

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MECANIZADO EN EL PROCESO DE TALADRADO EN EL CENTRO DE MECANIZADO CNC BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE LUBRICACIÓN

COMPONENTE:

MECANIZADO SIN LUBRICACIÓN

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

JORGE DANIEL VITERI TAPIA

jorge.viteri@epn.edu.ec

DIRECTOR: CESAR RICARDO AYABACA SARRIA

cesar.ayabaca@epn.edu.ec

Quito, febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Jorge Daniel Viteri Tapia 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.

Jorge Daniel Viteri Tapia

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Jorge Daniel Viteri Tapia, 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.

Jorge Daniel Viteri Tapia

Ing. César Ricardo Ayabaca Sarria PhD.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios.

A mis padres Jorge y Valeria por su apoyo incondicional y ser mis héroes.

A mi hermana Estefanía por ser mi ejemplo a seguir.

A mis tíos Oscar y Rocío que me han ayudado cuando más los he necesitado.

A mi primo Josue por ser mi compañero de risas y momentos magníficos.

A mi novia Amanda por darme toda su paciencia y amor.

A mis abuelos difuntos Lucas, Aydee y Gonzalo por haberme dado unos grandes padres.

Y sobre todo dedico este trabajo a la mujer más maravillosa cariñosa y risueña que pude haber conocido en mi vida, a mi mamita Lolita quien me cuidó y educó con todo el amor que pudo.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme fortaleza, paciencia y constancia en mi vida.

A mi mamita Lolita que desde el cielo me sigue cuidando en cada paso que doy, le agradezco por ser mi impulso para terminar mi carrera, porque a pesar de no estar físicamente me sigue enviando sus bendiciones.

A mi padre Jorge y mi madre Valeria quienes a pesar de los malos momentos nunca hicieron que falte nada en el hogar, por inculcarme valores y responsabilidades, por ser tan pacientes y comprensivos, por nunca dejar de apoyarme.

A mi hermana Estefanía, por su paciencia, por ayudarme en todo lo que he necesitado, por todos esos momentos donde con sus palabras me supo calmar y hacerme sentir mejor, por ser la mejor hermana.

A mis tíos Oscar y Rocío, por brindarme su cariño y ayudarme con sus consejos, por abrirme la puerta de su hogar y permitirme formar parte.

A mi primo Josue por todas las tardes y noches de risas, por los buenos momentos que hemos pasado, por ser mi segundo hermano.

A mi novia Amanda por brindarme su amor, su paciencia y su cariño; por apoyarme en las decisiones que he tomado, por brindarme consejos e impulsarme a ser una mejor persona.

A mi tío Oswaldo por haberme dado grandes momentos de risas y figureteo.

Al Ing. Cesar Ayabaca, por permitirme desarrollar este trabajo junto a él, brindándome consejos para desarrollarlo y brindarme su ayuda.

Al Ing. Javier Valverde quien me brindo directrices y consejos para culminar con el desarrollo de este trabajo, al igual que todo el equipo del laboratorio de máquinas y herramientas, Luchito y Diego por darse tiempo de compartir sus conocimientos.

A mis amigos Andrés, Zach, Ramses, Emmet, Jota, Gus, Andre, May, Sam, Joe, Luis, Jumbo, Jeremy, Esleyder, Elias, Teo, Samir, Fernando, Elmer, Luchito por darme tantos momentos de risa, por hacer que la universidad sea la mejor etapa en mi vida.

