillo (Sin considerar f_n y a_p)	36
Fig. 3.5: Rugosidad vs Velocidad de avance (Sin considerar V_c y a_p).....	37
Fig. 3.6: Rugosidad vs Profundidad de corte (Sin considerar V_c y f_n).....	37
Fig. 3.7: Rugosidad vs Velocidad de husillo y Profundidad de corte para $f_n=0,15$ mm/r ...	38
Fig. 3.8: Probeta con el mejor acabado superficial (V3F3A2-M).....	39
Fig. 3.9: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=0,5mm)	39
Fig. 3.10: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=1mm)	40
Fig. 3.11: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=1,5mm)	40
Fig. 3.12: Probeta con las mejores condiciones de conicidad (V3F1A2-M)	41
Fig. 3.13: Redondez vs Velocidad de avance y Profundidad de corte ($N=950$ RPM).....	41

Fig. 3.14: Redondez vs Velocidad de avance y Profundidad de corte (N=1200 RPM).....	42
Fig. 3.15: Redondez vs Velocidad de avance y Profundidad de corte (N=500 RPM).....	42
Fig. 3.16: Probeta con las mejores condiciones de redondez (V2F3A3-M).....	43
Fig. 3.17: Tiempo de maquinado vs Velocidad de avance en cilindrado CNC.....	45
Fig. 3.18: Error de diámetro final indistinto de los parámetros de corte.....	46
Fig. 3.19: Rugosidad vs Velocidad avance y de husillo ($a_p=0,5$ mm).....	47
Fig. 3.20: Rugosidad vs Velocidad avance y de husillo ($a_p=1$ mm).....	47
Fig. 3.21: Rugosidad vs Profundidad de corte (Sin considerar V_c y f_n).....	47
Fig. 3.22: Probeta con el mejor acabado superficial (V1F3A1-C).....	48
Fig. 3.23: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=0,5mm).....	49
Fig. 3.24: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=1mm).....	49
Fig. 3.25: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=1,5mm).....	49
Fig. 3.26: Probeta con las mejores condiciones de conicidad (V2F3A1-C).....	50
Fig. 3.27: Redondez vs Velocidad de avance y de husillo ($a_p=0,5$ mm).....	51
Fig. 3.28: Redondez vs Velocidad de avance y de husillo ($a_p=1$ mm).....	51
Fig. 3.29: Redondez vs Velocidad de avance y de husillo ($a_p=1,5$ mm).....	51
Fig. 3.30: Probeta con las mejores condiciones de redondez (V1F2A2-C).....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Selección del criterio de experimentación según el diseño factorial 3k.....	17
Tabla 2.2: Velocidades de husillo seleccionadas para la experimentación	19
Tabla 2.3: Velocidades de avance seleccionadas para la experimentación.....	20
Tabla 2.4: Profundidades de corte seleccionadas para la experimentación.....	21
Tabla 2.5: Parámetros y niveles cuantitativos seleccionados para la experimentación....	21
Tabla 2.6: Codificación realizada a las probetas	23
Tabla 3.1: Resultados obtenidos en la experimentación de cilindrado convencional	33
Tabla 3.2: Resultados obtenidos en la experimentación de cilindrado CNC.....	44
Tabla 3.3: Comparación de amperaje entre el torneado convencional y CNC.....	52
Tabla 3.4: Rangos de tiempo según la f_n en el torneado convencional y CNC	53
Tabla 3.5: Parámetros para lograr la mejor calidad superficial en ambos tornos.....	54
Tabla 3.6: Rugosidades máximas y mínimas del torno convencional y CNC.....	55
Tabla 3.7: Parámetros para obtener la mejor conicidad en ambos tornos	55
Tabla 3.8: Conicidades máximas y mínimas del torno convencional y CNC.....	56
Tabla 3.9: Parámetros para obtener la mejor redondez en ambos tornos	57
Tabla 3.10: Redondez máxima y mínima del torno convencional y CNC.....	57
Tabla 3.11: Selección de la mejor probeta en el torno convencional.....	58
Tabla 3.12: Resultados experimentales de la mejor probeta del torno convencional	59
Tabla 3.13: Selección de la mejor probeta en el torno CNC	60
Tabla 3.14: Resultados experimentales de la mejor probeta del torno CNC.....	60

RESUMEN

En este trabajo de integración curricular se cilindraron 54 probetas (27 en el torno convencional TORRENT 72-42 y 27 en el torno CNC ROMI C420) con diferentes combinaciones de parámetros de corte (velocidad de husillo, velocidad de avance y profundidad de pasada) para así poder evaluar los criterios de amperaje, tiempo de maquinado, error entre el diámetro final y esperado, rugosidad, conicidad y redondez.

Para la realización de este trabajo se utilizó el acero de transmisión AISI 1018 como material de trabajo y el inserto CNMG 12 04 08 – PM 4325 como herramienta de trabajo, además de equipos de medición principales, tales como, la pinza amperimétrica con la cual se evaluó el amperaje utilizado por la máquina, calibrador para determinar diámetros iniciales y finales (error de diámetro), rugosímetro para determinar la rugosidad y el reloj comparador para determinar la redondez y conicidad de la pieza.

Con los datos obtenidos de la experimentación se realizó una generalización de parámetros a imponer en la máquina (sea convencional o CNC) para obtener las mejores condiciones de acabado superficial y tolerancias geométricas, y finalmente se compararon los resultados entre los dos tipos de torneado con lo cual se pudo validar las condiciones en las que se encuentra el torno convencional y si aún es óptimo para mecanizar piezas según las exigencias de cualquier cliente.

PALABRAS CLAVE: Profundidad de corte, Velocidad de husillo, Velocidad de avance, Mecanizado convencional, Mecanizado CNC, Rugosidad, Conicidad, Redondez, Tiempo de maquinado.

ABSTRACT

In this work, 54 specimens were cylindered (27 on the manual turnstile TORRENT 42-72 and 27 on the CNC turnstile ROMI C420) with different combinations of cut parameters (spindle speed, feed rate, and depth of pass) in order to evaluate some criteria like amperage, machining time, error between final and expected diameter, roughness, taper and roundness.

In order for realizing this work, transmission steel AISI 1018 was used as job material, and CNMG 12 04 08 – PM 4325 insert was used as job tool. In addition to some measure equipment like clamp meter used to evaluate the amperage of the machine, caliper to determine initial and final diameters (diameter error), roughness meter for the roughness and dial indicator for determining roundness and taper of the specimen.

Once the data of the experimentation was obtained, a generalization of parameters to put in the machine (manual or CNC) to obtain the best condition of surface finish and geometric tolerance was realized. Finally, the results of the manual and CNC turnstile were compared with the objective to validate the actual conditions of the manual turnstile and determine if this is still optimum to mechanize specimens according to the requirements of any client.

KEYWORDS: Depth of pass, spindle speed, feed rate, manual machining, CNC machining, roughness, taper, roundness, machining time.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Dentro de la verificación de parámetros de corte en el torneado convencional y el CNC, se deben diferenciar también las operaciones que se va a realizar a la pieza. Así pues, en este caso, el primer componente a desarrollarse se corresponde con la operación de cilindrado de los ejes de acero bajo los mismos parámetros de corte tanto en el torno manual como en el CNC.

En este trabajo de integración curricular se desea comparar los criterios de calidad superficial, tales como rugosidad, redondez, conicidad y medidas finales de ejes de acero maquinados en tornos tanto convencional como CNC. Para poder identificar estos parámetros se decidió dividir al trabajo en dos componentes, uno en el cual se pueda hacer la comparación de dichos parámetros para la operación de *cilindrado* y otro para la comparación de parámetros en la operación de *refrentado*.

En el componente relativo a la operación de cilindrado se debe velar por la comparación de 6 criterios principales, los cuales son: Rugosidad superficial, Conicidad, Redondez, Medidas finales de la pieza, Tiempo de maquinado y Amperaje.

Para poder evaluar esos 6 criterios de comparación se deberán variar los parámetros de corte tales como la Velocidad de corte (V_c), Profundidad de corte (a_p) y finalmente el Avance (f_n), manteniendo constante la herramienta de trabajo (inserto) y la lubricación de la máquina, para realizar una comparación más significativa.

Para que el desarrollo de este trabajo arroje resultados más precisos, se determinarán 3 valores (Uno alto, uno bajo y un promedio) de cada parámetro de corte (V_c , a_p y f_n), y se realizarán combinaciones de dichos valores para ver cuál de las 27 opciones resultantes (experimentaciones finales) es la más adecuada para trabajar y en las cuales los criterios de comparación son los ideales entre el cilindrado convencional y el cilindrado CNC.

Estos parámetros serán basados en el criterio de experimentación 3k que, en resumen, escoge 3 parámetros (por ejemplo, baja V_c , baja a_p , baja f_n) y los coloca como la primera experimentación. Luego escoge otra combinación de 3 parámetros (por ejemplo, baja V_c , baja a_p , alta f_n) y los ubica como la segunda experimentación. Y así sucesivamente hasta obtener las 27 experimentaciones a realizarse. Una vez obtenidas todas las combinaciones posibles, se realizará la comparación de los criterios superficiales de la operación de cilindrado, las cuales son rugosidad, conicidad y redondez, así como también las medidas finales obtenidas (error de diámetro), el tiempo de maquinado y el amperaje. Con todos

estos valores se determinarán los más adecuados para trabajar, además de ver que tan diferentes son entre el cilindrado realizado por torno convencional y por torno CNC.

1.1 Objetivo general

Verificar y comparar los criterios de calidad superficial del cilindrado de un eje de acero de transmisión AISI 1018 variando los parámetros de corte del torneado convencional y CNC.

1.2 Objetivos específicos

1. Cilindrar múltiples probetas de acero AISI 1018 utilizando y variando los diferentes parámetros de corte, tales como, la velocidad de corte, avance y profundidad.
2. Determinar los criterios y parámetros bajo los cuales se evalúa la rugosidad, conicidad y redondez de una pieza después de haber sido cilindrada.
3. Comparar los tiempos de maquinado, medidas finales, rugosidad, conicidad, redondez y amperaje de todas las experimentaciones para determinar la opción más viable de fabricación y en la que se acercan más los resultados convencionales y los obtenidos de CNC.

1.3 Alcance

En el presente proyecto se mecanizarán varias probetas de acero AISI 1018 de 1 pulgada de diámetro, estableciendo los mismos parámetros de corte para cada experimentación, posteriormente se irán variando esos parámetros para realizar más experimentaciones y así obtener una amplia gama de datos, los cuales serán tratados estadísticamente y representados en gráficas comparativas con el objetivo principal de establecer si los tornos convencionales disponibles en el laboratorio de Máquinas-Herramientas de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional todavía son capaces de fabricar piezas y probetas dentro de rangos aceptables acorde a los estándares requeridos.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Proceso de torneado

El torneado es un proceso de mecanizado mediante el cual se pueden fabricar piezas de geometría redonda. Este proceso se caracteriza porque la pieza es la que rota a medida que la herramienta va realizando la remoción de material. Como su nombre lo indica, el proceso de torneado se lo realiza en una máquina-herramienta llamada *torno*, de donde generalmente se pueden obtener piezas rectas, cónicas, curvadas o ranuradas y entre otras. (Kalpakjian & Schmid, 2008)

Dentro del torneado se pueden realizar operaciones específicas, para lo cual se deberán utilizar diferentes tipos de herramientas y configurar los parámetros de corte, lo cual se puede observar en las figuras 1.1 y 1.2:

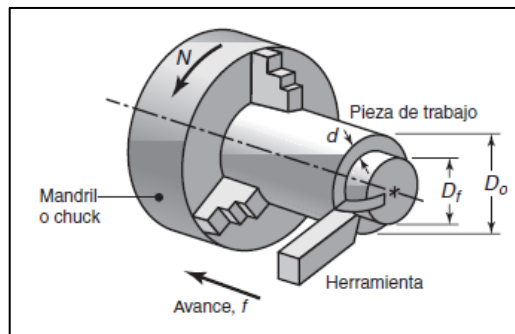


Fig. 1.1: Operación de torneado que muestra la profundidad de corte (d), el avance (f) y la velocidad rotacional del husillo (N). Fuente: Kalpakjian y Schmid, 2008

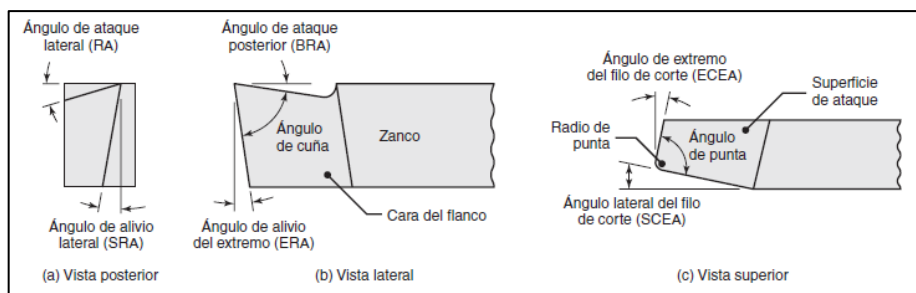


Fig. 1.2: Designación de herramienta de corte derecho (Avance de herramienta de derecha a izquierda). Fuente: Kalpakjian y Schmid, 2008

1.4.1.1 **Condiciones de corte del proceso de torneado**

1.4.1.1.1 **Velocidad de corte (V_c) y velocidad de husillo (n)**

La velocidad de corte y la velocidad de rotación de la pieza describen una misma condición de corte dentro del proceso de torneado, con la única diferencia de que, la velocidad de corte es de carácter lineal, mientras que la velocidad del husillo es rotacional o angular.

La velocidad lineal está medida respecto a la periferia de la pieza que está en contacto con la herramienta. Se expresa en [m/min] y se selecciona antes de iniciar con el mecanizado ya que este parámetro determina características posteriores relacionadas con el acabado de la pieza. (López, 2022).

La velocidad de corte es el factor principal bajo el cual se determina la duración de la herramienta, debido a que, altas velocidades permiten mecanizados más rápidos, pero desgastes muy acelerados en la herramienta. Mientras que, a velocidades bajas existen evacuaciones de la viruta con efectos negativos, además de que amplía los tiempos de mecanizado, por lo cual tienden a elevarse los costos. (López, 2022).

Tanto la velocidad de corte como la velocidad de husillo se pueden encontrar a partir de la siguiente expresión:

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

Donde,

V_c : Velocidad de corte (lineal)

n : Velocidad de rotación de la pieza a maquinar (Velocidad de husillo)

D_c : Diámetro de la pieza

1.4.1.1.2 Velocidad de avance (fn)

La velocidad de avance es una velocidad relativa entre la herramienta y la pieza, o también puede ser vista como la velocidad con la que el corte progresa. Generalmente esta velocidad de avance viene delimitada por los fabricantes de las herramientas, los cuales presentan un rango ideal de uso al cual el operador debe adecuarse de modo que ni la pieza ni la herramienta sufran desgastes innecesarios o daños precoces. (López, 2022)

La velocidad de avance viene dada por la siguiente expresión:

$$f_n [\text{mm/vuelta}] = N [\text{rpm}] * F \left[\frac{\text{mm}}{\text{revolución}} \right] \quad (2)$$

La velocidad de avance determina principalmente la formación de viruta, ya que, a velocidades altas se tiene un buen control de viruta con menor tiempo de mecanizado y menor desgaste de la herramienta, mientras que a velocidades bajas se tiene una viruta

más larga a medida que mejora el acabado superficial de la pieza, pero a costo de un desgaste acelerado de la herramienta.

1.4.1.1.3 Profundidad de pasada (a_p)

La profundidad de pasada es la distancia radial entre la superficie mecanizada y un punto por el cual pasa la herramienta de corte. La medida de la profundidad de igual manera suele estar dada por el catálogo del fabricante y dependerá del tipo de material que se esté mecanizando, además de la potencia del torno con el cual se esté trabajando. (De Ingenierías, 2019)

La profundidad de corte también determinará factores como la cantidad de material removido, la forma de las virutas, el tiempo de mecanizado, entre otras. Por ejemplo, para operaciones de desbaste rápido se requieren de profundidades de pasada grandes, mientras que para operaciones de acabado se necesitan profundidades bajas. (De Ingenierías, 2019)

1.4.1.1.4 Tiempo de torneado

El tiempo de torneado viene dado por la siguiente expresión que depende de la longitud de la pasada y la velocidad de avance de la herramienta: (López, 2022)

$$T [min] = \frac{\text{Longitud de pasada [mm]}}{F [mm/minuto]} \quad (3)$$

1.4.1.1.5 Potencia de corte

La potencia neta de corte (P_c) es un parámetro importante de notar sobre todo en las operaciones de desbaste para conocer si el torno es capaz de llegar a la potencia suficiente requerida y se calcula bajo la siguiente expresión: (Sandvik Coromant, 2023)

$$P_c = \frac{V_c * a_p * f_n * k_c}{60 \times 10^3} [kW] \quad (4)$$

Donde:

V_c : Velocidad de corte (m/min)

a_p : Profundidad de corte (mm)

f_n : Velocidad de avance (mm/r)

k_c : Fuerza de corte específica (N/mm²)

P_c : Potencia neta (kW)

En resumen, las condiciones más importantes de corte se pueden visualizar gráficamente en la siguiente imagen:

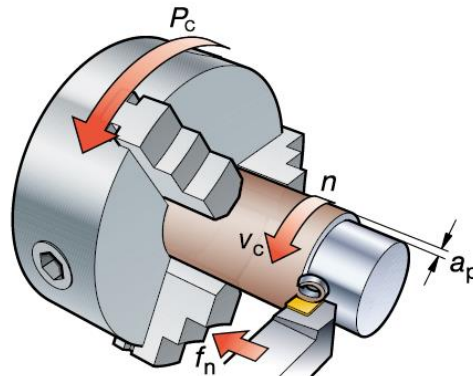


Fig. 1.3: Condiciones de corte. Fuente: (Sandvik Coromant, 2023)

1.4.1.2 Herramientas de corte

Para el mecanizado (cilindrado) en torno se utilizan herramientas de corte que poseen básicamente 3 partes: cuerpo, mango o vástago y cabezal (parte cortante).

Las herramientas de corte para el torneado deben tener indispensablemente las siguientes características: alta dureza, resistencia a altas temperaturas, alta resistencia al desgaste y buena ductilidad. Por lo cual se pueden encontrar varios materiales para las herramientas entre las cuales están: acero de bajo carbono (bajas velocidades), acero rápido (Aleados con cromo, vanadio, tungsteno), carburo cementado (útil para maquinar metales abrasivos), entre otras. (De Máquinas y Herramientas, 2014)

En la actualidad, las herramientas de corte ya no son una sola pieza, sino que ahora se dividen en inserto y porta herramienta. Siendo el inserto, la parte cortante (intercambiable) y la porta herramienta, el cuerpo o vástago donde se asienta el inserto.

1.4.1.2.1 Insertos

Los insertos o plaquitas, son pequeñas piezas con filos para poder maquinar un material. Dependiendo de la aplicación, operación de corte, parámetros de corte y ángulo de corte se debe escoger el inserto.

La empresa Sandvik Coromant (fabricante de insertos y portaherramientas), recomienda maximizar la profundidad de pasada y la velocidad de avance mientras se disminuye la velocidad de corte para así poder aumentar la vida útil del inserto.

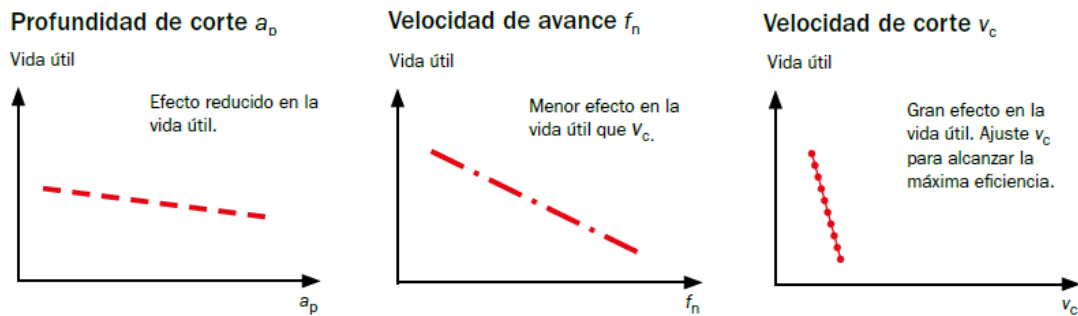


Fig. 1.4: Vida útil de la herramienta de corte en función de los parámetros de corte. Fuente: (Sandvik Coromant, 2023)

1.4.1.2.2 Portaherramientas

El portaherramientas es el cuerpo o vástago donde se coloca el inserto. Es el implemento que se ajusta al carro del torno y generalmente no se mueve de ahí, puesto que en caso de que la herramienta se rompa, lo único que se debe hacer es cambiar el inserto, más no el portaherramientas, a menos que se requiera realizar otra operación de torneado que involucre un ángulo diferente.

El portaherramientas debe ser seleccionado según la plaquita (inserto) que se haya seleccionado y según la aplicación de torneado. Sandvik Coromant posee tres clasificaciones generales para la elección de la herramienta: Torneado con plaquitas rómbicas, Torneado con plaquitas Wiper, Coromant.

1.4.1.3 Operación de cilindrado

En esta operación, la pieza de trabajo se sujeta con las muelas del torno y en caso de ser necesario (pieza muy larga) se coloca un contrapunto del otro lado de la pieza, de tal forma que la pieza no fleje. En toda esta configuración, se aplica la velocidad de rotación del husillo en [rpm] que viene delimitada por las condiciones del torno. Por otro lado, la herramienta de corte se sujeta con el portaherramientas el cual se acciona gracias al tornillo de avance y mediante un recorrido longitudinal a lo largo de la bancada se consigue la remoción de material disminuyendo el diámetro de la pieza. (Kalpakjian & Schmid, 2008)

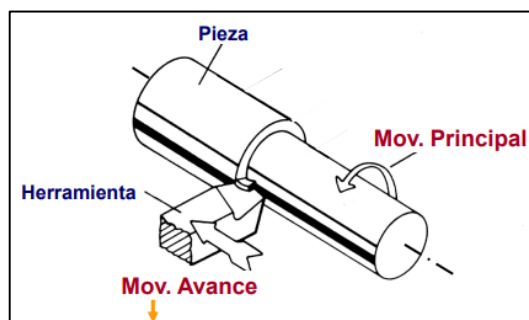


Fig. 1.5: Esquema de la operación de cilindrado. Fuente: (Herriko, 2019)

1.4.1.4 Mecanizado convencional

En el mecanizado convencional o manual, el operador del torno es el principal responsable de la geometría final de la pieza, ya que, gracias a la experiencia y habilidad que maneje se obtendrán mejores o peores resultados. El manejo manual de las herramientas es clave para este tipo de mecanizado.

1.4.1.5 Mecanizado CNC

Por otro lado, en el mecanizado CNC, el operador únicamente se encarga de configurar el cero pieza, cero máquina y cargar el código G a la máquina para que ésta última proceda a fabricar la pieza de manera automática sin la ayuda del operador. Al ser un proceso automatizado se esperan mejores resultados porque así se eliminaría el error humano, además de que se abaratan costos para producciones en serie y se realizan piezas de alta complejidad geométrica en cortos tiempos.