A todos quienes fueron mis profesores en algún momento por darme el conocimiento necesario para ser un buen profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	1
1.4 Marco teórico	2
2 METODOLOGÍA.....	12
2.1 Proceso de Experimentación	12
2.2 Determinación de material	12
2.3 Potencia mínima requerida y selección de la máquina-herramienta.....	15
2.4 Selección de la broca.....	18
2.5 Pruebas iniciales.....	19
2.6 Diseño de experimentación.....	23
2.7 Código de programación.....	25
2.8 Codificación de las probetas.....	27
2.9 Mecanizado-Taladrado	28
2.10 Medición de rugosidad.....	30
2.11 Medición de diámetros en las perforaciones.....	31
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
3.1 Resultados	32
3.2 Conclusiones	44
3.3 Recomendaciones	45
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
5 ANEXOS.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Fresadora CNC ROMI D600	2
Figura 1.2 Torno ROMI C 680.....	3
Figura 1.3 Calidades usuales en procesos de mecanizado.....	7
Figura 1.4 Valor de la posición de la tolerancia de agujeros.	8
Figura 1.5 Tabla de calidades en tolerancias ISO en micras.....	9
Figura 1.6 Rugosímetro y grafica de rugosidad en una superficie.....	10
Figura 1.7 Clasificación de rugosidades en función de Ra.	11
Figura 1.8 Aplicaciones en función de las rugosidades Ra.	11
Figura 2.1 Flujograma de procesos a realizar en la experimentación.....	12
Figura 2.2 Dimensionamiento de las probetas mediante Inventor.	13
Figura 2.3 Composición química acero AISI 4140.	14
Figura 2.4 Centro de mecanizado VIWA, laboratorio de máquinas y herramientas EPN..	17
Figura 2.5 Controlador Centroid de centro de mecanizado VIWA.	17
Figura 2.6 Herramienta de sujeción en conjunto con la broca.	18
Figura 2.7 Broca Izar 12.5 [mm] HSSE 5%Co.....	19
Figura 2.8 Broca Izar HSSCo 12.5 [mm] de fabricación española (nueva).....	19
Figura 2.9 Probetas seleccionadas para la prueba inicial.	21
Figura 2.10 Prueba inicial con parámetros brindados por el fabricante.	22
Figura 2.11 Controlador detenido al momento de bloquearse la herramienta.	22
Figura 2.12 Parámetros del ciclo a realizar con Peck drilling y extracción del código G...26	
Figura 2.13 Código G obtenida del CAM, a la par de su simulación.....	26
Figura 2.14 Codificación de las probetas para su identificación.	28
Figura 2.15 Proceso de mecanizado de las probetas a través de taladrado.	30
Figura 2.16 Medición de una probeta con el rugosímetro Mitutoyo.	31
Figura 2.17 Medición de diámetro en las perforaciones de las probetas.	32
Figura 3.1 Tiempo de mecanizado vs velocidad de avance en la primera repetición.	34
Figura 3.2 Tiempo de mecanizado vs velocidad de avance en la segunda repetición.....	34
Figura 3.3 Probetas con menor tiempo de mecanizado VAAA1 (izq.) y VAAA2 (der.).....	35
Figura 3.4 Diámetros internos con el factor de afilado en la broca y sin afilado previo.....	36
Figura 3.5 Diámetros en los agujeros y su error relativo.	37
Figura 3.6 Probetas con menor y mayor error relativo en su diametro, VMAA1 (izq) y VAAM1 (der).....	37
Figura 3.7 Probeta con tolerancia H7, VMAA1.....	38
Figura 3.8 Diagrama de Pareto de los factores para su análisis	39
Figura 3.9 Rugosidad vs velocidad de corte en la primera repetición.....	40

Figura 3.10 Rugosidad vs velocidad de corte para la segunda repetición.	41
Figura 3.11 Valores de rugosidad por cada una de las probetas.....	42
Figura 3.12 Probeta VMAA2 con peor acabado superficial.	42
Figura 3.13 Probeta VAAA1 con mejor acabado superficial.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tipos de brocas y sus características.....	4
Tabla 2.1 Parámetros a evaluar en la experimentación.	23
Tabla 2.2 Resumen de diseño de experimentación.	24
Tabla 2.3 Tabla de diseño y distribución de experimentos.....	24
Tabla 2.4 Codificación de las probetas.	27
Tabla 2.5 Velocidad de avance obtenida para la experimentación.....	29
Tabla 3.1 Tabla de valores resumidos obtenidos tras la experimentación.....	33
Tabla 3.2 Variación de rugosidades entre la primera y segunda repetición.....	43