1.4.2 Teoría de formación de virutas

Durante el proceso de mecanizado, la herramienta y el material están en constante interacción, y, dependiendo de las condiciones de corte, las fuerzas aplicadas serán distintas, por lo cual, los tipos de viruta que se obtengan también serán diferentes.

En la teoría de formación de virutas, se trata de entender y predecir cómo será la formación y generación de virutas. Por lo general, se suele tomar como referencia al modelo de corte ortogonal, donde la herramienta tiene forma de cuña y el borde cortante es perpendicular a la velocidad de corte. (Groover, 2007)

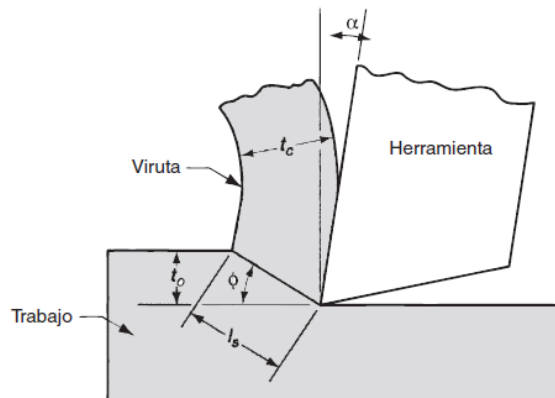


Fig. 1.6: Modelo de corte ortogonal reducido a su vista lateral. Fuente: (Groover, 2007)

Según este modelo de corte planteado y las condiciones de corte, se pueden obtener varios tipos de viruta como se presenta a continuación:

1.4.2.1 Tipos de virutas

- **Viruta discontinua:**

Generalmente se presenta en el maquinado de materiales frágiles y a bajas velocidades de corte. Esto hace que la viruta se forme en segmentos separados impartiendo cierta textura irregular a la superficie que fue maquinada. La alta fricción y grandes profundidades también provocan este tipo de viruta. (Groover, 2007)

- **Viruta continua:**

Se presenta en el maquinado de materiales dúctiles con altas velocidades de avance y profundidades pequeñas. Las virutas continuas son largas y regulares dejando un buen acabado superficial en la pieza maquinada. Si el proceso de maquinado se realiza de forma homogénea, es muy probable que la viruta, al ser tan larga, se enrede en el mandril o en la misma pieza, por lo que igual se debe tener ciertas precauciones, como separadores de viruta. (Groover, 2007)

- **Viruta continua con acumulación en el borde:**

Generalmente presente en el maquinado de materiales dúctiles con bajas o medias velocidades de corte. Estas condiciones ocasionan adhesión de porciones de material en la cara inclinada de la herramienta. Esta acumulación en el borde se denota con las siglas BUE.

La formación de BUE es cíclica y suele crecer hasta volverse inestable para posteriormente romperse, por lo que se puede considerar como una viruta continua, pero por tramos. (Groover, 2007)

- **Viruta dentada (Corte localizado):**

Estas virutas son de tipo semicontinuo, debido a que su apariencia es de diente de sierra ocasionado por alta resistencia alternativa a la corte seguida de baja resistencia al corte, realizado de forma cíclica. Este tipo de viruta suele ser asociado con materiales con dificultad para maquinar como aleaciones de titanio, níquel o aceros inoxidables austeníticos. Pero también se lo observa en el maquinado de acero cuando las velocidades de corte y avance son muy altas. (Groover, 2007)

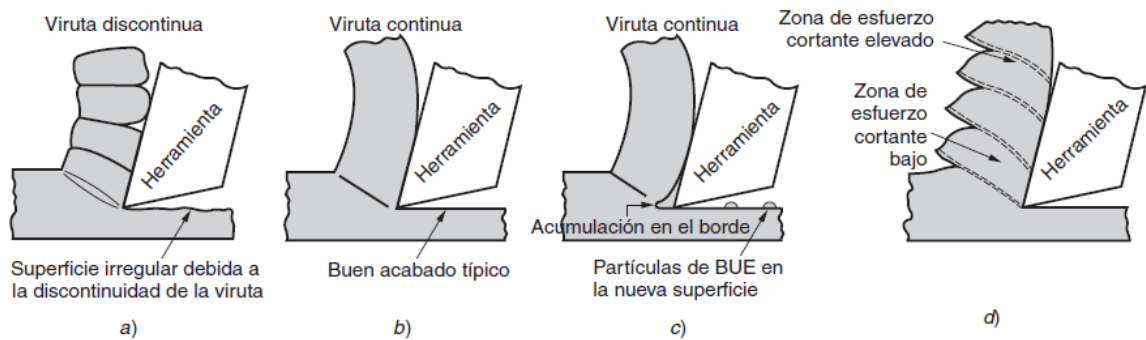


Fig. 1.7: Formación de virutas: a) discontinua, b) continua, c) continua con acumulación en el borde y d) dentada. Fuente: (Groover, 2007)

1.4.3 Calidad superficial

1.4.3.1 *Rugosidad*

La rugosidad es un parámetro muy importante al momento de determinar la calidad superficial de una pieza, ya que de este criterio depende que se cumplan tolerancias y estándares establecidos para ciertas piezas.

La rugosidad es el conjunto de desviaciones irregulares a pequeña escala esparcidas estrechamente a lo largo de la superficie maquinada. Generalmente, la rugosidad suele ser expresada comúnmente en términos de la rugosidad media aritmética, la cual se define de la siguiente manera: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

$$R_a = \frac{a + b + c + d + \dots}{n} \quad (5)$$

Donde, las ordenadas (a,b,c,...) son valores absolutos y "n" es la cantidad de lecturas.

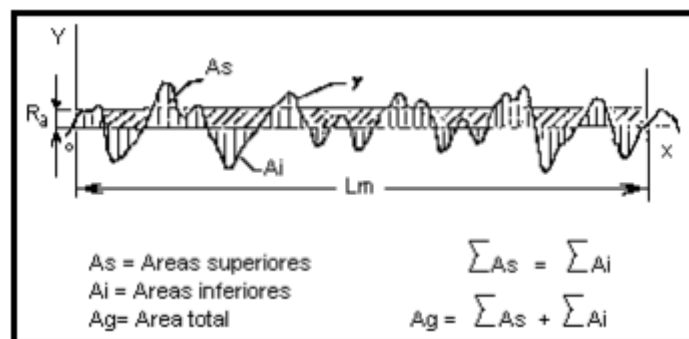


Fig. 1.8: Esquema de análisis de la rugosidad media aritmética. Fuente: (Grupo Tecnología Mecánica, 2023)

Según estos valores de rugosidad (Ra), y según la norma DIN 4769 se pueden especificar y controlar las rugosidades según grados de rugosidad como se muestra a continuación: (Grupo Tecnología Mecánica, 2023).

Ra [µm]	Nº de Grado de Rugosidad
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

Fig. 1.9: Grados de rugosidad según Ra. Fuente: (Grupo Tecnología Mecánica, 2023)

1.4.3.2 Análisis dimensional

El análisis dimensional es parte importante de las experimentaciones, debido a que permite comparar los datos medidos al final de un maquinado respecto de los datos que se esperaba obtener en el mismo, y así poder analizar el error que estos poseen.

El instrumento de medida que se utilizará para definir las medidas finales de las probetas a mecanizar es el calibrador, el cual se presenta a continuación:

1.4.3.2.1 Calibrador

El calibrador, o también conocido como pie de rey o vernier, es un instrumento de medida de longitud, diámetro y profundidad de cualquier pieza pequeña. Generalmente se utiliza el calibrador para obtener medidas de manera más precisa.

Este instrumento consiste en una regleta fija con medidas principales (cm o pulgadas) y una mandíbula móvil con una escala de medidas más pequeña. Las medidas se toman cuando se alinean las divisiones de la escala pequeña con la escala grande para así determinar el valor exacto. La posición relativa de las divisiones permite dimensionar al objeto. (Keyence, 2023)

Para el componente de cilindrado de este trabajo de integración curricular, se utilizará el calibrador para determinar los diámetros iniciales (previo al maquinado) de cada una de las probetas y para medir finalmente el diámetro post maquinado para luego comparar con los valores esperados y determinar el posible error que se encuentre debido al torno utilizado.



Fig. 1.10: Calibrador Mitutoyo. Fuente: Propia

1.4.3.3 Tolerancias geométricas

1.4.3.3.1 Reloj comparador

El reloj comparador es un instrumento que mide diferencialmente longitudes y formas (por comparación). La punta de palpación amplifica los movimientos mecánicos y lo transmite a una aguja donde se pueden visualizar los resultados. Este instrumento es utilizado para verificar la condición de las piezas y dependiendo de la posición en la que se lo coloque puede arrojar resultados de redondez, conicidad, planicidad, paralelismo, etc. (Mecafenix, 2023)



Fig. 1.11: Reloj comparador Mitutoyo con certificación de calibración EPN. Fuente: Propia

1.4.3.3.2 Cilindricidad (Conicidad)

La condición de cilindricidad se aplica a superficies en revolución circulares, donde todos los puntos de la superficie son equidistantes al eje común. Para controlar este parámetro, se deben disponer de 2 cilindros coaxiales perfectos, separados entre sí, la magnitud de la tolerancia que se desee aceptar. Un objeto cilíndrico será aquel que se encuentre dentro de este rango. (Krulikowski, 2000)

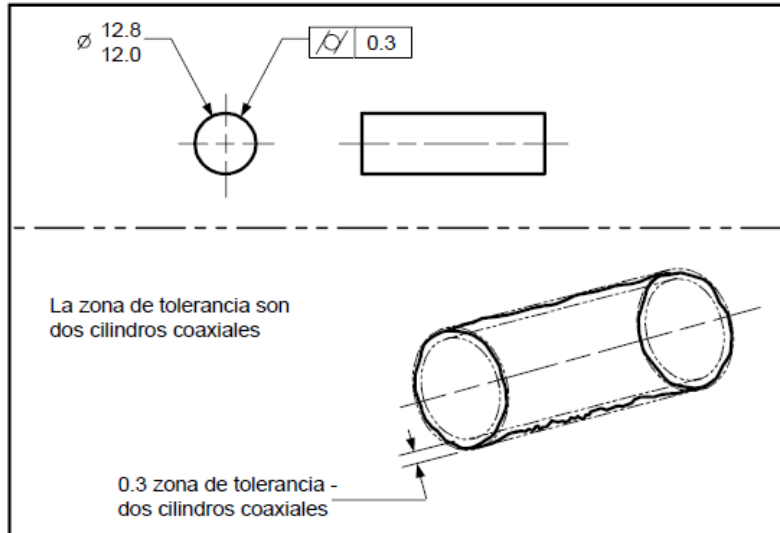


Fig. 1.12: Control de cilindridad. Fuente: (Krulikowski, 2000)

1.4.3.3.3 Redondez o circularidad

La condición de circularidad o redondez se presenta cuando todos los puntos de un círculo tienen la misma distancia al eje común (centro), en cualquier sección perpendicular a la misma. (Krulikowski, 2000)

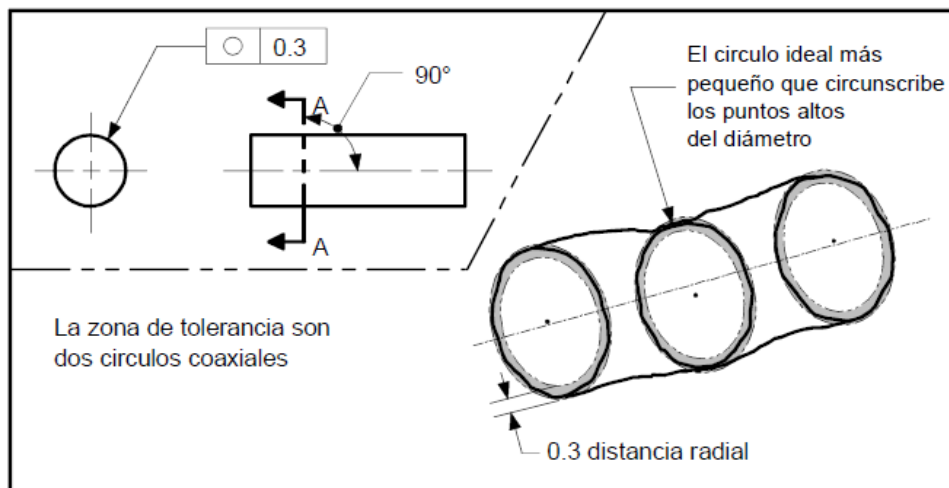


Fig. 1.13: Control de circularidad. Fuente: (Krulikowski, 2000)

2 METODOLOGÍA

2.1 Procedimiento de la experimentación

Para llevar a cabo este trabajo de integración curricular, se ha desarrollado el siguiente flujograma con los pasos a seguir para obtener las probetas y sus respectivos resultados:

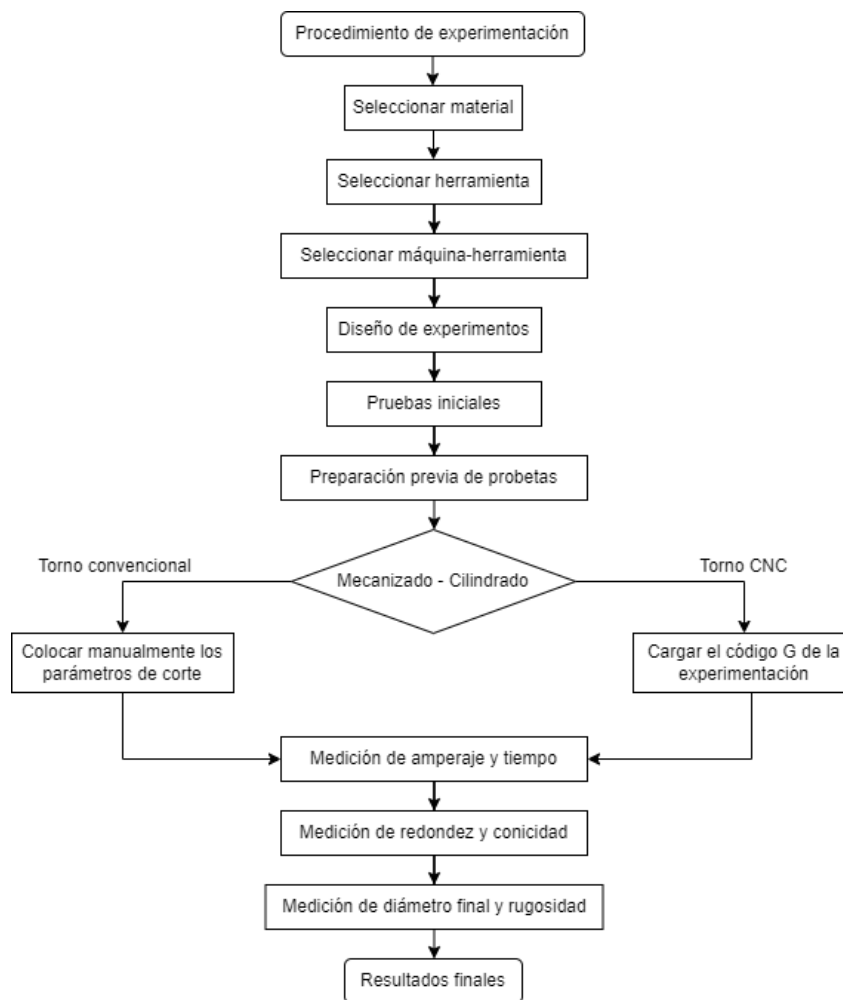


Fig. 2.1: Flujograma de procesos para la experimentación (Cilindrado y medición).
Fuente: Propia

2.2 Selección de material y herramienta de corte

2.2.1 Material de estudio

El material seleccionado para realizar este trabajo de integración curricular es el Acero AISI 1018 (Eje de transmisión) con un diámetro de una pulgada (1"). Este acero es el más común en la industria para la fabricación de piezas pequeñas exigidas al desgaste y un bajo costo, lo cual lo hace ideal para realizar este tipo de experimentaciones. Sus propiedades mecánicas y composición química se muestran a continuación:

COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0,20	0 - 0,25	0 - 0,70	0 - 0,04	0 - 05

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

DIMENSIONES
DIÁMETRO
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
3-1/2"
4"
4-1/2"
5"
6"

Fig. 2.2: Propiedades mecánicas y composición química del acero AISI 1018. Fuente: (DIPAC MANTA, 2023)

2.2.2 Herramienta de corte

La herramienta seleccionada es el inserto CNMG 12 04 08 - PM 4325 de la marca SANDVICK la cual posee un recubrimiento CVD TiCN+Al₂O₃+TiN y cuyas características técnicas más relevantes se presentan a continuación:

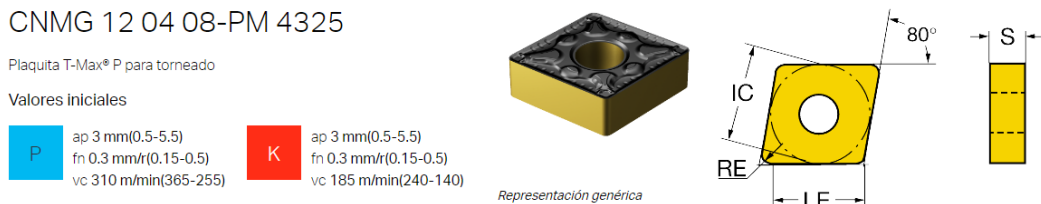


Fig. 2.3: Especificaciones técnicas del inserto CNMG 12 04 08-PM 4325. Fuente: (SANDVICK Coromant, 2023)

2.3 Selección de máquina-herramienta

Para este trabajo de integración curricular, se desea comparar las calidades superficiales de las probetas experimentadas tanto en el torno convencional como en el torno CNC disponibles en el laboratorio. Así pues, se ha seleccionado el torno convencional TORRENT T 72-42, y el torno CNC ROMI C 420

2.3.1 Especificaciones técnicas del torno TORRENT T 72-42

El laboratorio de máquinas-herramientas de la EPN dispone de 3 tornos TORRENT T 72-42, los cuales tienen las siguientes especificaciones técnicas más importantes:

Torno universal TORRENT

Torno Universal

Modelo **T- 72-42**

Distancia entre puntos 1500 mm

Ø sobre bancada 400 mm

Anchura bancada 300 mm

Ø sobre carro 220 mm

Ø de la caña 42 mm

Ø sobre escote 600 mm

Longitud del escote 160 mm

12 Velocidades de 35 a 2300 rpm

Potencia motor principal 5,5 CV

Dimensiones de la máquina 2800x900x1500 mm.

Peso 1500Kg

~~Equipado con~~

- Plato Ø 400 de 4 garras independientes
- Torreta cambio rápido
- 2 lunetas
- Utiles varios según foto

Fig. 2.4: Especificaciones técnicas del torno TORRENT T 72-42. Fuente: (CECAMASA, 2023)

2.3.2 Especificaciones técnicas del torno ROMI C 420

El torno ROMI C 420 es uno de los 3 tornos CNC que también están disponibles en el laboratorio de máquinas-herramientas de la EPN y sus especificaciones técnicas más importantes son las siguientes:

Especificaciones Técnicas		Romi C 420	
Capacidad			
Altura de puntas	mm	215	
Distancia entre puntas	m	0,5 / 1,0	
Diámetro admisible sobre la bancada	mm	430	
Diámetro admisible sobre el carro transversal	mm	200	
Diámetro admisible sobre las alas de la mesa	mm	400	
Recorrido transversal del carro (eje X)	mm	220	
Recorrido longitudinal del carro (eje Z)	mm	565 / 1.065	
Bancada			
Anchura	mm	305	
Altura	mm	350	
Cabezal			
Nariz del husillo	ASA	A2-5"	A2-6"
Diámetro del agujero del husillo	mm	53	65
Rango de velocidades	rpm	4 a 4.000	3 a 3.000
Avances			
Avance rápido longitudinal (eje Z)	m/min	10	
Avance rápido transversal (eje X)	m/min	10	

Fig. 2.5: Especificaciones técnicas torno ROMI C 420. Fuente: (ROMI, 2023)

2.4 Diseño de experimentos

En este trabajo de integración curricular, se desean comparar los acabados superficiales, medidas dimensionales y tolerancias geométricas de probetas cilindradas por medio de torneado tanto convencional como CNC mientras se varían los parámetros de corte como profundidad, avance y velocidad de husillo.

Según el objeto de estudio, esta experimentación se basará en determinar la influencia de varios factores (3) sobre la variable de respuesta (probeta cilindrada), por lo cual el método de análisis más adecuado es el diseño factorial 3^k , donde el cambio de cada factor determinará una respuesta diferente del experimento, logrando así interpretar y comparar cada uno de los resultados según los niveles de la experimentación. (González, 2008)

2.4.1 Selección del criterio de experimentación

En el diseño factorial 3^k intervienen 3 niveles de experimentación, los cuales fueron escogidos por criterio propio, siendo estos: Nivel bajo o gentil, Nivel medio o moderado y Nivel alto o agresivo. De igual manera, en el diseño factorial 3^k intervienen por otro lado los 3 factores o variables independientes que pueden ser modificadas por el experimentador, que en este caso están dadas por los parámetros de corte. De donde se obtiene la siguiente tabla resumen:

Tabla 2.1: Resumen de factores y niveles para la selección del criterio de experimentación según el diseño de experimentos factorial 3^k . Fuente: Propia

Factores (Parámetros de corte)	Niveles de experimentación
Velocidad de avance (f_n)	Bajo o gentil
Velocidad de husillo (V_c)	Medio o moderado
Profundidad de corte (a_p)	Alto o agresivo

Una vez obtenidos los factores y niveles de la experimentación, se debe determinar los criterios bajo los cuales será ensayada la probeta resultante. Así pues, se evaluarán los siguientes criterios:

- Rugosidad
- Tiempo de maquinado
- Dimensiones finales (Diámetro de la probeta)
- Redondez
- Conicidad
- Amperaje máximo utilizado por el torno durante la operación

Con todos estos factores, niveles y criterios se puede esquematizar la realización del experimento de la siguiente manera:

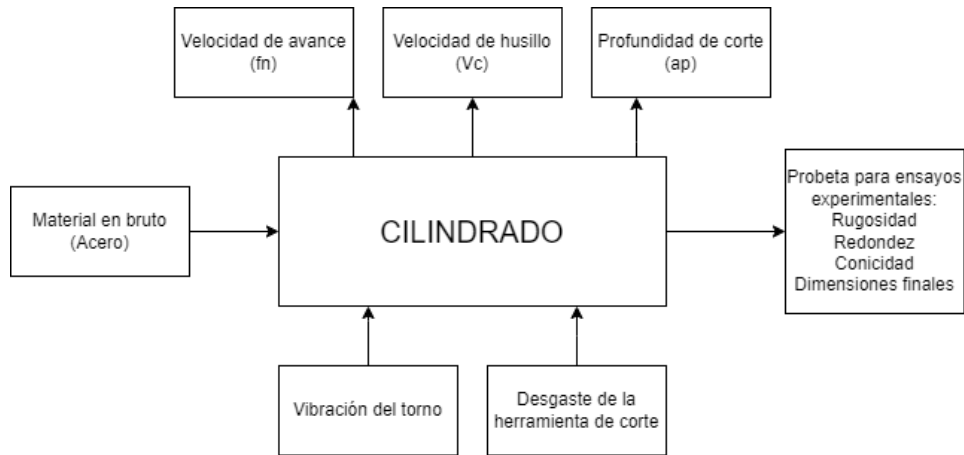


Fig. 2.6: Esquemática del experimento. Fuente: Propia

2.4.1.1 Determinación cuantitativa de experimentos

El diseño de experimentaciones factorial 3^k es un arreglo factorial de “k” factores que tienen 3 niveles cada uno. (Montgomery, 2004). Para este caso y según la tabla 1, $k = 3$, por lo cual, este diseño de experimentos sería un modelo del tipo 3^3 , es decir, 27 experimentaciones que se pueden ver de la siguiente forma:

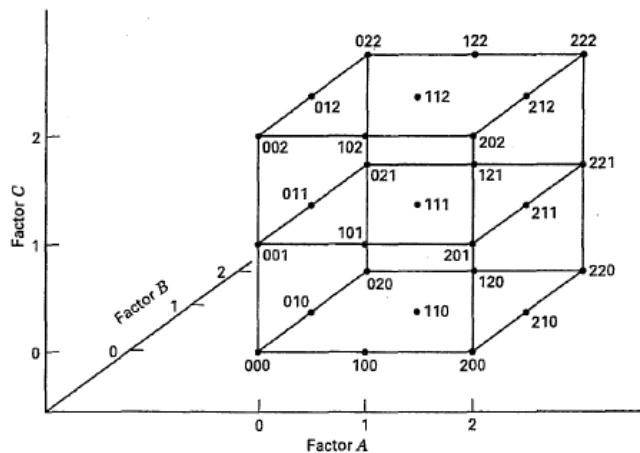


Fig. 2.7: Combinaciones de tratamientos en un diseño 3^3 . Fuente: (Montgomery, 2004)

Cabe destacar que en este trabajo de integración curricular se realizará la comparación de probetas entre el torneado convencional y el CNC, por lo cual, las 27 experimentaciones corresponden a cada uno de estos tornos. Es decir, en total, se deberán realizar 54 probetas, 27 de las cuales serán fabricadas en el torno convencional y 27 en el torno CNC.

2.5 Pruebas iniciales y determinación de parámetros de mecanizado

Como se puede apreciar en la figura 2.3, para mecanizar acero (P) con el inserto CNMG 12 04 08-PM 4325 se dispone de ciertos rangos de trabajo para los 3 parámetros de corte (V_c , f_n y a_p), los cuales van a ser analizados a continuación:

2.5.1 Velocidad de husillo

En teoría y según lo que dispone el fabricante, se debería trabajar con los siguientes valores de velocidad de husillo (Velocidad lineal):

- Velocidad alta = 365 m/min
- Velocidad media = 310 m/min
- Velocidad baja = 255 m/min

Para poder analizar estos valores en términos de RPM, los cuales son los que se puede programar tanto en el torno convencional como en el CNC, se utiliza la ecuación (1) obtenida en el numeral 1.4.1.1.1 de este mismo trabajo, teniendo en cuenta que el material de trabajo es de una pulgada (25,4 mm), de la siguiente manera:

$$Velocidad\ alta\ [RPM] = \frac{V_c * 1000}{\pi * \emptyset} = \frac{365 \frac{m}{min} * 1000}{\pi * 25,4\ mm}$$

$$Velocidad\ alta = 4574,14\ [RPM]$$

Como se puede observar, la velocidad de trabajo alta es demasiada elevada para el torno convencional que se va a utilizar, por lo cual se debería tomar la máxima velocidad disponible en el torno TORRENT, ajustándose este valor a 2300 RPM. Sin embargo, se realizaron pruebas iniciales para analizar el comportamiento del torno y se pudo ver que este valor sigue siendo muy elevado y a la vez peligroso de trabajar, por lo cual, se decidió tomar como velocidad máxima, 1500 RPM. Obteniéndose los siguientes parámetros para la velocidad de husillo:

Tabla 2.2: Velocidades de husillo seleccionadas para la experimentación. Fuente: Propia

VELOCIDAD DE HUSILLO [RPM]	
Velocidad alta	1500 RPM
Velocidad moderada	1200 RPM
Velocidad baja	950 RPM

2.5.2 Velocidad de avance

Para la velocidad de avance, el fabricante recomienda trabajar con los siguientes valores:

- Velocidad alta = 0,5 mm/r

- Velocidad media = 0,3 mm/r
- Velocidad baja = 0,15 mm/r

Una vez realizadas las pruebas iniciales, se pudo ver que no hay ningún inconveniente o peligro con la velocidad de avance, por lo cual se pueden utilizar esas velocidades sin ningún problema.

Ahora bien, el torno TORRENT dispone de la velocidad de 0,15 mm/r y la de 0,3 mm/r en su rango de velocidades estándar. Sin embargo, la velocidad de 0,5 mm/r no existe dentro de este rango, por lo cual se tomó el más cercano y se ajustó la velocidad de avance máxima a 0,48 mm/r, obteniéndose la siguiente tabla final:

Tabla 2.3: Velocidades de avance seleccionadas para la experimentación. Fuente: Propia

VELOCIDAD DE AVANCE [mm/r]	
Velocidad alta	0,48 mm/r
Velocidad moderada	0,3 mm/r
Velocidad baja	0,15 mm/r

2.5.3 Profundidad de corte

Para la profundidad de corte, el fabricante recomienda trabajar con los siguientes valores:

- Profundidad máxima = 5,5 mm
- Profundidad media = 3 mm
- Profundidad mínima = 0,5 mm

En las pruebas iniciales se pudo ver que la profundidad máxima es muy agresiva y tiende a desgastar muy rápido la herramienta de corte, además de ser igualmente peligroso para el operador. Por lo cual, se determinó que la profundidad máxima podía ser de 1,5 mm (radial). Por otro lado, la profundidad mínima no tenía ningún tipo de peligro por lo cual se puede utilizar sin problema el valor recomendado de 0,5mm (radial)

El promedio entre el valor máximo y mínimo de profundidad puede ser utilizado como la profundidad moderada sin ningún tipo de inconveniente, y como el torno TORRENT dispone de una precisión de décimas de milímetro, no es necesario ajustar ninguno de estos valores, obteniéndose así la siguiente tabla final:

Tabla 2.4: Profundidades de corte seleccionadas para la experimentación. Fuente: Propia

PROFUNDIDAD DE CORTE [mm]	
Profundidad alta	1,5 mm
Profundidad moderada	1 mm
Profundidad baja	0,5 mm

Una vez definidos los valores de los niveles de experimentación de cada uno de los factores, se presenta la siguiente tabla con las 27 experimentaciones a ser realizadas tanto en el torno convencional como en el torno CNC:

Tabla 2.5: Parámetros y niveles cuantitativos seleccionados para realizar la experimentación. Fuente: Propia

Número de experimentación	Velocidad de husillo [RPM]	Velocidad de avance [mm/r]	Profundidad de corte [mm]
1	1500	0,48	1,5
2	1200	0,48	1,5
3	950	0,48	1,5
4	1500	0,3	1,5
5	1500	0,15	1,5
6	1200	0,3	1,5
7	950	0,3	1,5
8	1200	0,15	1,5
9	950	0,15	1,5
10	1500	0,48	1
11	1200	0,48	1
12	950	0,48	1
13	1500	0,3	1
14	1500	0,15	1
15	1200	0,3	1
16	950	0,3	1
17	1200	0,15	1
18	950	0,15	1
19	1500	0,48	0,5
20	1200	0,48	0,5
21	950	0,48	0,5
22	1500	0,3	0,5
23	1500	0,15	0,5
24	1200	0,3	0,5
25	950	0,3	0,5
26	1200	0,15	0,5
27	950	0,15	0,5

Código de colores de la tabla 5	
	Condición alta (agresiva)
	Condición media (moderada)
	Condición baja (gentil)

2.6 Preparación previa de probetas

2.6.1 Corte, pre refrentado de probetas y centros para el contrapunto

Para la realización de este trabajo de integración curricular se adquirieron 6 metros de eje de transmisión AISI 1018 de 1 pulgada de diámetro.

En primera instancia se cortaron estos 6 metros de material en 60 pedazos de 10 cm de largo aproximadamente mediante el uso de la sierra automática disponible en el laboratorio, como se puede observar en la siguiente imagen:



Fig. 2.8: Corte de 60 probetas a 100 [mm]. Fuente: Propia

Posteriormente se refrentaron ambas caras de cada uno de los 60 pedazos para dejar listas las probetas previo a la experimentación de cilindrado como tal. Dichos procesos de refrentado eran únicamente para quitar imperfecciones ocasionadas por el corte de la sierra y, por lo tanto, no fueron realizados a una cierta longitud exacta, por lo cual las probetas quedaron de diferentes longitudes entre 94 y 98 mm de longitud. Este no es un factor que afecte directamente a la experimentación debido a que el cilindrado de la probeta no se realizará a lo largo de todo el material sino solo a 70 mm del mismo.

De igual manera, una vez obtenidas las 60 probetas con ambas caras refrentadas, se procedió a hacer un agujero guía en una de las caras para poder colocar el contrapunto al momento de realizar la experimentación de cilindrado, de tal forma que se pueda minimizar las vibraciones. Las probetas quedaron finalmente de la siguiente manera:



Fig. 2.9: Probetas pre refrentadas y con agujero guía de contrapunto listas para la experimentación. Fuente: Propia

2.6.2 Codificación, delimitación de longitud de cilindrado y diámetro inicial

2.6.2.1 *Codificación de probetas*

Como se tienen que realizar 54 probetas para este trabajo de integración curricular, es importante codificar las mismas de modo que no se confundan ni se repitan los experimentos. En el diseño de experimentaciones (Tabla 2.1) se puede ver que cada parámetro de corte tiene 3 niveles de experimentación, por lo cual se ha decidido realizar la siguiente codificación:

Tabla 2.6: Codificación realizada a las probetas. Fuente: Propia

Por parámetro de corte	
V	Velocidad de husillo
F	Velocidad de avance
A	Profundidad de corte

Por nivel de experimentación	
1	Bajo o gentil
2	Medio o moderado
3	Alto o agresivo

Por tipo de torno	
M	Torno convencional
C	Torno CNC

Las letras y números asignados a los parámetros de corte, niveles de experimentación y tipos de torno fueron colocadas de manera que no exista confusión y se pueda unir todo en un solo código.

Por ejemplo, la probeta cuyo código sea V1F2A3-M, se refiere a la probeta que trabaja con velocidad de husillo baja (950 RPM), velocidad de avance moderada (0,3 mm/r), profundidad de corte alta (1,5 mm) y que debe ser maquinada en el torno convencional.

De igual forma se aplica este mismo método de codificación para las 54 probetas y con la ayuda de un marcador para acero, se escribe cada uno de los códigos en el material previamente preparado. Algunas de las probetas codificadas se muestran a continuación:



Fig. 2.10: Codificación colocada en las probetas a maquinar. Fuente: Propia

2.6.2.2 Delimitación de la longitud de cilindrado

Para que la comparación posterior a la experimentación sea lo más adecuada posible, se deberán marcar las probetas a una misma longitud de cilindrado, de modo que todos los experimentos sean iguales. Así pues, se disponían de probetas con longitudes entre 94 y 99 mm. Por recomendación del técnico de laboratorio, un agarre adecuado que debe tener la probeta en el mandril del torno es de 1 pulgada, es decir 25,4 mm, de modo que se minimicen las vibraciones y el riesgo en general. Por lo cual se recurrió a marcar todas las probetas a una longitud de 70 mm (medidas desde el contrapunto), de modo que el cilindrado en todas las experimentaciones sea de la misma longitud. Las probetas listas para el mecanizado quedaron de la siguiente manera:

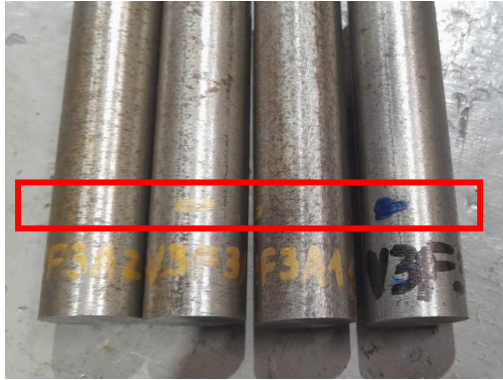


Fig. 2.11: Probetas marcadas a 70 [mm] para el proceso de cilindrado. Fuente: Propia

2.6.2.3 Medición de diámetro inicial

Antes de llevar las probetas a mecanizar se debe medir el diámetro inicial de la pieza para poder predecir el diámetro esperado de la misma y comparar con los diámetros reales que salgan después de haber realizado la experimentación.

Para este proceso, se utiliza el calibrador y se mide en varias partes de la probeta el diámetro con el que el material va a ser mecanizado para colocarlo en la tabla de resultados.



Fig. 2.12: Medición del diámetro inicial de las probetas. Fuente: Propia

2.7 Experimentación de cilindrado

Una vez que las probetas ya se encuentran listas para el mecanizado, se las coloca en el torno correspondiente, ya sea este, convencional o CNC.

2.7.1 Cilindrado en torno convencional

Para el cilindrado en el torno convencional, se coloca la probeta en el mandril, se ajusta con el contrapunto y se colocan los parámetros de velocidad de husillo, de avance y profundidad de corte según lo que dicte el código de la probeta seleccionada. Para esto, se utilizan las palancas del torno TORRENT como se muestra a continuación:

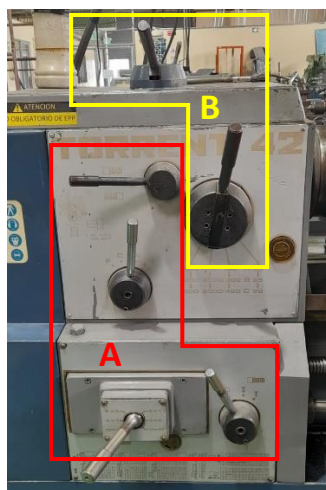


Fig. 2.13: Determinación de parámetros de corte. A: Configuración de velocidad de avance. B: Configuración de velocidad de husillo. Fuente: Propia

Una vez definidos los parámetros, se hace rozar la punta del inserto con la probeta, se coloca la profundidad de corte seleccionada y se mecaniza la probeta en una sola pasada de la máquina hasta llegar a la longitud de cilindrado definida previamente (70 mm). Cabe destacar que este proceso se debe realizar con lubricación (taladrina). Finalmente se retira manualmente la herramienta de corte y se apaga el torno, dejando todavía la probeta colocada en el mandril para poder realizar las primeras mediciones, lo cual se verá más adelante en el apartado 2.9.

2.7.2 Cilindrado en torno CNC

Para el cilindrado en el torno CNC, se coloca la probeta de igual forma que para el torno convencional, con la única diferencia de que, en vez de definir los parámetros de corte de forma manual, se deberá cargar el siguiente código G:

```
N10 WORKPIECE(,,,"CYLINDER",0,0,-120,-74,25.4)
N20 G291; PROGRAMA TIC CILINDRADO
N30 G21 G40 G90 G95
N40 G54 G00 X125
N50 Z2
N60 T0101; CNMG 12 04 08 PM 4325
N70 G97 M3 S950;VARIAR VALOR DE S
N80 G00 Z1
N90 X27
N100 M08
N110 G00 X23.95;VARIAR ACORDE A AP
N120;PRENDER AMPERIMETRO
N130;LONGITUD EN Z SIEMPRE -70
N140 G01 Z-70 F0.15;VARIAR VALOR DE F
N150 G00 X27
N160 Z2
N170 M09
N180 G54 G00 X125
N190 Z10
N200 M30
```

Fig. 2.14: Código G para control manual (línea por línea) del cilindrado. Fuente: Propia

En este caso, y gracias al código G, no es necesario retirar la herramienta de corte después de haber cilindrado la probeta, ya que eso se realiza de forma automática. Y de igual forma, para poder realizar las primeras mediciones (apartado 2.9) se deberá dejar colocada la probeta en el mandril del torno.

2.8 Medición de amperaje máximo y tiempo de mecanizado

La medición tanto del amperaje máximo como del tiempo de mecanizado se realizan en simultáneo, mientras la probeta se está mecanizando.

2.8.1 Medición de amperaje máximo

Para poder obtener el amperaje máximo se coloca la pinza amperimétrica en el cable de corriente del torno, ya sea convencional o CNC. Este aparato medirá la intensidad de corriente eléctrica que experimenta el torno mientras está cilindrando la pieza.

Generalmente, como la probeta se maquina con velocidades constantes tanto de avance como de husillo, la intensidad de corriente también se mantendrá relativamente constante, excepto al inicio del maquinado, puesto que ahí experimenta más torque el torno, haciendo que utilice más potencia, por lo tanto, más amperaje.

El experimentador tiene que estar observando constantemente la pinza amperimétrica para poder identificar el valor de amperaje máximo y colocarlo en la tabla de resultados.

A continuación, se presenta un ejemplo de la recolección de datos del amperaje máximo en la probeta V3F1A2-M:



Fig. 2.15: Medición del amperaje de la probeta V3F1A2-M. Fuente: Propia

2.8.2 Determinación del tiempo de mecanizado

El tiempo de mecanizado, al igual que la medición del amperaje máximo, se realiza al mismo tiempo en el que la probeta está siendo mecanizada.

La determinación de este criterio es muy simple. Se utiliza un cronómetro de celular, dándole inicio cuando la herramienta justo empieza a desbastar la probeta y finalizando cuando la herramienta ha terminado de mecanizar la misma.

Este criterio viene cargado con mucha incertidumbre, debido a que el experimentador no siempre pulsará el botón de inicio y fin exactamente al mismo tiempo.

Un ejemplo de la determinación del tiempo de mecanizado de la probeta V3F1A2-M se presenta a continuación:

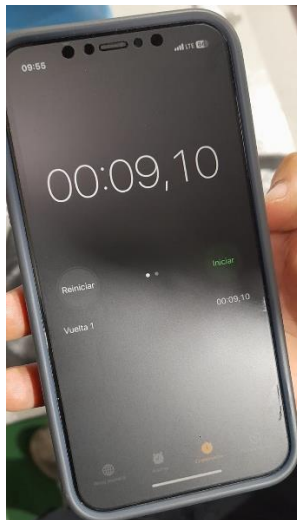


Fig. 2.16: Medición del tiempo de mecanizado de la probeta V3F1A2-M. Fuente: Propia

2.9 Medición de redondez y conicidad

La medición de redondez y conicidad se realizan con el reloj comparador y con el torno apagado, pero con la probeta todavía colocada en el mandril, de modo que no pierda el centro y se comporte de igual forma a como fue cilindrado.

2.9.1 Medición de redondez

Para el criterio de redondez se realizan 3 marcas a lo largo de la longitud cilindrada (70 mm), de la siguiente manera:

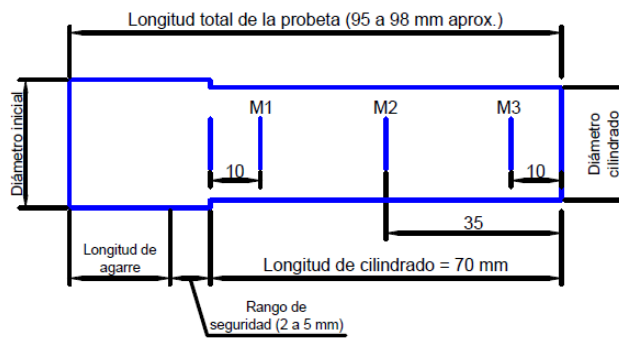


Fig. 2.17: Esquema de marcas realizadas para medición de redondez. Fuente: Propia

Cabe destacar que estas marcas se realizarán a las mismas distancias para las 54 probetas de modo que todas estén medidas bajo los mismo parámetros y criterios y hacer una comparación más exacta.

Una vez realizadas las marcas, se coloca el reloj comparador en una superficie plana sobre el carro transversal del torno y se lo imanta para mantenerlo fijo. Se ajusta el reloj comparador de modo que la aguja del mismo toque la superficie de la probeta justo en las marcas realizadas (una por una), y se hace girar el mandril del torno muy lentamente para ir observando como varía la aguja del reloj. Se toma la variación del mismo y se pasa a otra marca a realizar los mismos pasos.



Fig. 2.18: Proceso de medición de redondez. Fuente: Propia

2.9.2 Medición de conicidad

Para el criterio de conicidad se realizan 4 marcas en la cara lateral de la probeta, cada una de estas a 90 grados de separación de la siguiente manera:

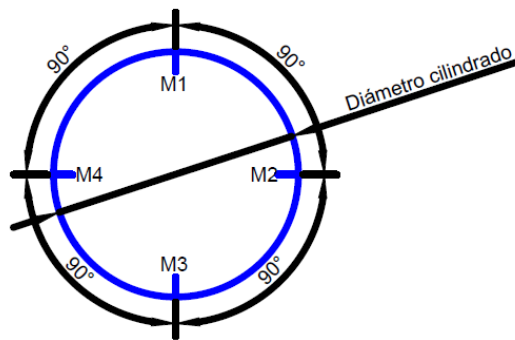


Fig. 2.19: Esquema de marcas para la medición de conicidad. Fuente: Propia

Al igual que en la medición de redondez, se coloca el reloj comparador en el carro transversal, se imanta y se ajusta de modo que la aguja toque la superficie de la probeta justo en una de las marcas realizadas, pero esta vez, en lugar de hacer girar el mandril del trono, se hará recorrer el carro longitudinal lentamente por toda la longitud cilindrada, esto hará que la aguja del reloj se mueva y tenga cierta variación la cual va a ser la medida por tomar. Este proceso se repite para las otras 3 marcas realizadas y se almacenan los datos.



Fig. 2.20: Proceso de medición de conicidad. Fuente: Propia

2.10 Medición de diámetro y rugosidad

Estas mediciones finales se realizan con la probeta ya extraída del torno.

2.10.1 Medición de diámetro final

Una vez que las probetas ya están cilindradas y fueron extraídas del torno, se procede a medir el diámetro final con el que quedaron utilizando el calibrador.

Para poder conseguir más datos y, por ende, medidas más precisas se realizarán 3 tomas de datos a la izquierda de la probeta, antes de la marca 1 realizada en el

proceso de medida de redondez (figura 2.17) y 3 tomas de datos a la derecha de la probeta, es decir, después de la marca 3 (figura 2.17), de la siguiente manera:



Fig. 2.21: Ejemplo de medición de diámetro final en la probeta V1F2A1-M. Fuente: Propia

Estos 6 datos de diámetro final se colocarán en la tabla de resultados para luego ser promediadas y comparadas con los datos de diámetro esperado calculadas con anterioridad.

2.10.2 Medición de rugosidad

De igual forma que en la medición del diámetro final, se procede a medir la rugosidad con la probeta ya extraída del torno, utilizando el rugosímetro.