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Velocidad de corte.....	5
Ecuación 1.2 Velocidad de avance	5
Ecuación 1.3 Potencia de taladrado.....	5
Ecuación 1.4 Fuerza de corte	6
Ecuación 1.5 Sección de viruta.....	6
Ecuación 1.6 Avance por filo.....	6
Ecuación 1.7 Rugosidad media	10

RESUMEN

Para el presente trabajo de titulación se realizó el mecanizado por perforación de 18 probetas (2 repeticiones de 9 probetas), combinando parámetros de corte como velocidad de husillo y velocidad de avance, para de esta manera evaluar dichos parámetros a través de medición de la rugosidad en la superficie interna, medición del tiempo de mecanizado y medición de diámetros además de la estimación del error relativo entre la medida de diámetro final y la esperada.

En este trabajo se utilizó como probetas ejes de acero AISI 4140 con geometría previamente maquinada y una broca de acero rápido con cobalto de marca IZAR HSSCo 5%, además de un pinza de sujeción BT30-ER40-70 para mantener la broca durante el proceso de mecanizado; sumado a ello para la toma de datos se utilizó un rugosímetro Mitutoyo y un calibrador Insizer con el cual se tomaron los datos de rugosidad los cuales se realizó en 4 puntos diferentes y las medidas de diámetros en 3 puntos diferentes para de esta forma analizar las medidas y errores existentes en las medidas.

Tras la obtención de los datos se realizó tablas que generalizan los parámetros con los que se obtuvo las mejores condiciones en las probetas ya sean de tolerancias dimensionales o acabados superficiales.

A partir de lo cual se tiene que la velocidad de corte de 534.76 [RPM] y avance de 64.17 [mm/min] correspondiente a la probeta VAAA1 son los parámetros con el mejor acabado superficial, mientras que la velocidad de corte de 458.37 [RPM] y velocidad de avance de 55 [mm/min] correspondiente a la probeta VMAA2 son los parámetros que obtuvieron los peores acabados superficiales.

PALABRAS CLAVE: Velocidad de avance, Velocidad de corte, Mecanizado por perforación, Tolerancia geométrica, Rugosidad, Tiempo de mecanizado, Taladrado, Parámetros de mecanizado, Acero AISI 4140.

ABSTRACT

For the present titration work, 18 specimens were machined by drilling (2 repetitions of 9 specimens each), combining cutting parameters such as spindle speed and feed rate, to evaluate these parameters by measuring the roughness of the internal surface, measuring the machining time and measuring diameters, as well as estimating the relative error between the final diameter measurement and the expected one.

In this work, AISI 4140 steel shafts with previously machined geometry and an IZAR HSSCo 5% cobalt high speed steel drill bit were used as specimens, as well as a BT30-ER40-70 collet to hold the drill bit during the machining process; In addition, a Mitutoyo roughness meter and an Insizer calibrator were used to take the roughness data, which were taken at 4 different points, and the diameter measurements at 3 different points in order to analyze the existing measurements and errors in the measurements.

After obtaining the data, tables were drawn up to generalize the parameters with which the best conditions were obtained in the specimens, whether in terms of dimensional tolerances or surface finishes.

From which we have that the cutting speed of 534.76 [RPM] and advance of 64.17 [mm/min] corresponding to the VAAA1 specimen are the parameters with the best surface finish, while the cutting speed of 458.37 [RPM] and feed speed of 55 [mm/min] corresponding to the VMAA2 specimen are the parameters that obtained the worst surface finishes.