En esta parte de la experimentación se han tomado 8 datos, 4 antes de la primera marca (figura 2.17) y 4 después de la tercera marca (figura 2.17). Cada uno de estos 4 datos fue tomado a una separación de 90 grados, al igual que en la medición de la conicidad (figura 2.19).

A continuación, se presenta un ejemplo de medición y utilización del rugosímetro:



Fig. 2.22: Medición de rugosidad de la superficie cilindrada con rugosímetro en posición. Fuente: Propia

3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Pruebas

Como se pudo observar en el apartado 2.4.1, se realizaron las siguientes pruebas:

- Rugosidad
- Tiempo de maquinado
- Dimensiones finales (Diámetro de la probeta)
- Redondez
- Conicidad
- Amperaje máximo utilizado por el torno durante la operación

Dichos resultados se expresan de manera detallada en las tablas adjuntadas en los anexos I y II, y de manera resumida en las tablas 3.1 y 3.2

Con estas pruebas realizadas y sus respectivas tablas, en la sección 3.2 se realizarán gráficas que permitan un análisis más simplificado y comparaciones específicas que permitan verificar el estado del torno convencional en relación con el CNC, monitoreando principalmente rugosidad, redondez y conicidad.

3.2 Resultados

3.2.1 Experimentación de cilindrado convencional

A partir del anexo I, se obtiene la siguiente tabla de resultados resumidos para el cilindrado convencional:

Tabla 3.1: Resumen de resultados obtenidos en la experimentación de cilindrado convencional. Fuente: Propia

EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO CONVENCIONAL									
N.º	Codificación	Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro promedio [mm]	Amperaje [A]	Rugosidad \overline{R}_a [μm]	Conicidad promedio [mm]	Redondez promedio [mm]
1	V1F1A1-M	13,8	25,2	22,2	22,508	19,9	5,579	0,138	0,090
2	V2F1A1-M	8,97	25,1	22,1	22,217	17	5,292	0,118	0,130
3	V3F1A1-M	9,59	25,1	22,1	21,658	13,8	5,226	0,145	0,047
4	V1F2A1-M	12,17	25,2	22,2	21,833	17,4	3,851	0,080	0,013
5	V1F3A1-M	20,85	25,1	22,1	22,083	19,3	1,634	0,083	0,007
6	V2F2A1-M	14,81	25,2	22,2	21,867	13,6	3,780	0,075	0,053
7	V3F2A1-M	17,11	25,2	22,2	21,717	12,6	3,525	0,155	0,193
8	V2F3A1-M	24,72	25,3	22,3	21,883	13,8	1,502	0,085	0,013
9	V3F3A1-M	28,8	25,3	22,3	21,967	9,9	1,489	0,085	0,007
10	V1F1A2-M	8,25	25,1	23,1	23,250	19,1	5,893	0,078	0,020
11	V2F1A2-M	8,75	25,1	23,1	23,117	15,7	6,082	0,073	0,023
12	V3F1A2-M	9,1	25,2	23,2	23,250	13,6	6,047	0,055	0,037
13	V1F2A2-M	13,2	25,1	23,1	22,850	16,6	3,943	0,090	0,013
14	V1F3A2-M	20,17	25,3	23,3	22,950	12,3	1,664	0,080	0,007
15	V2F2A2-M	12,42	25,1	23,1	22,858	13,2	4,025	0,083	0,013
16	V3F2A2-M	13,5	25,1	23,1	23,050	10,8	4,031	0,065	0,017
17	V2F3A2-M	24,67	25,2	23,2	23,017	10,2	1,561	0,078	0,010
18	V3F3A2-M	30,45	25,1	23,1	22,950	10	1,388	0,090	0,013
19	V1F1A3-M	8,5	25,1	24,1	24,242	16,7	6,064	0,080	0,027
20	V2F1A3-M	10,05	25,1	24,1	24,133	9,6	6,138	0,078	0,017
21	V3F1A3-M	9,57	25,2	24,2	24,092	11,6	6,008	0,088	0,020
22	V1F2A3-M	12,5	25,2	24,2	24,108	14,3	3,890	0,093	0,013
23	V1F3A3-M	21,21	25,2	24,2	24,767	10,3	1,736	0,175	0,127
24	V2F2A3-M	15,74	25,2	24,2	23,992	14,9	3,897	0,083	0,010
25	V3F2A3-M	15,18	25,3	24,3	24,075	9,9	3,905	0,083	0,020
26	V2F3A3-M	24,2	25,2	24,2	24,033	9,3	1,964	0,120	0,007
27	V3F3A3-M	27,49	25,1	24,1	23,900	9,2	2,227	0,098	0,017

3.2.1.1 Amperaje

Los 3 parámetros de corte afectan por igual al amperaje utilizado por la máquina, por lo cual, se puede inferir que la probeta V1F1A1-M debió haber ocupado la mayor cantidad de amperaje (Parámetros exigentes), mientras que la probeta V3F3A3-M debió haber ocupado la menor energía (Parámetros gentiles).

En este caso, no es necesaria una gráfica, sino simplemente ubicar los valores máximos y mínimos a partir de la tabla 3.1. Dichos valores son:

- Amperaje máximo = 19,9 [A] → Correspondiente a la probeta V1F1A1-M
- Amperaje mínimo = 9,2 [A] → Correspondiente a la probeta V3F3A3-M

Tal y como se esperaba, entre más exigentes sean los parámetros en general, más amperaje utilizará la máquina.

3.2.1.2 Tiempo de maquinado

El tiempo de maquinado se relaciona directamente con la velocidad de avance, por lo cual, en teoría, entre más avance se debería conseguir menos tiempo de maquinado.

Para evaluar esta característica se presenta la siguiente gráfica del tiempo de maquinado obtenido en el cilindrado convencional en función del avance utilizado:

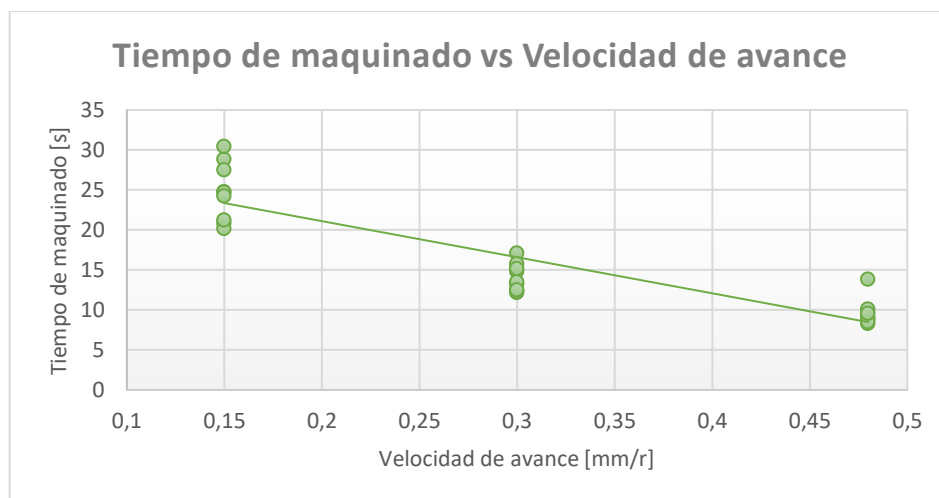


Fig. 3.1: Tiempo de maquinado vs Velocidad de avance en cilindrado convencional.
Fuente: Propia

En la figura 3.1 se puede ver que, cuando la velocidad de avance es 0,15 mm/r, los tiempos oscilan entre 20 y 30 segundos. Cuando la velocidad es 0,3 mm/r, los tiempos van desde 12 hasta 18 segundos y cuando la velocidad es 0,48 mm/r los tiempos están alrededor de los 10 segundos.

Estos resultados tienen una línea de tendencia decreciente, donde a medida que la velocidad de avance crece, el tiempo de maquinado decrece, que es justamente lo que se esperaba en el análisis de esta sección.

3.2.1.3 Error entre el diámetro esperado y el diámetro final

En teoría, el diámetro esperado y el diámetro final deberían ser iguales o muy cercanos entre sí, indistintamente de cualquiera de los 3 parámetros de corte

principales. Sin embargo, se puede inferir que la profundidad de corte podría ser la más influyente para analizar este criterio, por lo cual, a partir de la tabla 3.1 se realizarán 2 gráficas. Una en función de la profundidad de corte y otra indistintamente de los parámetros de corte, de la siguiente manera:

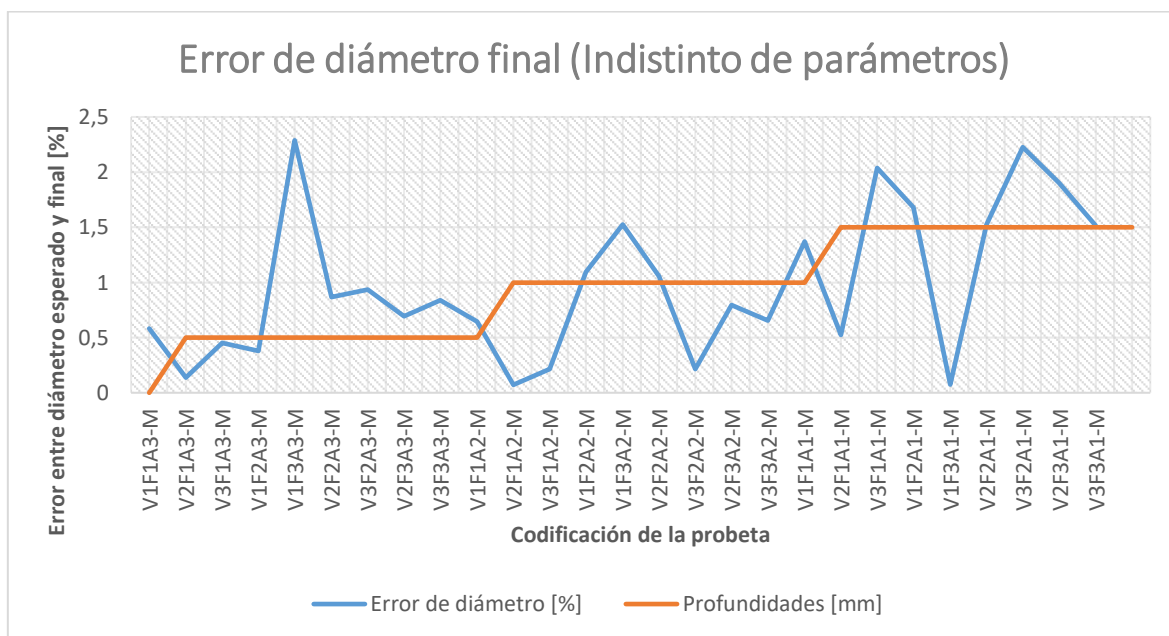


Fig. 3.2: Error de diámetro final indistinto de los parámetros de corte. Fuente: Propia

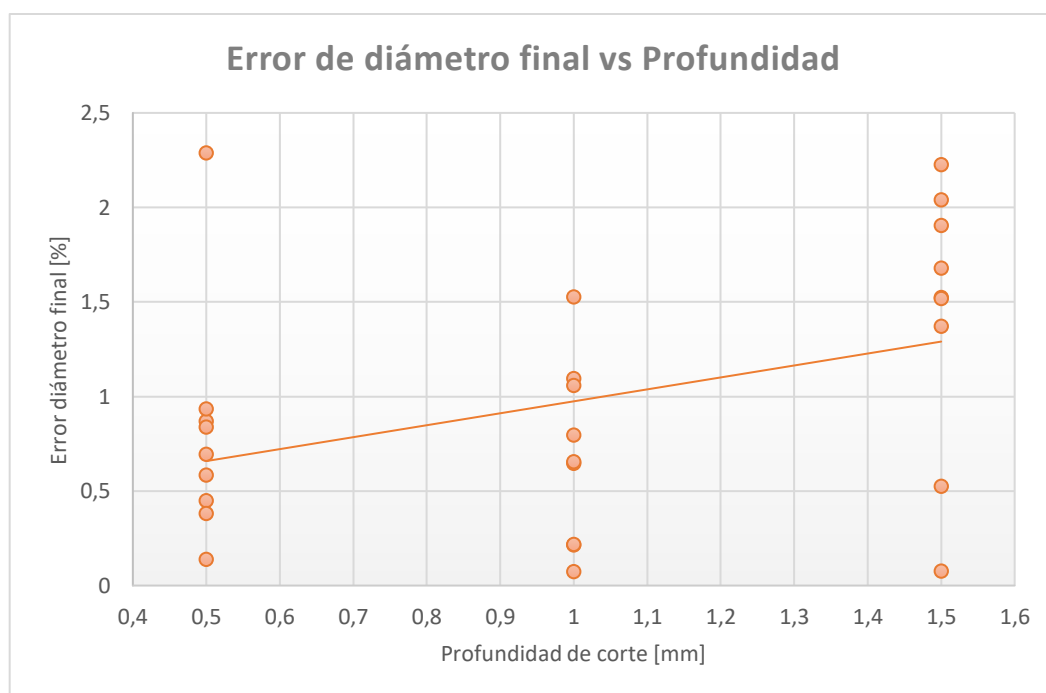


Fig. 3.3: Error de diámetro final respecto a la profundidad de corte. Fuente: Propia

De las figuras 3.2 y 3.3 se puede determinar que el error máximo es de 2,3%, mientras que el error mínimo es de 0,07%. Al ser menores al 5% se considera a todos los datos como cercanos entre real y esperado, por lo cual la medida final se podría considerar tranquilamente como la esperada sin mayores repercusiones.

Respecto a la influencia de la profundidad de corte en este análisis, se puede ver tanto en la figura 3.2 como 3.3 que para todas las profundidades (0,5; 1 y 1,5 mm) existen errores tanto altos como bajos, por lo cual, no influye directamente como se esperaba. Sin embargo, la línea de tendencia presentada en la figura 3.3 es ligeramente creciente donde el error aumenta a medida que la profundidad también aumenta. Esto no es del todo concluyente, sin embargo, es útil para próximas experimentaciones.

3.2.1.4 Rugosidad (Ra)

La rugosidad (calidad superficial) depende de la combinación de parámetros. Es decir, no es independiente de cada parámetro. Por lo cual, se presentan a continuación gráficas de la rugosidad en función de los 3 parámetros de corte, a partir de las cuales se evaluará el parámetro más influyente, y las posibles combinaciones de parámetros que darían como resultado la mejor probeta en términos de calidad superficial.

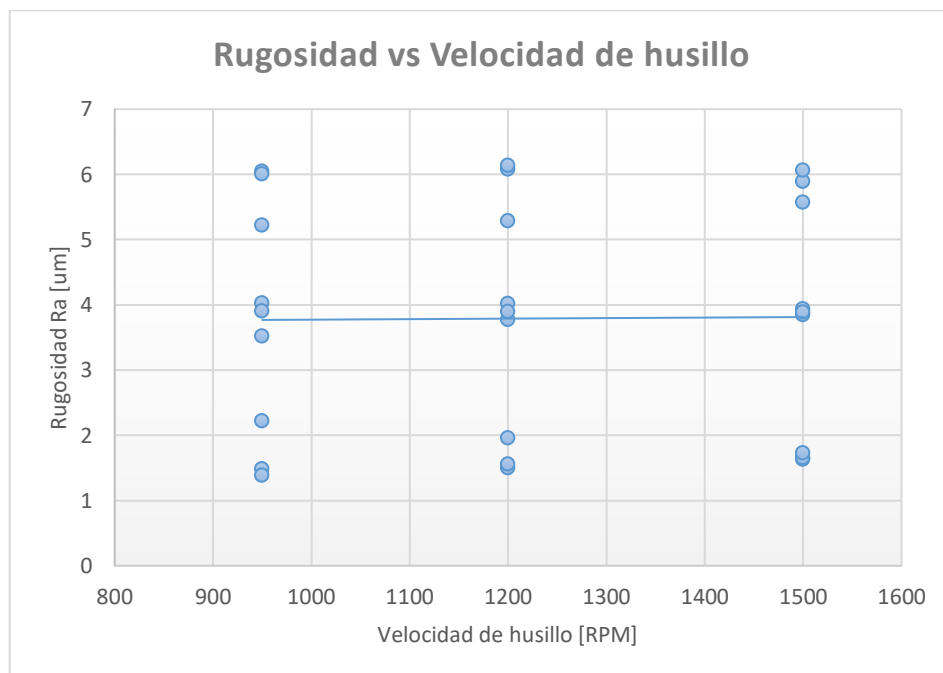


Fig. 3.4: Rugosidad vs Velocidad de husillo (Sin considerar f_n y a_p). Fuente: Propia

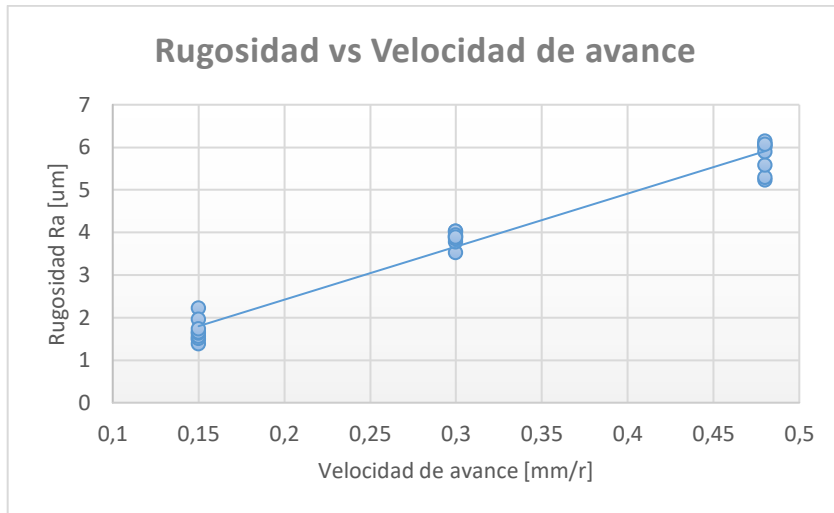


Fig. 3.5: Rugosidad vs Velocidad de avance (Sin considerar V_c y a_p). Fuente: Propia

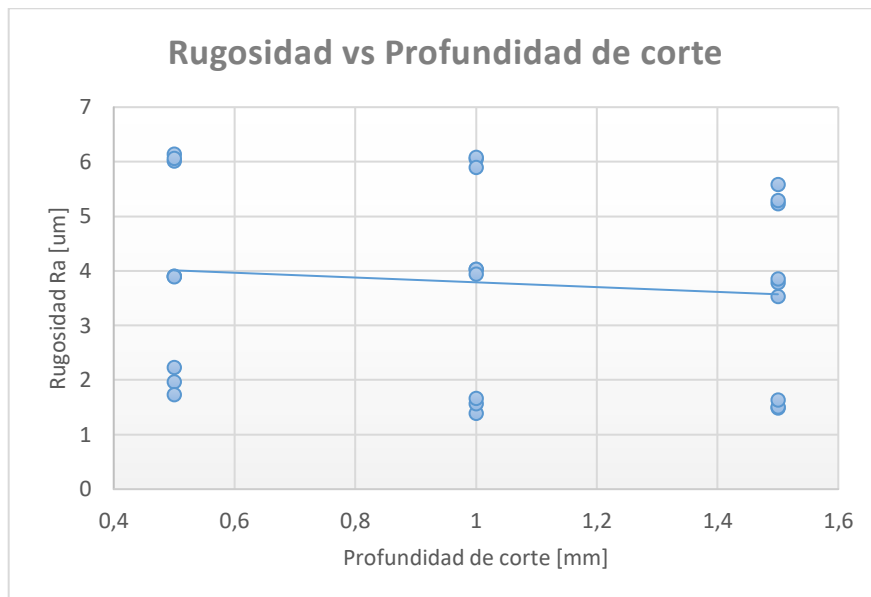


Fig. 3.6: Rugosidad vs Profundidad de corte (Sin considerar V_c y f_n). Fuente: Propia

En la figura 3.4 se puede ver que la línea de tendencia se mantiene prácticamente constante, por lo cual, la velocidad de husillo no es muy influyente para la calidad superficial final de la pieza.

En la figura 3.5, la línea de tendencia es notoriamente creciente, lo que quiere decir que, a medida que la velocidad de avance incrementa, la rugosidad también incrementa, siendo este el parámetro más influyente para la calidad superficial.

En la figura 3.6, la línea de tendencia es ligeramente decreciente, es decir, a medida que aumenta la profundidad, la rugosidad decrece, sin embargo, no es el parámetro más influyente para evaluar la calidad superficial.

Para determinar la probeta con mejor calidad superficial, se tomará el conjunto de datos correspondientes a la velocidad de avance de 0,15 mm/r que tuvieron como resultados rugosidades entre 1 y 2 μm aproximadamente y se evaluará la influencia de la profundidad de corte y de la velocidad de husillo, como se muestra a continuación:

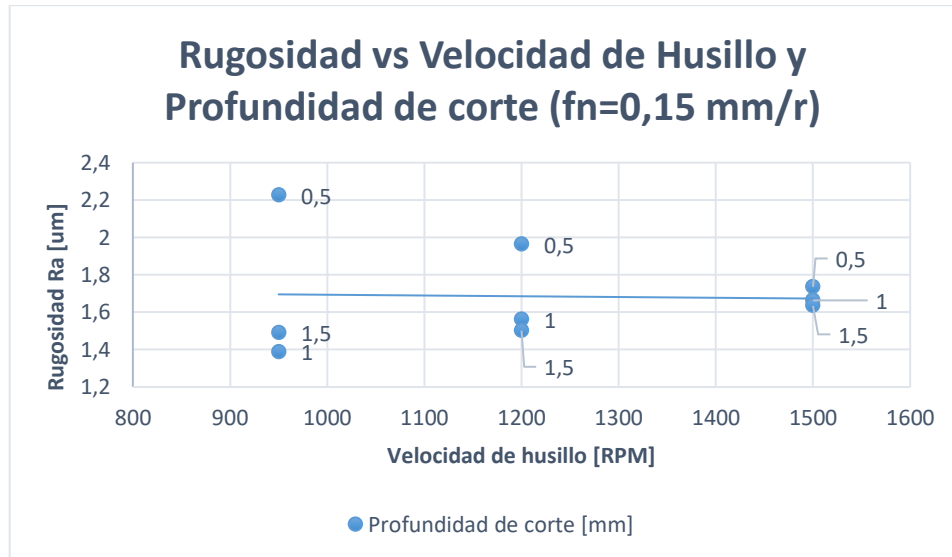


Fig. 3.7: Rugosidad vs Velocidad de husillo y Profundidad de corte para Velocidad de avance constante en 0,15 mm/r. Fuente: Propia

En la figura 3.7 se observa con más claridad la posible combinación de parámetros para obtener la probeta con mejor calidad superficial. Una vez que se determinó el avance ideal de la herramienta (0,15 mm/r), se evalúa la profundidad de corte y la velocidad de husillo de donde se pueden obtener dos conclusiones:

- Generalmente, con velocidad de husillo y de avance constante, a mayor profundidad mejor acabado superficial
- A velocidades de husillo altas y velocidad de avance bajas, la profundidad de corte es poco influyente para el acabado superficial final.

Por lo cual, de manera general, para obtener una probeta con la mejor calidad superficial sería de realizar la siguiente combinación de parámetros: bajo avance, alta velocidad de husillo y alta profundidad. Sin embargo, siempre existirán excepciones, y para esta experimentación en específico, la mejor probeta resultó ser la V3F3A2-M.



Fig. 3.8: Probeta con el mejor acabado superficial (V3F3A2-M). Fuente: Propia

3.2.1.5 Conicidad

Al igual que con la rugosidad, la conicidad también depende de la combinación de parámetros, por lo cual se presentan las siguientes gráficas, en las cuales, se considerarán profundidades constantes, y así evaluar la influencia de la velocidad de husillo y de avance, de la siguiente manera:

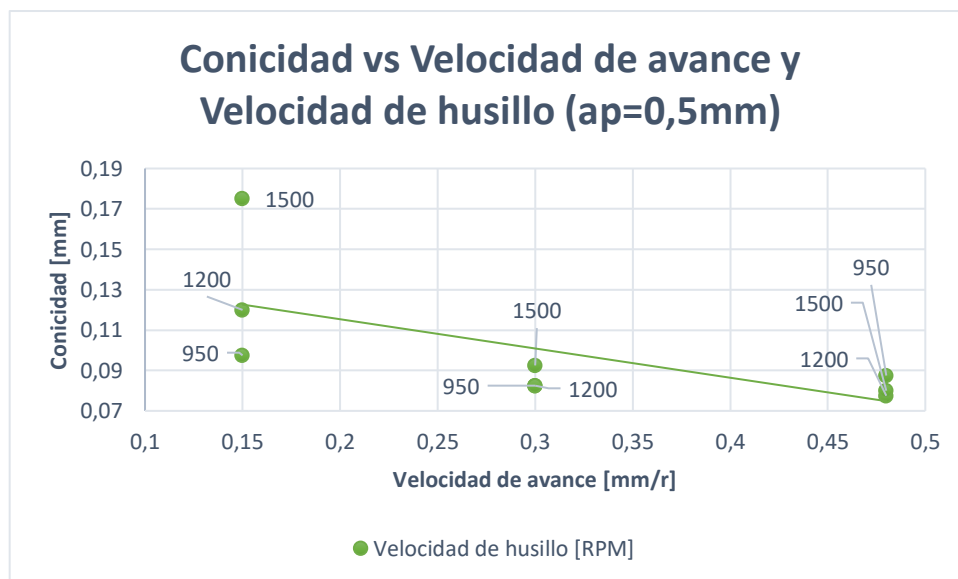


Fig. 3.9: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=0,5mm). Fuente: Propia

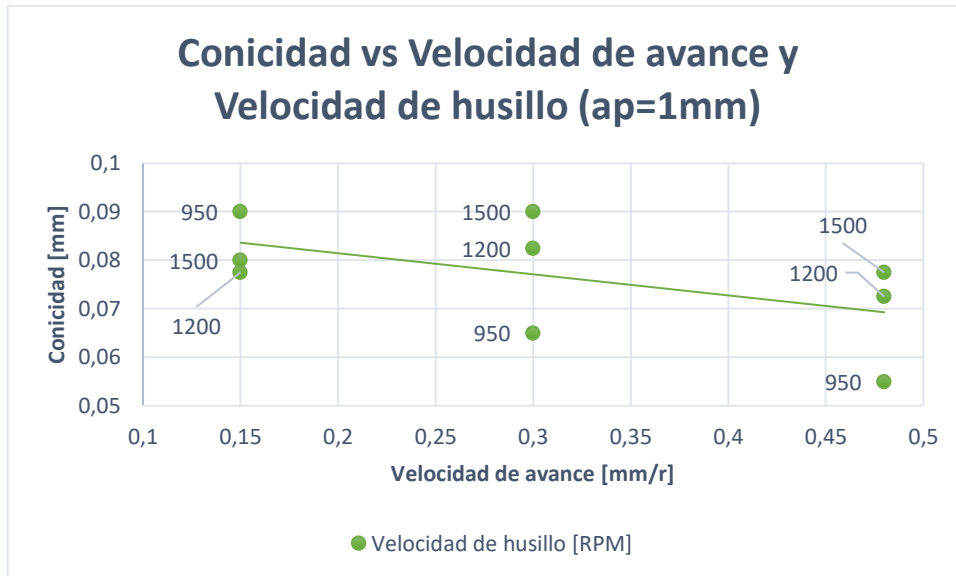


Fig. 3.10: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=1mm). Fuente: Propia

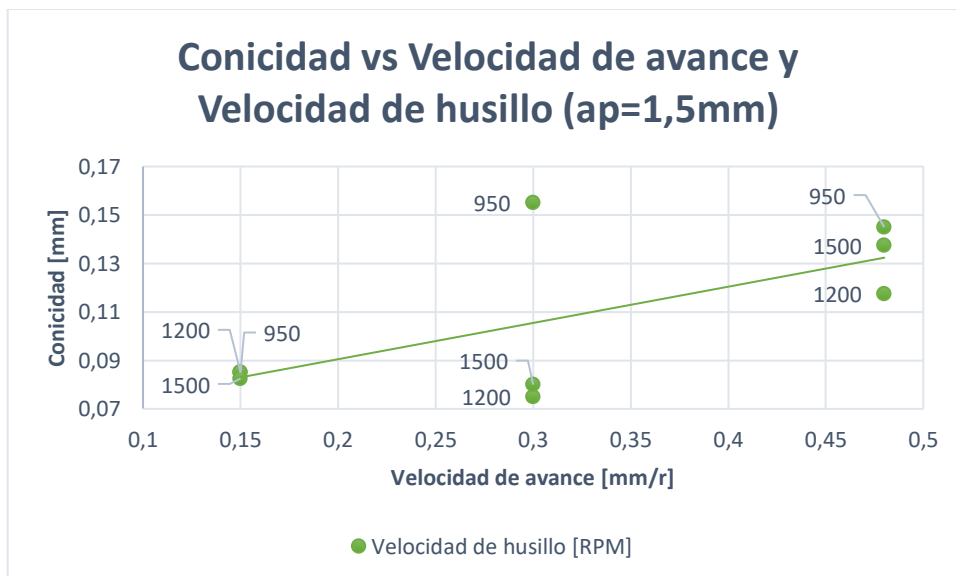


Fig. 3.11: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=1,5mm). Fuente: Propia

Como se puede observar en las figuras 3.9, 3.10 y 3.11, el comportamiento de la conicidad es muy variable a pesar de la combinación de parámetros. Esto puede deberse al error del operador, sin embargo, y descartando los resultados de la figura 3.11 (posible excepción), se puede inferir que, a profundidades constantes, el incremento de la velocidad de avance hace que la conicidad disminuya.

Por otro lado, los resultados encontrados en la figura 3.10 son los más dispersos, sin embargo, poseen la probeta con el menor valor de conicidad (0,055 mm)

De la figura 3.11 se puede concluir que, imponer los 3 parámetros exigentes no es conveniente ya que la conicidad puede incrementarse exponencialmente, de igual

forma, de la figura 3.9 se puede ver que imponer 3 parámetros gentiles tampoco es la solución porque igual se perjudicaría la conicidad. Es por esto que, los parámetros ideales para la fabricación de una probeta con la menor conicidad, de manera general, serían profundidad media, velocidad de avance alta y velocidad de husillo baja.

Para esta experimentación en específico, la probeta con menor conicidad es la V3F1A2-M, mostrada a continuación:



Fig. 3.12: Probeta con las mejores condiciones de conicidad (V3F1A2-M). Fuente: Propia

3.2.1.6 Redondez

De igual forma que la conicidad, la redondez tiene un comportamiento muy variable, por lo cual, se analizará la influencia de la profundidad de corte y la velocidad de avance manteniendo constante la velocidad de husillo, de la siguiente manera:

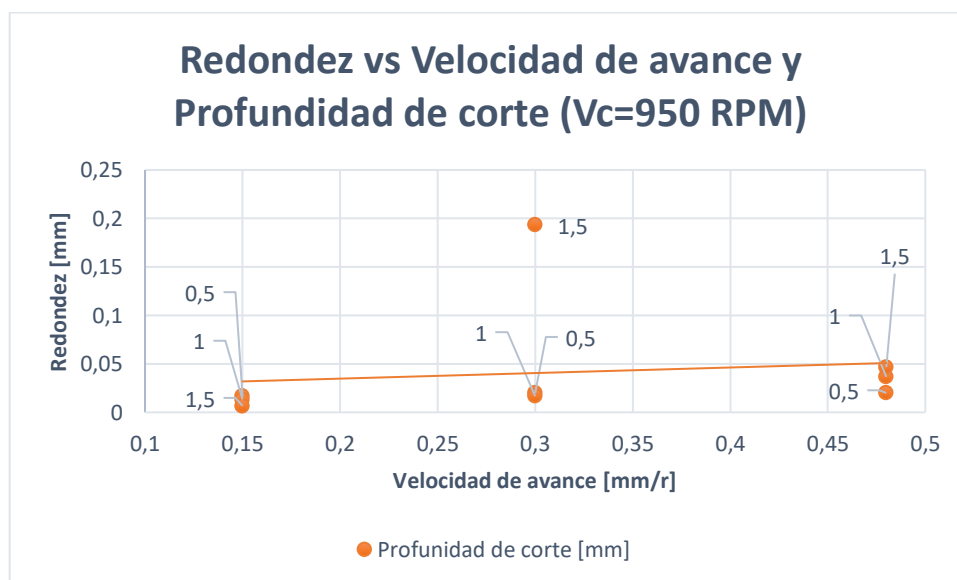


Fig. 3.13: Redondez vs Velocidad de avance y Profundidad de corte (Velocidad de husillo constante en 950 RPM). Fuente: Propia

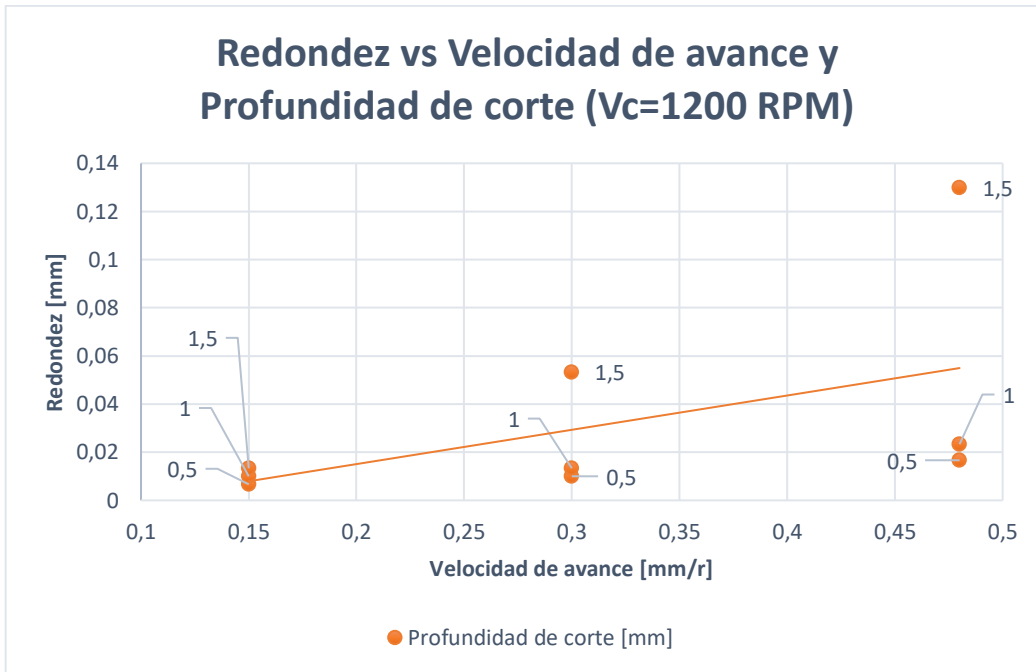


Fig. 3.14: Redondez vs Velocidad de avance y Profundidad de corte (Velocidad de husillo constante en 1200 RPM). Fuente: Propia

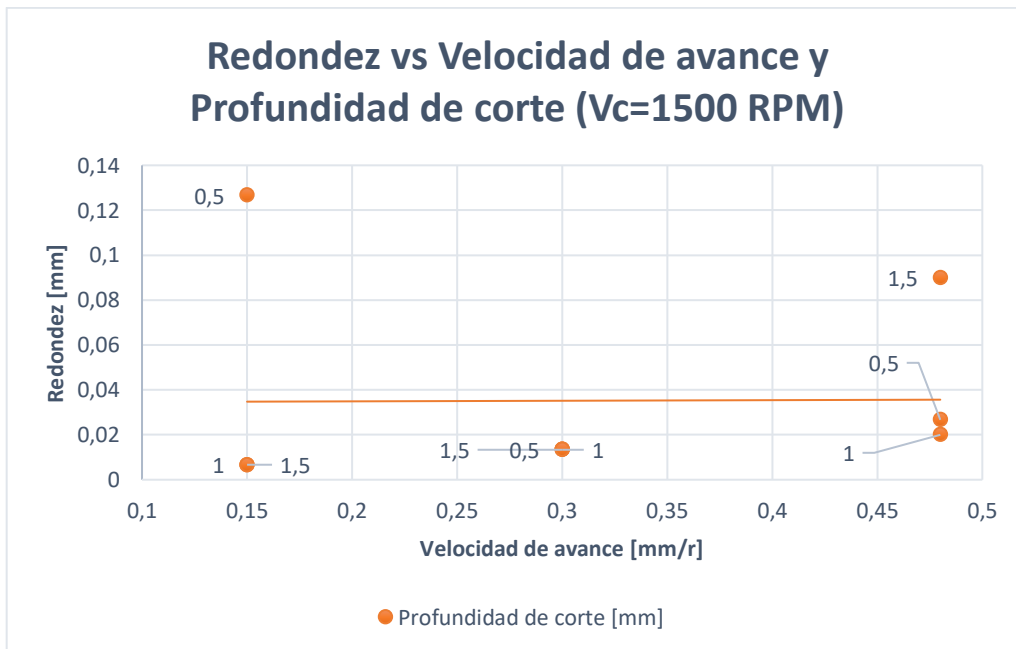


Fig. 3.15: Redondez vs Velocidad de avance y Profundidad de corte (Velocidad de husillo constante en 1500 RPM). Fuente: Propia

A partir de las gráficas obtenidas en las figuras 3.13, 3.14 y 3.15 se puede concluir claramente que, manteniendo una velocidad de husillo constante, a medida que la velocidad de avance incrementa, la redondez también incrementa.

En la mayoría de las mediciones, existe cierto dato con alta dispersión con relación a las otras dos medidas, sin embargo, se puede considerar que, en gran medida, estos datos son muy consistentes (precisos).

Por otro lado, en la figura 3.14 se puede apreciar claramente la influencia de la profundidad de corte hacia la redondez, y, es que a medida que la profundidad de corte disminuye, la redondez también disminuye.

En base a todas estas inferencias, se puede concluir que la mejor combinación de parámetros para obtener la mejor probeta en términos de redondez es: Baja profundidad, baja velocidad de avance y Alta velocidad de husillo.

En este caso, la mejor probeta de esta experimentación fue la V2F3A3-M, presentada a continuación:



Fig. 3.16: Probeta con las mejores condiciones de redondez (V2F3A3-M). Fuente: Propia

3.2.2 Experimentación de cilindrado CNC

A partir del anexo II, se obtiene la siguiente tabla de resultados resumidos para el cilindrado CNC:

Tabla 3.2: Resumen de resultados obtenidos en la experimentación de cilindrado CNC.
Fuente: Propia

EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO CONVENCIONAL									
N.º	Codificación	Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro promedio [mm]	Amperaje [A]	Rugosidad $\overline{R_a}$ [μm]	Conicidad promedio [mm]	Redondez promedio [mm]
1	V1F1A1-C	5,92	25,24	22,24	22,035	18,4	3,902	0,03	0,027
2	V2F1A1-C	7,8	25,02	22,02	21,732	17,4	3,828	0,0625	0,067
3	V3F1A1-C	9,83	25,02	22,02	22,190	15,3	3,855	0,0375	0,043
4	V1F2A1-C	9,77	25,02	22,02	22,023	15,7	2,421	0,0075	0,013
5	V1F3A1-C	20,08	25,29	22,29	22,315	12,4	1,120	0,0125	0,017
6	V2F2A1-C	12,1	25,02	22,02	21,898	14,9	2,342	0,0075	0,013
7	V3F2A1-C	15,05	24,96	21,96	21,872	13,5	2,600	0,0075	0,013
8	V2F3A1-C	23,77	24,96	21,96	21,940	12,4	1,326	0,0025	0,010
9	V3F3A1-C	29,92	25,3	22,3	22,297	11,2	1,178	0,01	0,013
10	V1F1A2-C	6,16	25,3	23,3	23,348	15,6	3,569	0,0125	0,010
11	V2F1A2-C	7,86	24,9	22,9	22,982	14,6	3,681	0,035	0,027
12	V3F1A2-C	9,69	25,3	23,3	23,358	13,1	3,597	0,0225	0,020
13	V1F2A2-C	9,56	24,95	22,95	22,965	13,9	2,173	0,0125	0,003
14	V1F3A2-C	19,13	24,96	22,96	22,958	12	1,444	0,005	0,007
15	V2F2A2-C	12,45	25,34	23,34	19,933	11,9	2,478	0,01	0,007
16	V3F2A2-C	15,15	25,3	23,3	23,417	12,3	2,542	0,01	0,017
17	V2F3A2-C	24,3	24,95	22,95	23,045	11,2	1,796	0,005	0,010
18	V3F3A2-C	29,17	24,95	22,95	23,047	10,7	2,969	0,0125	0,013
19	V1F1A3-C	6,35	24,96	23,96	24,145	12,5	3,584	0,0125	0,007
20	V2F1A3-C	7,61	25,3	24,3	24,447	11,7	4,145	0,0125	0,020
21	V3F1A3-C	9,44	25,3	24,3	24,300	11,3	4,468	0,02	0,023
22	V1F2A3-C	9,6	24,96	23,96	23,950	11,8	2,706	0,0125	0,003
23	V1F3A3-C	19,17	25,3	24,3	24,228	10,5	3,280	0,015	0,010
24	V2F2A3-C	12,37	24,95	23,95	23,917	11,3	4,124	0,0175	0,010
25	V3F2A3-C	14,53	24,96	23,96	23,950	10,8	5,368	0,015	0,013
26	V2F3A3-C	24,07	24,95	23,95	23,885	10,4	4,022	0,0225	0,013
27	V3F3A3-C	30,28	24,95	23,95	20,510	9,9	4,500	0,0175	0,013

3.2.2.1 Amperaje

La lógica para el amperaje se cumple tanto para el torneado convencional como para el torneado CNC, por lo cual, los parámetros más exigentes deben consumir más amperaje, mientras que los más gentiles deben consumir menos amperaje.

En este caso, se tiene lo siguiente:

- Amperaje máximo = 18,4 [A] → Correspondiente a la probeta V1F1A1-C
- Amperaje mínimo = 9,9 [A] → Correspondiente a la probeta V3F3A3-C

Por lo cual, se puede ver que, se cumple la hipótesis planteada anteriormente.

3.2.2.2 *Tiempo de maquinado*

Para evaluar este parámetro se presentará a continuación una gráfica de tiempo de maquinado en función de la velocidad de avance:

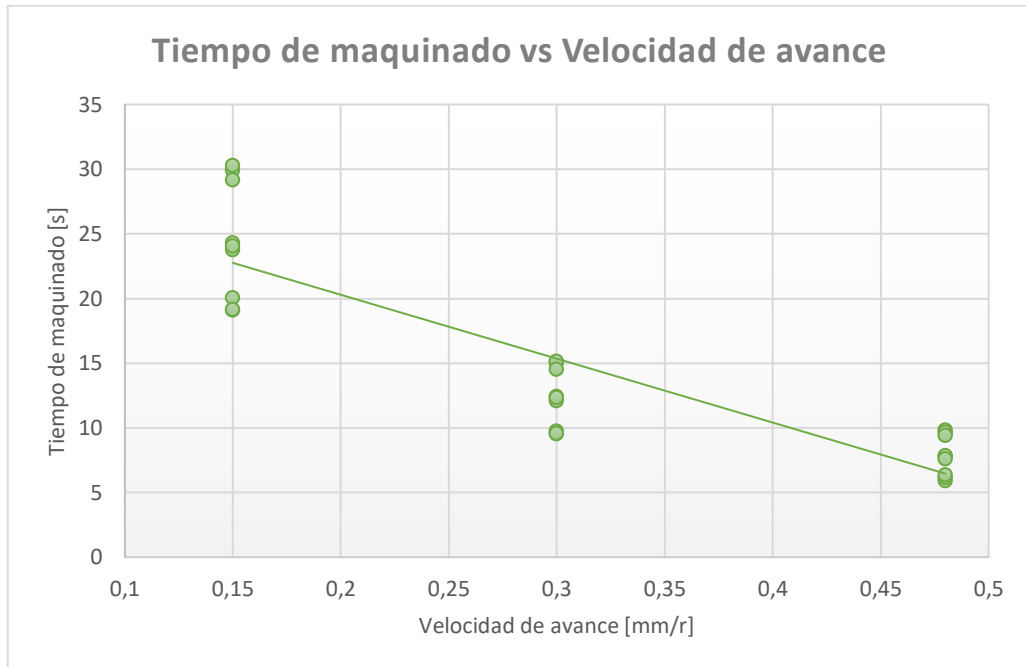


Fig. 3.17: Tiempo de maquinado vs Velocidad de avance en cilindrado CNC. Fuente: Propia

Siguiendo la misma lógica que en el torneado convencional, la línea de tendencia es decreciente, donde a medida que la velocidad de avance aumenta, el tiempo de maquinado disminuye.