KEYWORDS: Feed speed, Cutting speed, Drilling machining, Geometric tolerance, Roughness, Machining time, Drilling, Drilling parameters, AISI 4140 steel.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Para el desarrollo de este componente se evalúa los parámetros de perforación en el cual no se utiliza lubricación. Es así como comúnmente se usa lubricación para mejorar las características del proceso, teniendo en cuenta así el desempeño de las herramientas y acabados del material a procesar. En general se toma en cuenta que muchos de los aditivos utilizados en los procesos de mecanizado cuentan con ventajas significativas como la ampliación de la vida útil de las herramientas y sobre todo mejores terminaciones en los materiales. En un proceso de mecanizado que no cuenta con lubricación se obtiene varias ventajas siendo así que la eliminación de estos es la principal. Teniendo así que se reducen costos de producción en piezas, además de ello busca la reducción de costos en el producto final. Para este componente se busca el determinar la eficiencia final del proceso basándose en el análisis de las probetas como muestra y así considerar la influencia que tiene la falta de lubricación en el proceso de taladrado.

1.1 Objetivo general

Evaluar los parámetros de mecanizado en la fabricación de agujeros en ejes de acero AISI 4140 usando el centro de mecanizado cnc bajo condiciones sin lubricación.

1.2 Objetivos específicos

1. Investigar la relevancia de los parámetros como la velocidad de corte y avance, además de su impacto en el mecanizado de agujeros en ejes de acero AISI 4140
2. Mecanizar probetas de acero AISI 4140 con condiciones sin lubricación, con los parámetros determinados a partir de cálculos realizados.
3. Analizar los resultados obtenidos con condiciones sin lubricación en las probetas y determinación de los parámetros óptimas para el mecanizado de estas.

1.3 Alcance

El alcance del presente proyecto se enfoca en el análisis de los parámetros en el proceso de mecanizado de agujeros en ejes de acero AISI 4140. Se evaluarán parámetros en dicho proceso como velocidad de penetración, velocidad de rotación entre otros.

Se realizará el proceso de agujeros sin lubricación con el fin de analizar y comparar los resultados de las muestras obtenidas y con ello determinar las diferencias existentes entre ambos componentes.

Se espera obtener resultados independientes de la composición del material debido a que el mismo se considera de alta resistencia. Se esperarían tener resultados similares en

diferentes aceros con las mismas características sin embargo el alcance de este proyecto se limita a este acero.

1.4 Marco teórico

En este apartado se describirá que es el control numérico computarizado, las maquinas CNC, el proceso de mecanizado por taladrado, además de las herramientas y parámetros que se utilizaran en este proceso y para finalizar se estudiara las calidades superficiales y tolerancias geométricas.

1.4.1 Control numérico computarizado (CNC)

Se define como control numérico computarizado a las operaciones realizadas por maquinas previamente programadas con instrucciones codificadas, las mismas que cuentan con un orden lógico dependiendo de la operación a realizar en dichas maquinas, se utiliza un microprocesador que ayuda al almacenamiento y procesamiento de las instrucciones (Chang Papa, 2015).

1.4.2 Maquinas CNC:

Una fresadora CNC es una maquina la cual consiste en una herramienta que gira verticalmente permitiendo el mecanizado de piezas moviendo sus herramientas en tres ejes los cuales son “X”, “Y” y “Z”; es una máquina que suele ser utilizada para la fabricación de componentes pequeños debido a su capacidad de brindar tolerancias mayores a las de una fresadora convencional se tiene como representación la Figura 1.1.



Figura 1.1 Fresadora CNC ROMI D600 Fuente: Centro de mecanizado vertical Romi D 600 - Metalmecánica
- Centro de mecanizado vertical, s. f.

Se denomina torno CNC a las maquinas herramientas que ayudan al mecanizado de piezas con geometrías de revolución y funciona a partir de girar al material mientras que la herramienta son empujadas hacia el mismo, generando así cortes o remoción de viruta, teniendo en cuenta a su vez que son previamente programadas por lo que su funcionamiento es automático a través de códigos generados en programas CAM un ejemplo de torno CNC se tiene en la Figura 1.2 (Hernández-Granados et al., 2014).



Figura 1.2 Torno ROMI C 680. Fuente:(Línea ROMI C | Tornos CNC, s. f.)

1.4.3 Taladrado

Es el proceso en el cual se permite la obtención de agujeros en una pieza mecanizada, estos pueden ser pasantes o ciegos. Para la obtención de los mismos se utilizan herramientas llamadas brocas, en este proceso se distingue por operaciones:

Taladro previo: este se denomina cuando hace falta más de una penetración o pasada en la operación para así obtener las dimensiones requeridas.

Taladro definitivo: este proceso hace referencia a la obtención de las medidas y calidades requeridas para la pieza con una sola pasada o penetración de la broca.

Taladros profundos: Se emplea en piezas con grandes espesores y cuentan con características y condiciones particulares para dichas dimensiones (Fernández Pérez, 2020).

1.4.4 Herramientas de mecanizado (Brocas)

Las herramientas para utilizar son brocas las cuales se clasifican por su aplicación en perforación de metal, estas se diferencian principalmente por su composición y el material en el cual se empleará es así que se tiene en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1 Tipos de brocas y sus características Fuente: admin, 2022

Broca	Característica	Ventaja	Aplicación
HSS laminada	Se utiliza en metales generales, poca precisión de corte.	Ofrece mayor resistencia a la rotura debido a su mayor elasticidad	Aceros aleados Aceros no aleados Hierro fundido (900N/mm ²)
HSS rectificada	Su precisión de corte es mayor	Precisión en la penetración Velocidad de penetración mayor	Aceros no aleados Aceros aleados (900N/mm ²)
HSS titanio rectificada	Precisión de corte superior.	Larga vida útil Velocidad de penetración mayor Dureza mayor debido a su recubrimiento	Aceros no aleados Aceros aleados (1100N/mm ²)
HSS Cobalto rectificada	Se emplea en perforaciones de materiales de alta dureza, con una calidad de perforación máxima.	Resistencia a altas temperaturas Ideal para materiales duros. Incremento en la dureza de la broca.	Acero no aleado Acero aleado Acero inoxidable (1200 N/mm ²)

1.4.5 Parámetros de taladrado

Para el presente trabajo se considerará los siguientes parámetros a evaluar en el proceso, como la velocidad de corte, velocidad de avance y potencia de corte.

1.4.5.1 Velocidad de corte V_c

Para este parámetro se considera la velocidad del husillo y el diámetro de la broca, y se define como la velocidad tangencial de la parte externa de la broca, medida en [mm/min] es así que se tiene la Ecuación 1.1 (Moya Moya, 2018):

$$V_c = \frac{D * n * \pi}{1000} \quad (1.1)$$

Donde:

V_c : Velocidad de corte [mm/min]

D : Diámetro de la broca [mm]

n : Velocidad de husillo [rpm]

1.4.5.2 Velocidad de avance V_f

Para la velocidad de avance o velocidad de penetración de la broca que se estima en [m/min] se considera la Ecuación 1.2 (*Taladrado*, s. f.):

$$V_f = f_n * n \quad (1.2)$$

Donde:

V_f : Velocidad de avance. [m/min]

f_n : Avance de la broca [mm/diente]

n : Velocidad del husillo [rpm]

1.4.5.3 Potencia de taladrado.

La potencia en el proceso del taladrado viene dado por la ecuación que se describe a continuación, sus unidades al usar el sistema métrico serán en vatios [W] sin embargo, para el presente trabajo se lo dividirá por el factor de conversión a caballos de fuerza [HP] el cual es de 745.7 expresada en la Ecuación 1.3 (Departamento de Ing. Mecánica, s. f.):

$$P_c = \frac{z * F_c * \frac{V_c}{2}}{60 * 745.7} \quad (1.3)$$

Donde:

P_c : Potencia de corte [HP]

- z: Número de filoS. [#]
 Fc: Fuerza de corte. [N/mm]
 Vc: Velocidad de corte. [mm/min]

Para esta ecuación se deberá utilizar datos que se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones como es el caso de la fuerza de corte descrita con la Ecuación 1.4:

$$F_c = p_s * S_c \quad (1.4)$$

Donde:

Fc: Fuerza de corte. [N/mm]

ps: Energía específica de corte, esta dependerá del material a taladrar.