3.2.2.3 *Error entre el diámetro esperado y el diámetro final*

De igual forma que en el torneado convencional, se espera que los errores de diámetro no tengan relación directa con ninguno de los parámetros, por lo cual, se presentará, es esta ocasión, solo una gráfica para evaluar el porcentaje de error independientemente de los parámetros de corte:

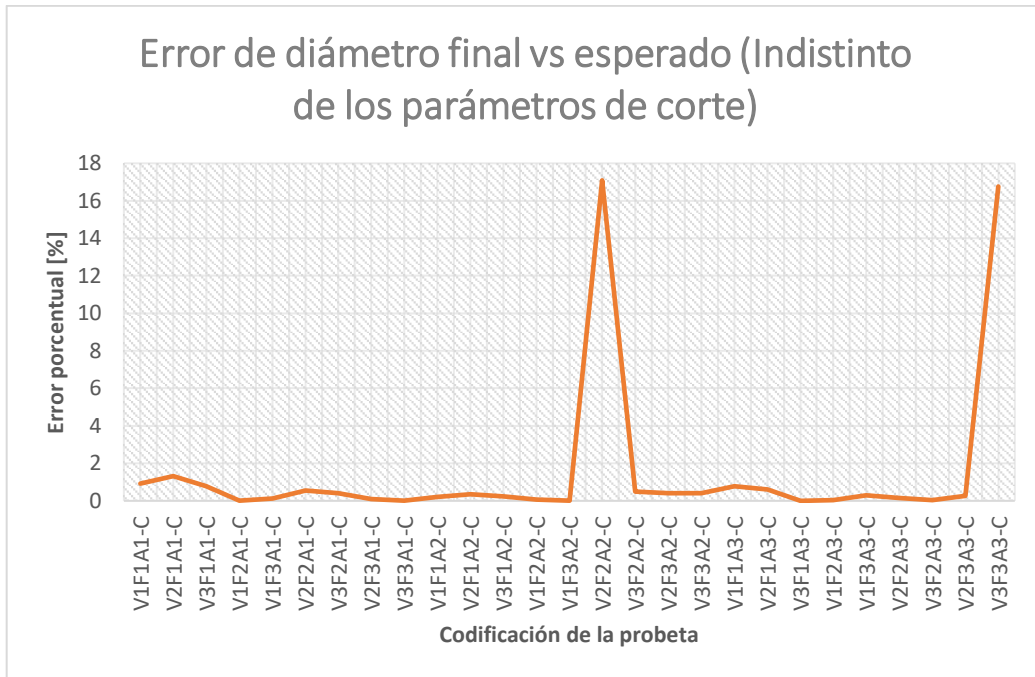


Fig. 3.18: Error de diámetro final indistinto de los parámetros de corte. Fuente: Propia

El torneado CNC es más preciso en todos los aspectos, por lo cual, era de esperarse que los errores de diámetro sean muy bajos, como se puede apreciar en la figura 3.18, donde la mayoría de las probetas no rebasan el 2% de error. Sin embargo, existen dos probetas con errores muy elevados. Estas probetas se corresponden con la V2F2A2-C y la V3F3A3-C.

Los errores elevados encontrados no necesariamente tienen que ver con los parámetros de esas probetas en específico, sino que, es probable que simplemente se haya colocado mal el diámetro inicial o la profundidad a cilindrar.

3.2.2.4 Rugosidad (Ra)

Al igual que en el torneado convencional, se evaluará la rugosidad en función de cada uno de los tres parámetros de corte, para encontrar el más influyente y la mejor probeta en términos de calidad superficial.

Para esto, se tomará la profundidad de corte como parámetro constante y se evaluará la velocidad de husillo y de avance, de la siguiente manera:

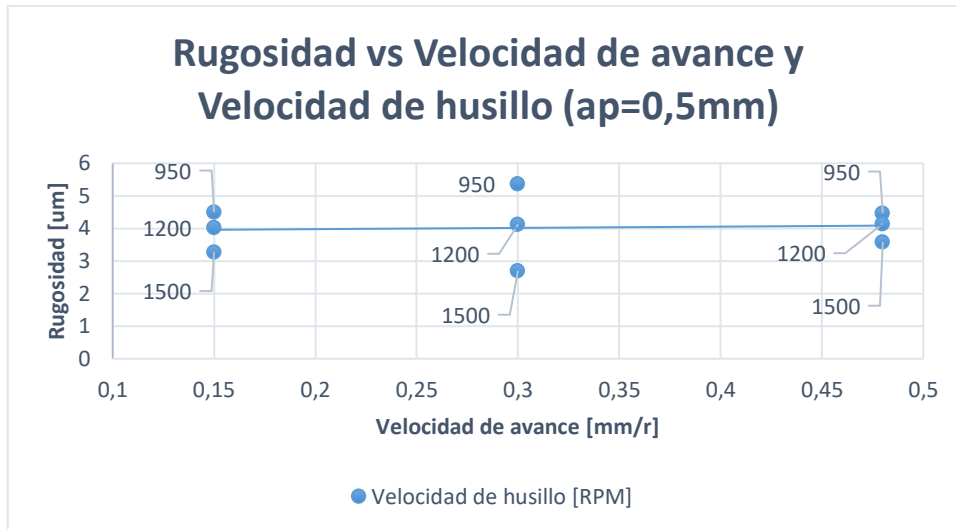


Fig. 3.19: Rugosidad vs Velocidad avance y de husillo (Profundidad constante en 0,5 mm). Fuente: Propia

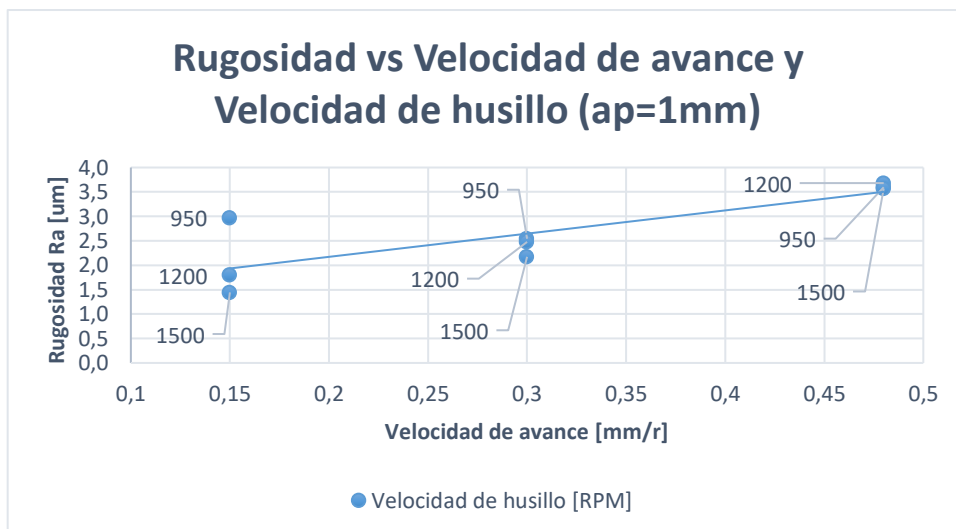


Fig. 3.20: Rugosidad vs Velocidad avance y de husillo (Profundidad constante en 1 mm). Fuente: Propia

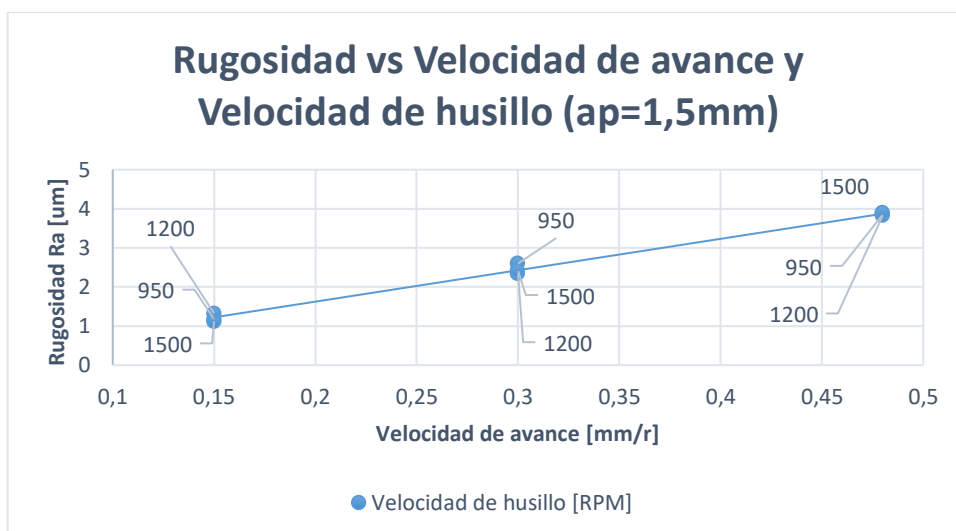


Fig. 3.21: Rugosidad vs Profundidad de corte (Sin considerar V_c y f_n). Fuente: Propia

En las figuras 3.20 y 3.21 se puede observar notoriamente que, cuando se mantiene constante la profundidad de corte, la línea de tendencia es creciente, es decir, a medida que la velocidad de avance crece, la rugosidad también crece. Mientras que en la figura 3.19 se puede ver que entre mayor sea la velocidad de husillo, menor será la rugosidad.

Es así que, para obtener las mejores características de calidad superficial se necesita ubicar los siguientes parámetros: Baja velocidad de avance, Alta velocidad de husillo y Alta profundidad.

Para esta experimentación, la probeta con mejores condiciones de calidad superficial fue la V1F3A1-C, mostrada a continuación:



Fig. 3.22: Probeta con el mejor acabado superficial (V1F3A1-C). Fuente: Propia

3.2.2.5 Conicidad

Para evaluar la conicidad, de igual manera, se mantendrá una profundidad constante y se identificarán los mejores parámetros de velocidad de husillo y de avance. Las gráficas obtenidas son las siguientes:

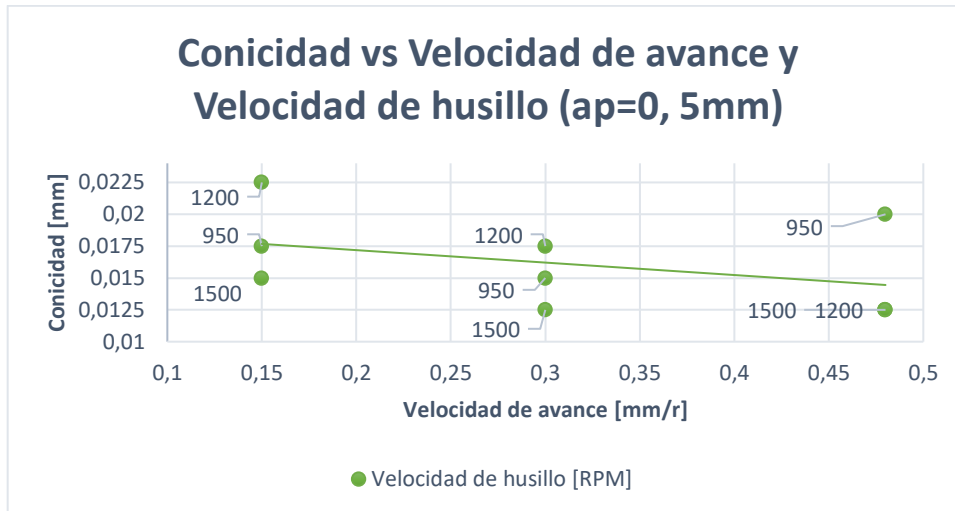


Fig. 3.23: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=0,5mm). Fuente: Propia

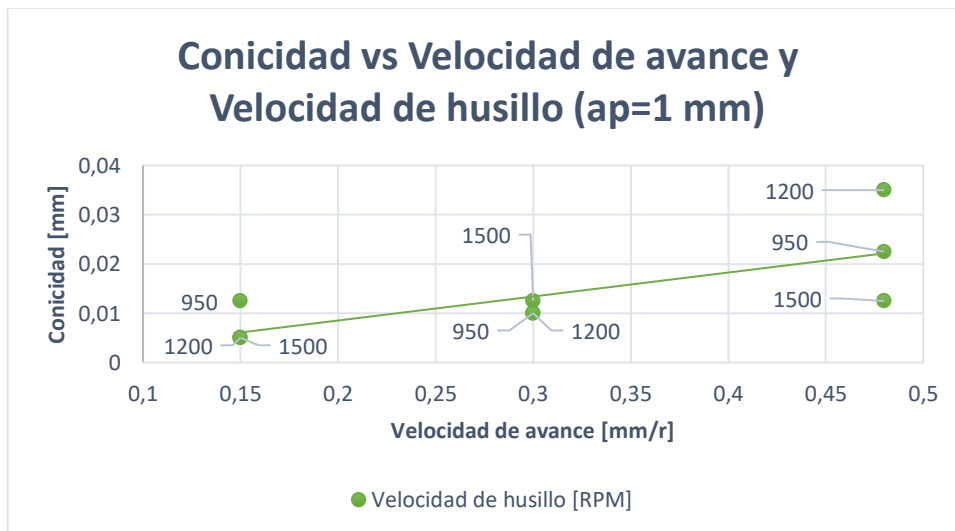


Fig. 3.24: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=1mm). Fuente: Propia

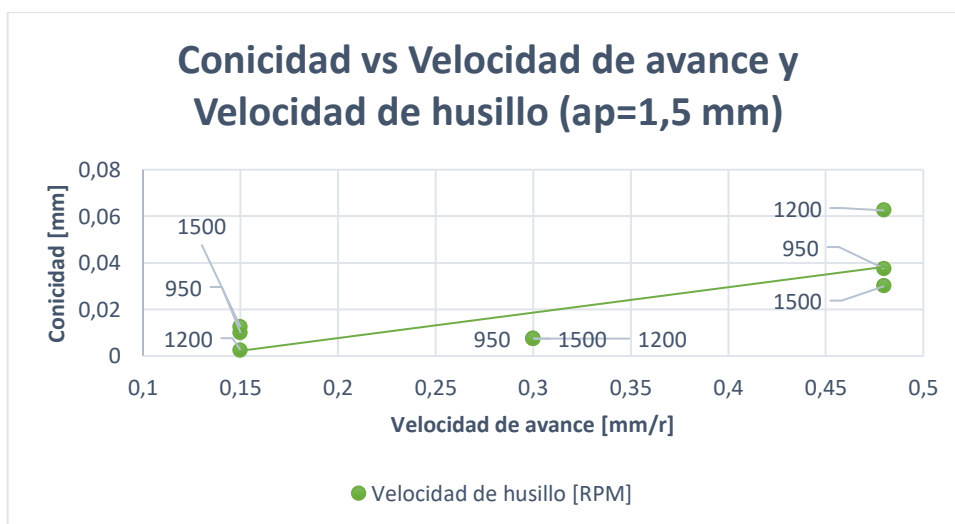


Fig. 3.25: Conicidad vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad=1,5mm). Fuente: Propia

En las figuras 3.24 y 3.25 se puede apreciar claramente que, con profundidades constantes, a medida que la velocidad de avance aumenta, la conicidad también aumenta. Sin embargo, en la figura 3.23 existe una diferencia, ya que aparentemente en esta gráfica, la línea de tendencia es decreciente. Esto no se debe considerar como un error, sino que simplemente se debe interpretar que, para profundidades muy bajas, el comportamiento es diferente, las conicidades son mucho más cercanas entre sí, y por tanto la línea de tendencia varía.

De manera general, para obtener una probeta con las mejores características de conicidad se deben imponer los siguientes parámetros: Baja velocidad de avance, Media velocidad de husillo, Alta profundidad de corte.

Para esta experimentación en específico, la probeta con menor conicidad es la V2F3A1-C, mostrada a continuación:



Fig. 3.26: Probeta con las mejores condiciones de conicidad (V2F3A1-C). Fuente: Propia

3.2.2.6 Redondez

Al igual que en rugosidad y conicidad, la redondez será presentada mediante gráficas con profundidades constantes de modo que se evalúen velocidades de husillo y de avance, de la siguiente manera:

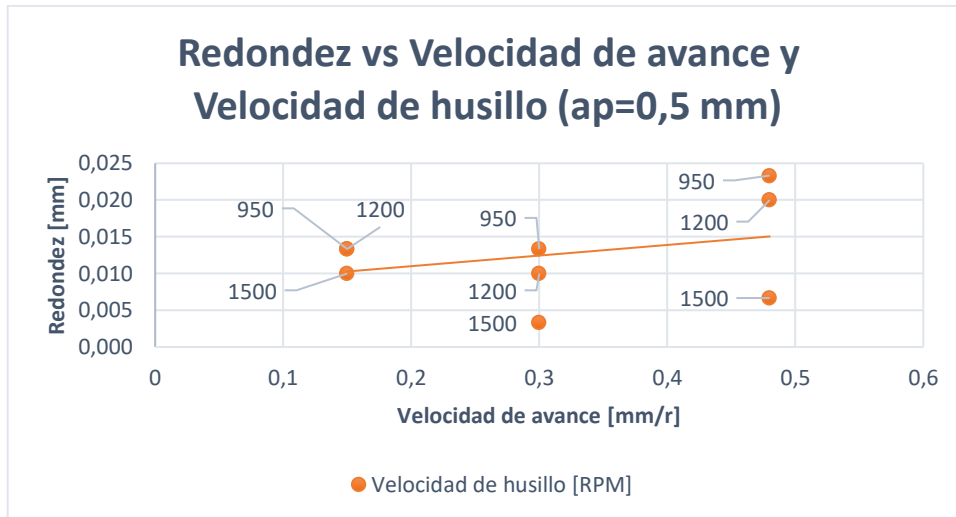


Fig. 3.27: Redondez vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad constante en 0,5 mm). Fuente: Propia

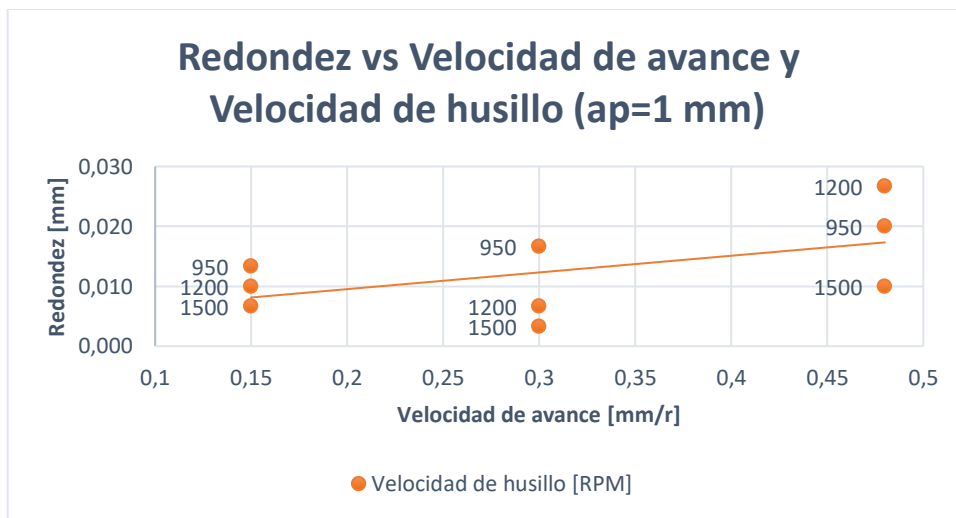


Fig. 3.28: Redondez vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad constante en 1 mm). Fuente: Propia

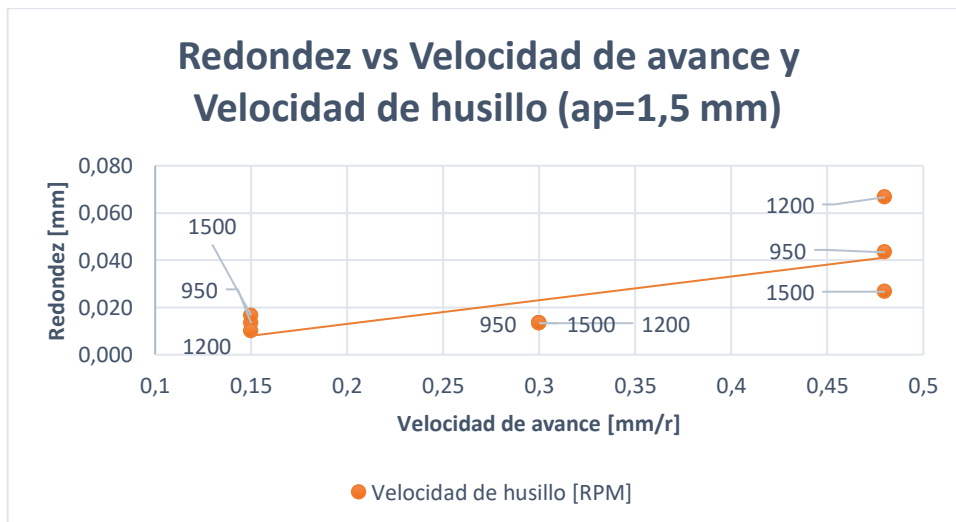


Fig. 3.29: Redondez vs Velocidad de avance y de husillo (Profundidad constante en 1,5 mm). Fuente: Propia

En las figuras 3.27, 3.28 y 3.29 se puede notar claramente que la línea de tendencia es creciente, lo que significa que, manteniendo profundidades constantes, a mayor velocidad de avance la redondez será mayor. Sin embargo, la condición de la velocidad de husillo es muy variable en todos los casos.

En las figuras 3.27 y 3.28 se puede encontrar un ligero patrón respecto a la velocidad de husillo, y es que, entre mayor sea este parámetro, menor será la redondez, por lo cual, a partir de esta inferencia se puede generalizar que, para obtener la mejor probeta en términos de redondez se deberían imponer los siguientes parámetros: Media profundidad de corte, Baja velocidad de avance y Alta velocidad de husillo.

En este caso, la mejor probeta es una excepción de la generalización realizada y corresponde a la probeta V1F2A2-C, presentada a continuación:



Fig. 3.30: Probeta con las mejores condiciones de redondez (V1F2A2-C). Fuente: Propia

3.2.3 Comparación entre resultados del torneado convencional y el CNC

3.2.3.1 Amperaje

Tabla 3.3: Comparación de los valores máximos y mínimos de amperaje encontrados en el torneado convencional y en el CNC. Fuente: Propia

COMPARACIÓN DE AMPERAJES	Torneado convencional	Torneado CNC
Amperaje máximo [A]	19,9	18,4
Amperaje mínimo [A]	9,2	9,9

Para el análisis del amperaje no existe mayor inconveniente, puesto que tanto para el torneado convencional como para el CNC, entre más exigentes sean las combinaciones de parámetros de corte, más amperaje utilizará la máquina y lo mismo viceversa.

Como se observa en la tabla 3.3, incluso los valores de amperajes máximos y mínimos son muy parecidos entre sí, por lo cual, no es un parámetro muy influyente para este trabajo de integración curricular.

3.2.3.2 Errores entre diámetro final y diámetro esperado

En las figuras 3.2 y 3.18 se puede observar que, indistintamente de los parámetros de corte, el error promedio aproximado es de 1% tanto para el torneado convencional como el CNC (descartando los datos extremos), lo cual es un indicativo de que el diámetro de las probetas finales es prácticamente idéntico al esperado.

Este parámetro es también un indicativo de que, salvo en 2 probetas, el operador realizó correctamente las medidas iniciales y de que el torno (ya sea convencional o CNC) está desbastando exactamente la medida requerida cumpliendo con las tolerancias que así se le propongan.

3.2.3.3 Tiempo de maquinado

A partir de las figuras 3.1 y 3.17 se puede ver que la línea de tendencia es decreciente tanto para el torneado convencional como para el CNC. En ambos casos se cumple que, entre mayor sea la velocidad de avance, menor será el tiempo de maquinado. Y esto es lógico debido a que se corresponde con la expresión (3) ya que la longitud de pasada es la misma para todas las probetas.

Para corroborar aún más esto, se presenta la siguiente tabla:

Tabla 3.4: Rangos de tiempo obtenidos según la velocidad de avance en el torneado convencional y CNC. Fuente: Propia

Velocidad de avance [mm/r]	Rango del tiempo de maquinado [s]	
	Torneado convencional	Torneado CNC
0,15	20 – 30	19 – 30
0,3	12 – 17	9 – 15
0,48	8 – 13	6 – 9

Como se puede observar en la tabla 3.4, incluso los tiempos de maquinado son muy similares entre sí. En teoría, deberían ser iguales porque tanto la longitud de pasada como la velocidad de avance son iguales tanto en el torno convencional como en el CNC, sin embargo, y debido a posibles fallos en la toma del tiempo (errores humanos) varían un poco pero no es nada significativo.