Sc: Sección de viruta, la cual se describe en la Ecuación 1.5. [mm²]

$$S_c = f_n * \frac{D}{2} \quad (1.5)$$

Donde:

Fn: Avance de la broca por filo de esta. [mm]

D: Diámetro de la broca. [mm]

El avance por filo de la broca es diferente a la velocidad de avance es así como se describe con la Ecuación 1.6:

$$f_n = \frac{V_f}{z * N} \quad (1.6)$$

Donde:

Vf: Velocidad de avance [mm/min]

z: Número de filoS [#]

N: Velocidad de rotación [RPM].

1.4.5.4 Taladrado Peck drilling

El proceso de taladrado mediante Peck Drilling o también conocido como taladrado intermitente es un procedimiento por el cual se busca el arranque de viruta durante el proceso, esto permite la maquinabilidad de dicho proceso ayudando así a la evacuación de la viruta y a su vez la refrigeración de la herramienta permitiendo así un acabado de mejor calidad.

Este proceso se realiza determinando la ciclo de picoteo de la herramienta, se considera el diámetro de la herramienta y la profundidad del agujero a realizar (Fernández Pérez, 2020).

1.4.6 Calidad y tolerancia en taladrado.

En un proceso de mecanizado las medidas obtenidas posteriormente al proceso no contarán con las medidas exactas dadas previamente, es así que se puede tener distintos tipos de variaciones y esto permitirá dependiendo los requerimientos si dichas piezas son aptas para su utilización posterior o defectuosas como se muestra en la Figura 1.3.

CALIDADES USUALES INDICADAS PARA LOS PRINCIPALES PROCESOS DE MECANIZADO																
IT (calidad)	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
OXICORTE SERRADO	■	■														
LIJADO-CEPILLADO TALADRADO FRESADO			■	■	■	■	■	■								
TALADRADO+ESCA. ESCAREADO BROCHADO TORNEADO				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
RECTIFICADO AFINADO SUPERFIC. SUPERDEFINICIÓN									■	■	■	■	■	■	■	■

Figura 1.3 Calidades usuales en procesos de mecanizado. Fuente: (Ajustes y Tolerancias en los Procesos de Mecanizado, s. f.)

La tolerancia en agujeros está dada a partir de la máxima variación que se observa entre la medida obtenida y la medida requerida, esta se encuentra estandarizada por normativa ISO la cual utiliza una notación estandarizada, para el caso de agujeros se lo representa

con letras mayúsculas desde la A hasta la Z siendo la línea cero la letra H, es así que letras entre A y H son valores superiores en las tolerancias y entre H hasta Z valores inferiores al diámetro nominal, para ello se tiene la Figura 1.4 (*Ajustes y Tolerancias en los Procesos de Mecanizado, s. f.*).

Valores tabulados de la posición de la tolerancia de agujeros en micras											
Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H
Calidad	Todas las calidades										
Diámetro	Diferencia inferior Di										
d 3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0
3 d 6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0
6 d 10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0
10 d 18	290	150	95		50	32		16		6	0
18 d 30	300	160	110		65	40		20		7	0
30 d 40	310	170	120		80	50		25		9	0
40 d 50	320	180	130								
50 d 65	340	190	140		100	60		30		10	0
65 d 80	360	200	150								
80 d 100	380	220	170		120	72		36		12	0
100 d 120	410	240	180								
120 d 140	460	260	200		145	85		43		14	0
140 d 160	520	280	210								
160 d 180	580	310	230								
180 d 200	660	340	240		170	100		50		15	0
200 d 225	740	380	260								

Figura 1.4 Valor de la posición de la tolerancia de agujeros. Fuente:(Ajuste, puesta en marcha y regulación de los sistemas mecánicos, s. f.)

En el caso de las calidades se denotan por números y se cuenta con la siguiente tabla la cual distribuye las calidades desde 01 que es la más exacta hasta 16 en la cual se puede obtener la tolerancia mayor, es así que partir de ello se define el tipo de ajuste necesario

descrito en la Figura 1.5 (*Ajuste, puesta en marcha y regulación de los sistemas mecánicos, s. f.*).

Calidad de la tolerancia ISO en micras																			
Grupos de Diámetros (mm)	Calidades																		
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	
$d \leq 3$	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	
$3 < d \leq 6$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	
$6 < d \leq 10$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	
$10 < d \leq 18$	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	
$18 < d \leq 30$	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	
$30 < d \leq 50$	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	
$50 < d \leq 80$	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	48	74	120	190	300	460	740	1200	1900	
$80 < d \leq 120$	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	
$120 < d \leq 180$	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	
$180 < d \leq 250$	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	
$250 < d \leq 315$	2.5	4	5	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	
$315 < d \leq 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	
$400 < d \leq 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	
	Ultra-precisión		Piezas de gran precisión			Piezas pertenecientes a conjuntos que deben ajustar							Piezas que no requieren ajuste						

Figura 1.5 Tabla de calidades en tolerancias ISO en micras. Fuente: (*Ajuste, puesta en marcha y regulación de los sistemas mecánicos, s. f.*)

1.4.7 Calidad superficial.

La calidad superficial del proceso de mecanizado es un factor muy importante para considerar dentro del estudio del ya mencionado proceso por lo cual se tiene aspectos a tomar en cuenta para dicho factor, en este caso se considerará la rugosidad superficial del material.

1.4.7.1 Rugosidad Superficial.

La rugosidad en una superficie se determina como un índice que especifica la calidad del acabado superficial del mismo tras un proceso de mecanizado, este llega a ser un requerimiento técnico en distintos elementos mecánicos, es así que la normativa ASME B46.1 la define como “la representación tridimensional de las irregularidades geométricas

en la superficie”, como se observa en la Figura 1.6 (ASME B46.1 Surface Texture - ASME, s. f.).