Esta tabla 3.4, en conjunto con las figuras 3.1 y 3.17 son el indicativo de que el tiempo de maquinado experimental es correcto y se relaciona directamente con la velocidad de avance como se esperaba desde un inicio.

3.2.3.4 Rugosidad Ra

El parámetro que más influye en la calidad superficial fue analizado más a detalle en los apartados 3.2.1.4 y 3.2.2.4 para el torneado convencional y el torneado CNC respectivamente, pero para realizar una comparación entre los tornos se considerarán dos cosas:

- Generalización de parámetros a imponer en la máquina para lograr la mejor probeta en términos de calidad superficial
- Rugosidad máxima y mínima encontrada en las 27 experimentaciones de cada torno

En cuanto a la generalización de los parámetros, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 3.5: Parámetros a imponer en el torno convencional y CNC para obtener la mejor calidad superficial (según experimentaciones realizadas). Fuente: Propia

Parámetros generalizados para rugosidad	Tipo de torneado	
	Torneado convencional	Torneado CNC
Velocidad de avance	Baja	Baja
Velocidad de husillo	Alta	Alta
Profundidad de corte	Alta	Alta

Como se puede observar en la tabla 3.5, los tres parámetros de corte a imponer en la máquina coinciden tanto para el torno convencional como para el torno CNC, por lo cual, se puede inferir que las experimentaciones fueron muy similares entre sí. Ahora bien, para corroborar este dato, se presentarán a continuación las rugosidades máximas y mínimas encontradas en cada una de las máquinas:

Tabla 3.6: Rugosidades máximas y mínimas encontradas en el torno convencional y CNC. Fuente: Propia

Rugosidades promedio	Tipo de torneado	
	Torneado convencional	Torneado CNC
Rugosidad máxima [um]	6,138	5,368
Rugosidad mínima [um]	1,3875	1,12

En la tabla 3.6 se puede observar que los valores máximos y mínimos de rugosidad son muy similares entre el torneado convencional y el CNC. Sin embargo, si se nota que los resultados en el torneado CNC son mucho mejores que en el convencional, obviamente debido a las características de la máquina y el tiempo de uso.

Finalmente, se pondrán a consideración las probetas con la mejor calidad superficial obtenidas en cada uno de los tornos para ver si fueron las mismas o si al menos, están en un mismo rango de trabajo:

- Mejor probeta en el torno convencional: V3F3A2-M
- Mejor probeta en el torno CNC: V1F3A1-C

Se puede ver que, la mejor probeta del torno CNC cumple con los parámetros generalizados mostrados en la tabla 3.5, pero en el caso de la probeta del torno convencional, solo cumple con el parámetro de la velocidad de avance, mientras que los otros dos parámetros difieren de la generalización. Esto debido a dispersiones y excepciones encontradas durante la experimentación.

3.2.3.5 Conicidad

Para comparar las conicidades obtenidas en el torneado convencional y en el CNC se tomarán como referencia los mismos parámetros considerados para evaluar la rugosidad, presentándose a continuación las siguientes tablas:

Tabla 3.7: Parámetros a imponer en el torno convencional y CNC para obtener la mejor conicidad (según experimentaciones realizadas). Fuente: Propia

Parámetros generalizados para conicidad	Tipo de torneado	
	Torneado convencional	Torneado CNC
Velocidad de avance	Alta	Baja
Velocidad de husillo	Baja	Media
Profundidad de corte	Media	Alta

Tabla 3.8: Conicidades máximas y mínimas encontradas en el torno convencional y CNC.
Fuente: Propia

Conicidades promedio	Tipo de torneado	
	Torneado convencional	Torneado CNC
Conicidad máxima [mm]	0,175	0,0625
Conicidad mínima [mm]	0,055	0,0025

En la tabla 3.7 se puede ver que no coincide ni un solo parámetro generalizado entre lo obtenido para el torneado convencional y para el CNC, lo cual es un indicativo de que las experimentaciones no fueron congruentes unas con otras, por lo cual la comparación se dificulta.

De igual forma, en la tabla 3.8 se puede ver que los valores de conicidad encontrados en el torno CNC son mucho menores que en el torno convencional, lo cual es un indicativo de que en el torno convencional no se estaban cilindrando las piezas de manera correcta, muy probablemente debido a las vibraciones constantes de la máquina o a imperfecciones en el automático del torno convencional debido al tiempo que ha tenido de uso.

Como las tablas 3.7 y 3.8 no brindan mucha información de la comparación entre los dos tornos, se planteará un nuevo dato correspondiente a la dispersión (desviación estándar) entre datos obtenidos tanto para el convencional como para el CNC para evaluar su comportamiento y así establecer una conclusión óptima.

La desviación entre las conicidades del torno convencional y del CNC son las siguientes:

- Desviación del torneado convencional: 0,0287
- Desviación del torneado CNC: 0,0126

El hecho de que la desviación del torneado CNC sea menor, implica que los datos son más consistentes (ceranos) entre sí, por lo cual, el torneado CNC tiene más credibilidad en cuanto a los datos obtenidos.

Finalmente, se presentarán a continuación las mejores probetas en términos de conicidad para ver si gracias a las desviaciones o excepciones de la generalización coinciden o no en algún parámetro:

- Mejor probeta en el torno convencional: V3F1A2-M

- Mejor probeta en el torno CNC: V2F3A1-C

Tal y como se esperaba, ninguna de las dos probetas coincidió en ninguno de los parámetros entre sí. Sin embargo, ambas probetas coincidieron en sus respectivos parámetros según la generalización observada en la tabla 3.7.

3.2.3.6 Redondez

De igual manera que en la rugosidad y en la conicidad, se plantean las siguientes tablas de análisis:

Tabla 3.9: Parámetros a imponer en el torno convencional y CNC para obtener la mejor redondez (según experimentaciones realizadas). Fuente: Propia

Parámetros generalizados para redondez	Tipo de torneado	
	Torneado convencional	Torneado CNC
Velocidad de avance	Baja	Baja
Velocidad de husillo	Alta	Alta
Profundidad de corte	Baja	Media

Tabla 3.10: Redondez máxima y mínima encontradas en el torno convencional y CNC. Fuente: Propia

Redondez promedio	Tipo de torneado	
	Torneado convencional	Torneado CNC
Redondez máxima [mm]	0,1933	0,067
Redondez mínima [mm]	0,0067	0,003

En la tabla 3.9 se puede ver que dos de los tres parámetros coinciden entre el torneado convencional y el CNC, esto es un buen indicativo de que los datos obtenidos son muy congruentes entre ambos procesos de maquinado, sin embargo, este parámetro faltante puede ser un condicionante para invalidar la comparación entre ambos.

Para desestimar o afirmar este condicionante se puede ver en la tabla 3.10 que los datos en el CNC son mucho menores que en el convencional y que tienen menos dispersión entre sí, lo que denota que los datos obtenidos en el CNC son mucho más reales que los encontrados en el convencional. Nuevamente, esto puede deberse al hecho de que el torno convencional experimenta muchas vibraciones

debido al tiempo de uso que posee, por lo cual los resultados obtenidos difieren más entre sí.

Esta dispersión y el posible condicionante puede ser desestimado sin ningún inconveniente debido a que el rango de redondez obtenido en el convencional es válido para realizar operaciones sin que se incumplan las tolerancias exigidas por cierta persona, por lo cual, la experimentación y la comparación es válida pero siempre notando que el CNC es más adecuado en todos los aspectos.

Finalmente, se presentan a continuación las mejores probetas en términos de redondez obtenidas en ambas máquinas:

- Mejor probeta en el torno convencional: V2F3A3-M
- Mejor probeta en el torno CNC: V1F2A2-C

En este caso se tiene una gran discrepancia, debido a que no coinciden ninguno de los parámetros entre la mejor probeta del torno convencional y del CNC cuando, según las generalizaciones, si debiesen. Esto se debe a que las mejores probetas no fueron justamente seleccionadas según la generalización planteada, sino que se seleccionaron en base a excepciones a la generalización debido a que ciertas mediciones pudieron arrojar mejores resultados no necesariamente comprendidos en las generalizaciones, principalmente por errores del operador.

3.2.3.7 *Probeta más adecuada en términos generales*

Para seleccionar la probeta más adecuada, se plantearán las siguientes tablas con las generalizaciones realizadas en cada uno de los 6 criterios a considerar y así definir los mejores parámetros a ser impuestos en cualquiera de las dos máquinas:

Tabla 3.11: Selección de la mejor probeta evaluando todos los criterios y parámetros posibles (Torno convencional). Fuente: Propia

Parámetros por imponer	Criterios por evaluar					
	Tiempo de maquinado	Amperaje	Error de diámetro	Rugosidad	Conicidad	Redondez
Velocidad de avance	Alta	Baja	----	Baja	Alta	Baja
Velocidad de husillo	----	Baja	----	Alta	Baja	Alta
Profundidad de corte	----	Baja	----	Alta	Media	Baja

En la tabla 3.11 se pueden observar todos los parámetros por imponer considerando todos los criterios a evaluar para maquinar una pieza con las mejores condiciones en general. Para poder seleccionar la mejor, cabe destacar que la rugosidad será predominante debido a que determina la calidad superficial de la pieza. Además, los parámetros de conicidad y redondez no son muy elevados como para influir de gran manera en la selección de un parámetro.

Habiendo dicho esto se determina que, para maquinar una pieza con buenas características generales se deben imponer los siguientes parámetros: Baja velocidad de avance, Alta velocidad de husillo, Alta profundidad de corte.

Bajo estas condiciones se estarían sacrificando principalmente los criterios de amperaje y tiempo de maquinado, pero manteniendo aun así los mejores parámetros de corte en general.

La probeta seleccionada según estos parámetros sería la V1F3A1-M que en esta experimentación se corresponde con los siguientes resultados:

Tabla 3.12: Resultados experimentales de la mejor probeta seleccionada bajo criterios generales para el torno convencional. Fuente: Propia

Amperaje [A]	19,3
Tiempo de maquinado [s]	20,85
Error de diámetro [%]	0,075
Rugosidad Ra [μm]	1,634
Conicidad [mm]	0,083
Redondez [mm]	0,007

Como se puede observar en la tabla 3.12, cuatro de los seis criterios están dentro de un rango muy aceptable para obtener las mejores condiciones de maquinado en general salvo el tiempo de maquinado que es muy largo a comparación del resto de probetas y el amperaje que igual es uno de los más altos de las experimentaciones.

Por otro lado, para el caso del torno CNC se tiene la siguiente tabla:

Tabla 3.13: Selección de la mejor probeta evaluando todos los criterios y parámetros posibles (Torno CNC). Fuente: Propia

Parámetros por imponer	Criterios por evaluar					
	Tiempo de maquinado	Amperaje	Error de diámetro	Rugosidad	Conicidad	Redondez
Velocidad de avance	Alta	Baja	----	Baja	Baja	Baja
Velocidad de husillo	----	Baja	----	Alta	Media	Alta
Profundidad de corte	----	Baja	----	Alta	Alta	Media

En base a esto, la mejor probeta en términos generales debería tener los siguientes parámetros: Baja velocidad de avance, Alta velocidad de husillo y Alta profundidad de corte.

Estos parámetros seleccionados fueron exactamente los mismos que arrojó el análisis del torno convencional, por lo cual los datos experimentales en general fueron muy congruentes entre sí. Dicho esto, la mejor probeta sería de igual forma la V1F3A1-C cuyos resultados experimentales fueron los siguientes:

Tabla 3.14: Resultados experimentales de la mejor probeta seleccionada bajo criterios generales para el torno CNC. Fuente: Propia

Amperaje [A]	12,4
Tiempo de maquinado [s]	20,08
Error de diámetro [%]	0,112
Rugosidad Ra [μm]	1,12
Conicidad [mm]	0,0125
Redondez [mm]	0,017

Finalmente, se puede ver en las tablas 3.12 y 3.14 que todos los criterios están muy cercanos entre sí, comparando la misma probeta maquinada, por lo cual se puede concluir que el torno convencional se encuentra todavía en condiciones óptimas para cilindrar piezas sin ningún inconveniente en cuanto a tolerancias o calidad superficial. Durante la experimentación pudieron haber existido ciertos comportamientos atípicos, pero se deben principalmente a errores del operador o por vibraciones menores en la máquina convencional, pero eso no fue limitante para encontrar la mejor combinación de parámetros en el cilindrado de piezas.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En este trabajo de integración curricular se lograron cumplir los objetivos específicos planteados, que tenían que ver con el cilindrado de 54 probetas (27 en torno convencional y 27 en torno CNC) variando los parámetros de corte tales como la velocidad de avance, velocidad de husillo y profundidad de pasada. Además, se lograron determinar criterios de comparación entre los parámetros evaluados de cada pieza que eran: amperaje, tiempo de maquinado, error de diámetro final, rugosidad, conicidad y redondez. Y según estos criterios se pudieron establecer generalizaciones para poder imponer parámetros adecuados de corte que permitan maquinar piezas con buenos acabados superficiales y tolerancias geométricas que estén dentro de los parámetros solicitados por cualquier persona.

Tanto en el torneado convencional como en el CNC se pudo ver que el amperaje siempre será mayor en tanto más exigente sea la combinación de parámetros de corte. De igual forma, se pudo ver en ambos casos que indistintamente de la velocidad de husillo y de la profundidad de corte, entre más alta sea la velocidad de avance, menor será el tiempo de maquinado.

Estos criterios de amperaje y tiempo de maquinado no fueron muy influyentes en la selección de parámetros adecuados para la fabricación de una probeta ya que siempre será más predominante el hecho de obtener una pieza con buen acabado superficial y buenas tolerancias geométricas ya que esto es lo que predomina en la industria.

En cuanto a los parámetros generalizados obtenidos para el torneado convencional y el CNC se pudo ver que para la rugosidad todos fueron coincidentes (tabla 3.5) lo que denota que los datos son muy congruentes entre sí (pequeñas desviaciones).

En la medición de la conicidad si existieron muchas variaciones tanto en el convencional como en el CNC, los datos tuvieron mucha dispersión y fue muy difícil de generalizar, esto principalmente debido a fallos en la toma de mediciones por parte del operador, vibraciones excesivas del torno convencional o inclusive, mala utilización del reloj comparador. Si bien es cierto, los datos no poseen altos estándares de error, pero si fueron los más complicados de analizar.

En el caso de la redondez, dos de los tres parámetros generalizados coincidieron entre el torneado convencional y el CNC lo cual es un buen indicativo de la mejora en cuanto a la utilización del reloj comparador y la toma de datos como tal.

Todas estas comparaciones y criterios generalizados dieron como resultado final que, para obtener una probeta con buena calidad superficial y tolerancias geométricas se deben imponer los siguientes parámetros: Baja velocidad de avance, Alta velocidad de husillo y Alta profundidad de corte, que para el caso de este trabajo de integración curricular en específico fueron logrados con Velocidad de husillo de 1500 RPM, Profundidad de corte de 1,5 mm y Velocidad de avance de 0,15 mm/r.

Las probetas experimentadas tanto en torno convencional como CNC arrojaron errores dimensionales promedio menores al 2% lo que significa que ambos tornos están trabajando de manera adecuada. Además, en la comparación final de parámetros (tablas 3.12 y 3.14) se pudo ver que los datos del convencional son muy parecidos a los datos del CNC y al no poseer mucha desviación se puede concluir que el torno convencional todavía se encuentra en condiciones óptimas para maquinar piezas de forma cilíndrica sin ningún inconveniente.

4.2 Recomendaciones

Si bien es cierto, gracias a este trabajo de integración curricular se ha logrado concluir con éxito, principalmente los parámetros de corte a imponer en una máquina ya sea convencional o CNC para poder lograr las mejores características en cuanto a acabado superficial y tolerancias geométricas, además del hecho de que el torno convencional todavía está en condiciones óptimas para operar y fabricar piezas de forma cilíndrica.

Sin embargo, la dispersión de datos en la conicidad y en menor cantidad en la redondez, los picos de error de diámetro encontrados en el CNC, las excepciones encontradas entre la generalización de parámetros y la probeta que en realidad fue la de mejores condiciones tienen mucho que ver con la condición del operador, errores humanos y de la máquina como tal.

Para futuras experimentaciones, se recomienda realizar un mantenimiento previo a la máquina convencional de modo que se puedan evitar las altas vibraciones encontradas en esta experimentación. Además, es factible trabajar con más datos de redondez y conicidad ya que de esta manera se pueden evitar los errores del operador al momento de realizar los promedios. Esto beneficiaría a la disminución en la desviación de la toma de datos lo cual permitiría un análisis más preciso.

Al ser un trabajo de integración curricular experimental, es de esperarse que siempre los errores humanos estén presentes, por ejemplo, en la toma del tiempo de maquinado (al utilizar el cronómetro), del amperaje (al momento de visualizar el máximo valor marcado en la pinza amperimétrica), del error de diámetro (al momento de configurar los parámetros en cualquiera de los tornos), de la rugosidad, redondez y conicidad (al operar el reloj comparador o el rugosímetro de la forma incorrecta o con poca precisión).

Es por esto que se recomienda siempre trabajar con varias mediciones en cada uno de los criterios, de modo que los errores humanos se puedan reducir al máximo permitiendo que experimentaciones futuras sean mucho más precisas, exactas y válidas para industrias o personas que así lo requieran.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carvajal, L. (2006). *Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado* (28 ed.). Santiago de Cali: U.S.C.
- CECAMASA. (2023). *Torno universal TORRENT*. Recuperado el 07 de Junio de 2023, de <https://cecamasa.com/>
- De Ingenierías. (2019). *Velocidad de corte avance y parámetros de torneado*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2022, de <https://deingenierias.com/torno/velocidad-de-corte-avance-y-parametros-de-torneado/>
- De Máquinas y Herramientas. (2014). *Herramientas de Corte para Torno*. Recuperado el 15 de Junio de 2023, de Mecanizado: <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/herramientas-de-corte-para-torno-tipos-y-usos>
- DIPAC MANTA. (2023). *Catálogo Ejes - Acero de transmisión*. Recuperado el 03 de Junio de 2023, de AISI 1018: <https://dipacmanta.com/producto/ejes/aisi-1018-transmision/eje-aisi-1018-transmision/>
- González, I. (2008). *Diseño de experimentos y su aplicación en la industria*. (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo) Recuperado el 03 de Junio de 2023, de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/sahagun/n1/e1.html>
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna* (Tercera ed.). México D.F.: McGraw-Hill. Recuperado el 15 de Junio de 2023
- Herriko, E. (2019). *MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA - TORNEADO*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2022, de Universidad del País Vasco: https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/719_ca
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología* (Quinta ed.). México: Pearson Education. Recuperado el 30 de Diciembre de 2022
- Keyence. (2023). *Fundamentos de medición*. Recuperado el 15 de Junio de 2023, de Calibradores Vernier/Calibradores de Altura (Calibradores de Profundidad): <https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/measurement-selection/type/nonius.jsp>
- Krulikowski, A. (2000). *Dimensiones y tolerancias geométricas (ASME Y14.5M-1994)* (Segunda ed.). México: CAS. Recuperado el 15 de Junio de 2023

- López, T. (2022). *Parámetros de corte del torneado*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/f8aguerolopeztornouhyi/7-parametros-de-corte-del-torneado>
- Mecafenix. (2023). *Que es un reloj comparador y para que sirve*. Recuperado el 15 de Junio de 2023, de La enciclopedia de la ingeniería: <https://www.ingmecafenix.com/medicion/comparador/>
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (Segunda ed.). México D.F.: Limusa, S.A. Recuperado el 03 de Junio de 2023
- ROMI. (2023). *TORNOS CNC*. Recuperado el 03 de Junio de 2023, de ROMI C 420: <https://www.romi.com/es/productos/tornos-cnc/>
- SANDVICK Coromant. (2023). *CNMG 12 04 08-PM 4325*. Recuperado el 03 de Junio de 2023, de Especificaciones técnicas: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/product-details?c=CNMG%2012%2004%2008-PM%20%20%20%204325>
- Sandvik Coromant. (2023). *Formación manual*. Recuperado el 15 de Junio de 2023, de Tecnología de mecanizado de metal: <https://www.sandvik.coromant.com/>
- Sandvik Coromant. (2023). *Manual de Torneado*. Recuperado el 15 de Junio de 2023, de Torneado General - Tronzado y ranurado - Roscado: <https://www.sandvik.coromant.com/>

ANEXOS

ANEXO I: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CONVENCIONAL (Página 1/5)

TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CONVENCIONAL (TORRENT T-42)

Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad Ra [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
1	1500	0,48	1,5	V1F1A1-M	5,109	5,154	13,8	25,2	22,2	22,5	22,45	22,5083333	0,05	0,21	19,9
					5,75	5,041				22,4	22,6		0,08	0,06	
					6,028	5,622				22,6	22,5		0,14	0,09	
					6,146	5,781				22,5	22,5166667		0,09	0,19	
2	1200	0,48	1,5	V2F1A1-M	4,24	5,715	8,97	25,1	22,1	22,2	22,2	22,2166667	0,19	0,17	17
					5,098	5,855				22,1	22,2		0,16	0,12	
					5,078	5,802				22,3	22,3		0,04	0,08	
					4,827	5,723				22,2	22,2333333		0,13	0,1	
3	950	0,48	1,5	V3F1A1-M	5,661	4,615	9,59	25,1	22,1	21,65	21,75	21,6583333	0,03	0,16	13,8
					5,738	5,328				21,55	21,7		0,05	0,12	
					5,206	4,801				21,5	21,8		0,06	0,16	
					5,736	4,721				21,5666667	21,75		0,04666667	0,14	
4	1500	0,3	1,5	V1F2A1-M	3,885	3,815	12,17	25,2	22,2	21,6	21,9	21,8333333	0,02	0,07	17,4
					3,834	3,867				21,8	21,9		0,01	0,1	
					3,79	3,821				21,8	22		0,01	0,07	
					3,972	3,825				21,7333333	21,9333333		0,01333333	0,08	
5	1500	0,15	1,5	V1F3A1-M	1,728	1,557	20,85	25,1	22,1	22	22,1	22,0833333	0,01	0,09	19,3
					1,662	1,586				22	22,2		0,01	0,08	
					1,718	1,628				22	22,2		0	0,08	
					1,656	1,536				22	22,1666667		0,00666667	0,08	

ANEXO I: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CONVENCIONAL (Página 2/5)

TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CONVENCIONAL (TORRENT T-42)

Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad Ra [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
6	1200	0,3	1,5	V2F2A1-M	3,648	3,822	14,81	25,2	22,2	21,8	21,8	21,8666667	0,02	0,07	13,6
					3,784	3,779				21,9	21,8		0,04	0,08	
					3,707	3,838				21,9	22		0,1	0,07	
					3,779	3,881				21,8666667	21,8666667		0,053333333	0,08	
7	950	0,3	1,5	V3F2A1-M	3,057	3,9	17,11	25,2	22,2	21,7	21,7	21,7166667	0,02	0,17	12,6
					2,742	3,936				21,6	21,8		0,08	0,14	
					3,23	3,964				21,8	21,7		0,48	0,15	
					3,469	3,905				21,7	21,7333333		0,193333333	0,16	
8	1200	0,15	1,5	V2F3A1-M	1,46	1,525	24,72	25,3	22,3	21,9	21,9	21,8833333	0,01	0,08	13,8
					1,662	1,533				21,8	22		0,01	0,08	
					1,44	1,464				21,8	21,9		0,02	0,09	
					1,39	1,54				21,8333333	21,9333333		0,013333333	0,09	
9	950	0,15	1,5	V3F3A1-M	1,396	1,531	28,8	25,3	22,3	21,9	22	21,9666667	0,01	0,09	9,9
					1,493	1,485				21,9	22,1		0	0,08	
					1,476	1,55				21,9	22		0,01	0,09	
					1,472	1,508				21,9	22,0333333		0,00666667	0,08	
10	1500	0,48	1	V1F1A2-M	5,775	6,054	8,25	25,1	23,1	23,2	23,2	23,25	0,02	0,08	19,1
					5,731	5,972				23,2	23,2		0,01	0,08	
					5,586	6,147				23,4	23,3		0,03	0,08	
					5,893	5,988				23,2666667	23,2333333		0,02	0,07	
11	1200	0,48	1	V2F1A2-M	6,229	6,032	8,75	25,1	23,1	23,05	23,2	23,1166667	0,01	0,1	15,7
					6,054	6,053				23	23,2		0,01	0,05	
					5,963	6,289				23,15	23,1		0,05	0,06	
					5,922	6,112				23,0666667	23,1666667		0,023333333	0,08	

ANEXO I: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CONVENCIONAL (Página 3/5)

TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CONVENCIONAL (TORRENT T-42)

Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad Ra [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
12	950	0,48	1	V3F1A2-M	5,882	6,246	9,1	25,2	23,2	23,25	23,3	23,25	0,02	0,05	13,6
					5,685	6,21				23,2	23,25		0,03	0,05	
					5,917	6,237				23,2	23,3		0,06	0,07	
					6,002	6,199				23,2166667	23,2833333		0,03666667	0,05	
13	1500	0,3	1	V1F2A2-M	4,016	3,973	13,2	25,1	23,1	22,7	23	22,85	0,01	0,09	16,6
					4,082	3,997				22,7	23		0,01	0,1	
					3,898	3,885				22,8	22,9		0,02	0,08	
					3,838	3,858				22,7333333	22,9666667		0,01333333	0,09	
14	1500	0,15	1	V1F3A2-M	1,604	1,7	20,17	25,3	23,3	22,9	22,9	22,95	0	0,08	12,3
					1,581	1,739				23	22,9		0,01	0,08	
					1,65	1,699				23	23		0,01	0,07	
					1,586	1,749				22,9666667	22,9333333		0,00666667	0,09	
15	1200	0,3	1	V2F2A2-M	3,858	4,119	12,42	25,1	23,1	22,7	23,05	22,8583333	0,01	0,07	13,2
					3,959	4,014				22,7	22,9		0,02	0,09	
					4,105	4,072				22,8	23		0,01	0,1	
					4,05	4,025				22,7333333	22,9833333		0,01333333	0,07	
16	950	0,3	1	V3F2A2-M	3,85	4,124	13,5	25,1	23,1	23	23,1	23,05	0,01	0,08	10,8
					4,048	4,063				23	23,1		0,02	0,05	
					4,021	4,023				22,9	23,2		0,02	0,07	
					4,089	4,028				22,9666667	23,1333333		0,01666667	0,06	
17	1200	0,15	1	V2F3A2-M	1,534	1,611	24,67	25,2	23,2	23	23,1	23,0166667	0,01	0,08	10,2
					1,614	1,645				23	23		0,01	0,08	
					1,451	1,549				22,9	23,1		0,01	0,07	
					1,515	1,567				22,9666667	23,0666667		0,01	0,08	

ANEXO I: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CONVENCIONAL (Página 4/5)

TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CONVENCIONAL (TORRENT T-42)

Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad Ra [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
18	950	0,15	1	V3F3A2-M	1,411	1,328	30,45	25,1	23,1	22,9	22,9	22,95	0,02	0,06	10
					1,515	1,227				22,9	22,9		0,01	0,1	
					1,393	1,345				23,1	23		0,01	0,11	
					1,53	1,351				22,9666667	22,9333333		0,01333333	0,09	
19	1500	0,48	0,5	V1F1A3-M	5,983	6,108	8,5	25,1	24,1	24,1	24,3	24,2416667	0,02	0,09	16,7
					5,938	6,091				24,2	24,4		0,01	0,09	
					6,173	6,198				24,15	24,3		0,05	0,07	
					5,823	6,197				24,15	24,3333333		0,02666667	0,07	
20	1200	0,48	0,5	V2F1A3-M	5,903	6,318	10,05	25,1	24,1	24,1	24,2	24,1333333	0,02	0,07	9,6
					6,219	6,376				24,1	24,2		0,02	0,08	
					6,054	6,141				24,05	24,15		0,01	0,08	
					5,81	6,285				24,0833333	24,1833333		0,01666667	0,08	
21	950	0,48	0,5	V3F1A3-M	5,834	6,129	9,57	25,2	24,2	24	24,15	24,0916667	0,01	0,09	11,6
					5,951	6,201				24,05	24,2		0,03	0,08	
					6,009	5,988				24	24,15		0,02	0,09	
					5,82	6,133				24,0166667	24,1666667		0,02	0,09	
22	1500	0,3	0,5	V1F2A3-M	3,667	3,982	12,5	25,2	24,2	24,05	24,2	24,1083333	0,02	0,09	14,3
					3,889	3,906				24	24,2		0,01	0,09	
					3,891	3,957				24,05	24,15		0,01	0,1	
					3,848	3,977				24,0333333	24,1833333		0,01333333	0,09	
23	1500	0,15	0,5	V1F3A3-M	1,817	1,538	21,21	25,2	24,2	24,8	24,6	24,7666667	0,13	0,17	10,3
					2,014	1,763				24,8	24,8		0,13	0,17	
					1,683	1,78				24,7	24,9		0,12	0,18	
					1,727	1,563				24,7666667	24,7666667		0,12666667	0,18	

ANEXO I: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CONVENCIONAL (Página 5/5)

TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CONVENCIONAL (TORRENT T-42)

Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad Ra [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
24	1200	0,3	0,5	V2F2A3-M	3,78	3,989	15,74	25,2	24,2	23,9	24	23,9916667	0,01	0,09	14,9
					3,84	3,897				23,9	24,05		0,01	0,08	
					3,911	4,078				24	24,1		0,01	0,08	
					3,607	4,074				23,9333333	24,05		0,01	0,08	
25	950	0,3	0,5	V3F2A3-M	3,736	3,679	15,18	25,3	24,3	24	24,1	24,075	0,01	0,09	9,9
					3,673	4,107				24	24,15		0,01	0,09	
					3,511	4,137				24,05	24,15		0,04	0,07	
					4,143	4,255				24,0166667	24,1333333		0,02	0,08	
26	1200	0,15	0,5	V2F3A3-M	1,986	1,91	24,2	25,2	24,2	23,95	24	24,0333333	0,01	0,12	9,3
					1,933	1,964				24	24,1		0	0,12	
					2,166	1,797				24,05	24,1		0,01	0,11	
					2,106	1,853				24	24,0666667		0,00666667	0,13	
27	950	0,15	0,5	V3F3A3-M	2,181	2,088	27,49	25,1	24,1	23,9	24	23,9	0,02	0,1	9,2
					2,205	2,179				23,9	23,9		0,02	0,1	
					2,491	2,109				23,8	23,9		0,01	0,1	
					2,594	1,967				23,8666667	23,9333333		0,01666667	0,09	

ANEXO II: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CNC (Página 1/5)

TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CNC (ROMI C420)															
Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
1	1500	0,48	1,5	V1F1A1-C	3.865	3,98	5,92	25,24	22,24	22,05	22,01	22,035	0,02	0,03	18,4
					3.785	3.885				22,04	22,02		0,02	0,04	
					3.819	3.959				22,07	22,02		0,04	0,03	
					3.984	4.018				22,05333333	22,01666667		0,02666667	0,02	
2	1200	0,48	1,5	V2F1A1-C	3.424	4.314	7,8	25,02	22,02	21,69	21,74	21,7316667	0,12	0,05	17,4
					3.396	3,75				21,72	21,73		0,03	0,07	
					3.748	4.155				21,83	21,68		0,05	0,05	
					3.855	3.904				21,74666667	21,71666667		0,06666667	0,08	
3	950	0,48	1,5	V3F1A1-C	3.398	4.006	9,83	25,02	22,02	22,01	22,8	22,19	0,03	0,03	15,3
					3.631	4,11				22,08	22,1		0,05	0,04	
					3.732	4,07				22,12	22,03		0,05	0,03	
					3.715	4,432				22,07	22,31		0,04333333	0,05	
4	1500	0,3	1,5	V1F2A1-C	2,5	2.414	9,77	25,02	22,02	22	22,01	22,02333333	0,01	0,01	15,7
					2,55	2.349				22,02	22		0,01	0,01	
					2.571	2.347				22,12	21,99		0,02	0	
					2.461	2.381				22,04666667	22		0,01333333	0,01	
5	1500	0,15	1,5	V1F3A1-C	1.264	1.052	20,08	25,29	22,29	22,45	22,26	22,315	0,02	0,01	12,4
					1,11	1.155				22,26	22,28		0,01	0,01	
					1.092	1.081				22,38	22,26		0,02	0,01	
					1.014	1.184				22,36333333	22,26666667		0,01666667	0,02	
6	1200	0,3	1,5	V2F2A1-C	2.339	2.432	12,1	25,02	22,02	21,89	21,91	21,89833333	0,02	0,01	14,9
					2.343	2.258				21,9	21,89		0,01	0,01	
					2.335	2.288				21,92	21,88		0,01	0	
					2.387	2.357				21,90333333	21,89333333		0,01333333	0,01	

ANEXO II: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CNC (Página 2/5)

TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CNC (ROMI C420) - Continuación

Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
7	950	0,3	1,5	V3F2A1-C	2.669	2.444	15,05	24,96	21,96	21,84	21,85	21,8716667	0,01	0,01	13,5
					2.758	2.368				21,93	21,83		0,02	0,01	
					2,44	2.626				21,94	21,84		0,01	0	
					2.666	2.667				21,9033333	21,84		0,01333333	0,01	
8	1200	0,15	1,5	V2F3A1-C	1.257	1.346	23,77	24,96	21,96	21,96	21,93	21,94	0,01	0	12,4
					1.253	1,41				21,93	21,93		0,01	0	
					1,3	1.433				21,94	21,95		0,01	0,01	
					1.245	1.424				21,9433333	21,9366667		0,01	0	
9	950	0,15	1,5	V3F3A1-C	1.208	0,929	29,92	25,3	22,3	22,3	22,27	22,2966667	0,01	0,01	11,2
					1.225	1.045				22,27	22,27		0,01	0,01	
					1.311	0,878				22,34	22,33		0,02	0,01	
					1.101	0,894				22,3033333	22,29		0,01333333	0,01	
10	1500	0,48	1	V1F1A2-C	3.502	3.721	6,16	25,3	23,3	23,33	23,34	23,3483333	0,01	0,01	15,6
					3,45	3.586				23,32	23,37		0,01	0,01	
					3.535	3.619				23,4	23,33		0,01	0,02	
					3.354	3.663				23,35	23,3466667		0,01	0,01	
11	1200	0,48	1	V2F1A2-C	3.734	3.615	7,86	24,9	22,9	22,94	22,97	22,9816667	0,03	0,04	14,6
					3.495	3.789				22,98	22,94		0,02	0,03	
					3.616	3.684				23,12	22,94		0,03	0,03	
					3.689	3.828				23,0133333	22,95		0,0266667	0,04	
12	950	0,48	1	V3F1A2-C	3.431	3.734	9,69	25,3	23,3	23,33	23,38	23,3583333	0,01	0,03	13,1
					3.483	3,499				23,37	23,33		0,01	0,01	
					3.688	3,796				23,41	23,33		0,04	0,02	
					3.409	3,734				23,37	23,3466667		0,02	0,03	

ANEXO II: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CNC (Página 3/5)

TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CNC (ROMI C420) - Continuación

Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
13	1500	0,3	1	V1F2A2-C	2,244	2,231	9,56	24,95	22,95	22,95	22,96	22,965	0	0,01	13,9
					2,217	2,148				22,98	22,99		0	0,02	
					2,176	2,115				22,97	22,94		0,01	0,01	
					2,096	2,153				22,9666667	22,96333333		0,00333333	0,01	
14	1500	0,15	1	V1F3A2-C	1,217	1,649	19,13	24,96	22,96	22,95	22,96	22,9583333	0,01	0	12
					1,222	1,635				22,98	22,95		0	0	
					1,252	1,637				22,95	22,96		0,01	0,01	
					1,26	1,683				22,96	22,95666667		0,00666667	0,01	
15	1200	0,3	1	V2F2A2-C	2,472	2,316	12,45	25,34	23,34	23,42	2,44	19,9333333	0	0,01	11,9
					2,637	2,229				23,45	23,43		0,01	0,01	
					2,623	2,324				23,44	23,42		0,01	0,01	
					2,913	2,307				23,4366667	16,43		0,00666667	0,01	
16	950	0,3	1	V3F2A2-C	2,41	2,9	15,15	25,3	23,3	23,41	23,41	23,4166667	0,01	0,01	12,3
					2,315	2,545				23,42	23,43		0,02	0,01	
					2,186	2,715				23,41	23,42		0,02	0,01	
					2,364	2,899				23,4133333	23,42		0,01666667	0,01	
17	1200	0,15	1	V2F3A2-C	1,747	1,601	24,3	24,95	22,95	23,04	23,04	23,045	0,01	0,01	11,2
					2,089	1,849				23,06	23,05		0,01	0	
					2,027	1,582				23,04	23,04		0,01	0	
					1,724	1,747				23,0466667	23,04333333		0,01	0,01	
18	950	0,15	1	V3F3A2-C	3,449	3,166	29,17	24,95	22,95	23,04	23,06	23,0466667	0,01	0,01	10,7
					2,581	2,558				23,06	23,02		0,01	0,01	
					3,272	3,274				23,05	23,05		0,02	0,02	
					3,15	2,305				23,05	23,04333333		0,01333333	0,01	

ANEXO II: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CNC (Página 4/5)

TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CNC (ROMI C420) - Continuación


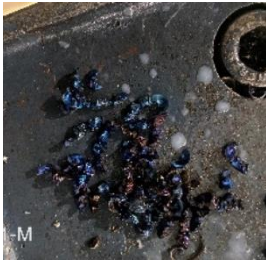
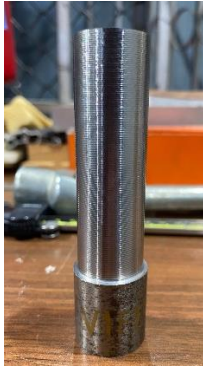






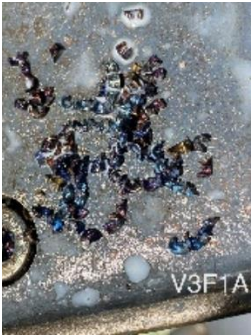


Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
19	1500	0,48	0,5	V1F1A3-C	3,495	3,705	6,35	24,96	23,96	24,2	24,23	24,145	0,01	0,01	12,5
					3,502	3,609				24,11	24,11		0,01	0,01	
					3,492	3,592				24,11	24,11		0	0,01	
					3,592	3,686				24,14	24,15		0,00666667	0,02	
20	1200	0,48	0,5	V2F1A3-C	4,141	4,652	7,61	25,3	24,3	24,44	24,45	24,4466667	0,01	0,01	11,7
					4,281	4,415				24,44	24,45		0,02	0,01	
					3,811	4,278				24,43	24,47		0,03	0,02	
					3,676	3,719				24,4366667	24,4566667		0,02	0,01	
21	950	0,48	0,5	V3F1A3-C	4,172	4,352	9,44	25,3	24,3	24,3	24,3	24,3	0,03	0,02	11,3
					4,017	4,551				24,29	24,29		0,03	0,02	
					4,584	4,051				24,32	24,3		0,01	0,03	
					5,088	4,928				24,30333333	24,29666667		0,02333333	0,01	
22	1500	0,3	0,5	V1F2A3-C	2,756	2,671	9,6	24,96	23,96	23,94	23,95	23,95	0	0,01	11,8
					2,677	2,775				23,94	23,99		0,01	0,01	
					2,779	2,68				23,94	23,94		0	0,02	
					2,617	2,69				23,94	23,96		0,00333333	0,01	
23	1500	0,15	0,5	V1F3A3-C	3,113	3,783	19,17	25,3	24,3	24,24	24,21	24,22833333	0,01	0,01	10,5
					2,919	3,317				24,26	24,2		0,01	0,01	
					3,111	3,658				24,24	24,22		0,01	0,02	
					2,892	3,445				24,2466667	24,21		0,01	0,02	
24	1200	0,3	0,5	V2F2A3-C	3,929	3,901	12,37	24,95	23,95	23,91	23,93	23,9166667	0,01	0,02	11,3
					4,293	3,995				23,9	23,93		0,01	0,02	
					3,952	4,49				23,92	23,91		0,01	0,01	
					4,073	4,362				23,91	23,92333333		0,01	0,02	

ANEXO II: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO POR TORNEADO CNC (Página 5/5)













TABLA: EXPERIMENTACIÓN DE CILINDRADO EN TORNO CNC (ROMI C420) - Continuación

Nº	Vc [rev/min]	fn [mm/r]	ap [mm]	Codificación	Rugosidad [um]		Tiempo de maquinado [s]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro esperado [mm]	Diámetro final izq [mm]	Diámetro final der [mm]	Diámetro promedio [mm]	Redondez [mm]	Conicidad [mm]	Amperaje [A]
25	950	0,3	0,5	V3F2A3-C	5,038	5,452	14,53	24,96	23,96	23,94	23,93	23,95	0,01	0,01	10,8
					5,627	5,103				23,96	23,96		0,01	0,02	
					5,246	5,631				23,97	23,94		0,02	0,01	
					5,298	5,549				23,9566667	23,94333333		0,01333333	0,02	
26	1200	0,15	0,5	V2F3A3-C	3,936	4,291	24,07	24,95	23,95	23,89	23,88	23,885	0,01	0,03	10,4
					3,627	4,011				23,89	23,89		0,01	0,02	
					3,924	4,504				23,88	23,88		0,02	0,02	
					4,04	3,84				23,8866667	23,88333333		0,01333333	0,02	
27	950	0,15	0,5	V3F3A3-C	3,796	4,708	30,28	24,95	23,95	23,87	23,87	20,5096667	0,01	0,01	9,9
					4,505	4,649				23,88	23,89		0,01	0,02	
					4,342	4,684				3,658	23,89		0,02	0,02	
					4,603	4,714				17,136	23,88333333		0,01333333	0,02	













ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS (Página 1/9)

Comparación visual de probetas y virutas						
N°	Torneado convencional			Torneado CNC		
	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada
1	V1F1A1-M			V1F1A1-C		
2	V2F1A1-M			V2F1A1-C		
3	V3F1A1-M			V3F1A1-C		


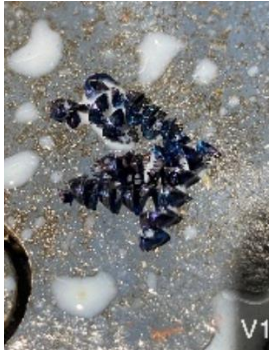










ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS (Página 2/9)

Comparación visual de probetas y virutas - Continuación						
N°	Torneado convencional			Torneado CNC		
	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada
4	V1F2A1-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F2A1-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F2A1-M</p>	V1F2A1-C		
5	V1F3A1-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F3A1-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1-M</p>	V1F3A1-C	 <p style="text-align: center; font-size: small;">F3A</p>	
6	V2F2A1-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V2F2A1-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V2F2A1-M</p>	V2F2A1-C		 <p style="text-align: center; font-size: small;">V2F2A1-C</p>













ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS (Página 3/9)

Comparación visual de probetas y virutas - Continuación						
N°	Torneado convencional			Torneado CNC		
	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada
7	V3F2A1-M			V3F2A1-C		
8	V2F3A1-M			V2F3A1-C		
9	V3F3A1-M			V3F3A1-C		













ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS (Página 4/9)

Comparación visual de probetas y virutas - Continuación						
N°	Torneado convencional			Torneado CNC		
	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada
10	V1F1A2-M			V1F1A2-C		
11	V2F1A2-M			V2F1A2-C		
12	V3F1A2-M			V3F1A2-C		













ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS (Página 5/9)

Comparación visual de probetas y virutas - Continuación						
N°	Torneado convencional			Torneado CNC		
	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada
13	V1F2A2-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F2A2-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F2A2-M</p>	V1F2A2-C	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F2A2-C</p>	
14	V1F3A2-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F3A2-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F3A2-M</p>	V1F3A2-C	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F3A2-C</p>	
15	V2F2A2-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V2F2A2-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V2F2A2-M</p>	V2F2A2-C	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V2F2A2-C</p>	













ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS (Página 6/9)

Comparación visual de probetas y virutas - Continuación						
N°	Torneado convencional			Torneado CNC		
	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada
16	V3F2A2-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V3F2A2-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">-M</p>	V3F2A2-C		
17	V2F3A2-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V2F3A2-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V2F3A2-M</p>	V2F3A2-C		
18	V3F3A2-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">F3A2-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">2-M</p>	V3F3A2-C		





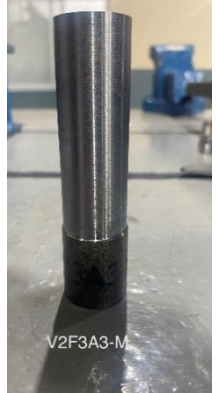





ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS (Página 7/9)

Comparación visual de probetas y virutas - Continuación						
N°	Torneado convencional			Torneado CNC		
	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada
19	V1F1A3-M			V1F1A3-C		
20	V2F1A3-M			V2F1A3-C		
21	V3F1A3-M			V3F1A3-C		

ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS (Página 8/9)

Comparación visual de probetas y virutas - Continuación						
N°	Torneado convencional			Torneado CNC		
	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada
22	V1F2A3-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F2A3-M</p>		V1F2A3-C		
23	V1F3A3-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V1F3A3-M</p>	 <p style="text-align: center; font-size: small;">3-M</p>	V1F3A3-C		
24	V2F2A3-M	 <p style="text-align: center; font-size: small;">V2F2A3-M</p>		V2F2A3-C		

ANEXO III: COMPARACIÓN DE VIRUTAS (Página 9/9)

Comparación visual de probetas y virutas - Continuación						
N°	Torneado convencional			Torneado CNC		
	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada	Codificación	Probeta terminada	Viruta encontrada
25	V3F2A3-M			V3F2A3-C		
26	V2F3A3-M			V2F3A3-C		
27	V3F3A3-M			V3F3A3-C	