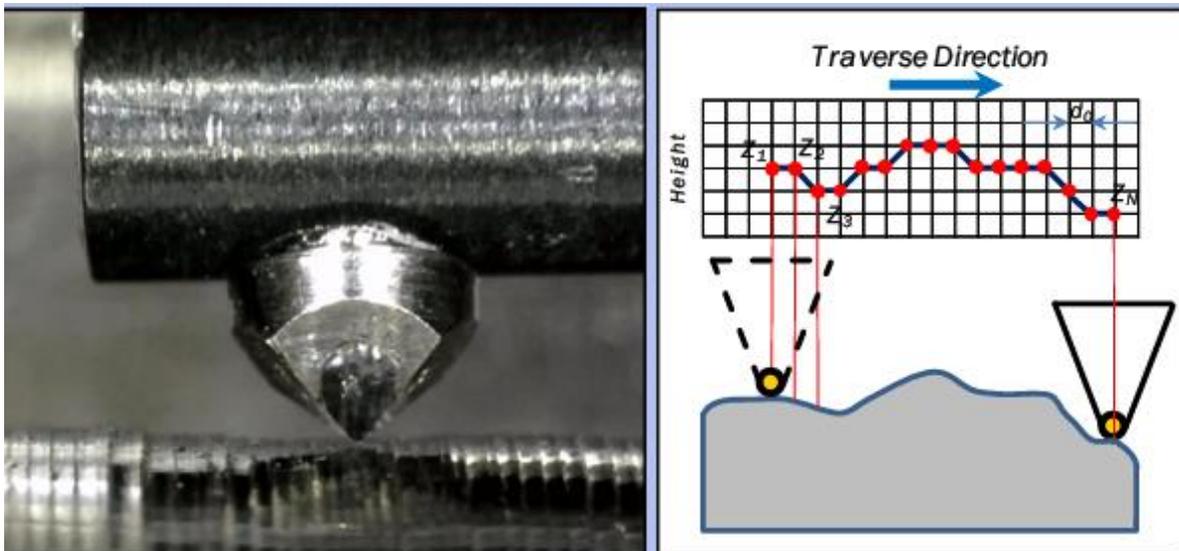


Figura 1.6 Rugosímetro y grafica de rugosidad en una superficie. Fuente:(ASME B46.1 Surface Texture - ASME, s. f.)

Los valores de rugosidad se llegan a describir con la Ecuación 1.7:

$$Ra = \frac{(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_n)}{n} \quad (1.7)$$

Donde:

- Ra: Rugosidad media [μm]
- Z: Dato absoluto tomado del pico superior e inferior. [μm]
- n: Número total de datos tomados [#]

Con los valores de rugosidad Ra se puede considerar según la norma DIN4769 las diferentes clasificaciones de rugosidad en función a su grado teniendo así la Figura 1.7 que lo describe:

Ra (micrómetros)	Ra (micropulgadas)	RMS (micropulgadas)	CLA (N)	Rt (micras)	N	Longitud de corte (pulgadas)
0.025	1	1.1	1	0.3	1	0.003
0.05	2	2.2	2	0.5	2	0.01
0.1	4	4.4	4	0.8	3	0.01
0.2	8	8.8	8	1.2	4	0.01
0.4	16	17.6	16	2.0	5	0.01
0.8	32	32.5	32	4.0	6	0.03
1.6	63	64.3	63	8.0	7	0.03
3.2	125	137.5	125	13	8	0.1
6.3	250	275	250	25	9	0.1
12.5	500	550	500	50	10	0.1
25.0	1000	1100	1000	100	11	0.3
50.0	2000	2200	2000	200	12	0.3

Figura 1.7 Clasificación de rugosidades en función de Ra. Fuente:(Rapiddirect, 2021)

micrómetros Clasificación	Micropulgadas Clasificación	Aplicaciones
25	1000	Superficies ásperas de baja calidad que resultan del corte con sierra o forja áspera. Por lo tanto, tales superficies son adecuadas para ciertas áreas de juego sin mecanizar.
12.5	500	Estas son superficies ásperas y de baja ley que resultan de avances gruesos y cortes pesados. Mientras que los cortes provienen del torneado, fresado, rectificado de discos y más.
6.3	250	Este tipo de acabado superficial es el resultado de rectificadores superficiales, rectificadores de disco, fresado, taladrado y más. Por lo tanto, son para superficies libres con requisitos de tensión y permisos de diseño.
3.2	125	A menudo se recomienda el tipo de superficie más rugosa para las piezas. También se utiliza para piezas sujetas a vibraciones, cargas y esfuerzos elevados.
1.6	63	Buena rugosidad/acabado de máquina con su producción bajo condiciones controladas. También implica avances finos y velocidades relativamente altas.
0.8	32	Un acabado de máquina de alta calidad, que necesita un control estricto. Es relativamente fácil de producir con rectificadoras cilíndricas, sin centro o de superficie. También se prefiere para productos que no requieren movimiento continuo o grandes cargas.
0.4	16	Las superficies de alta calidad a menudo se producen mediante pulido con esmeril, lapeado o bruñido basto. Estos acabados son, por tanto, grandes opciones donde la suavidad es de gran importancia.
0.2	8	Acabado superficial fino y de alta calidad producido por lapeado, pulido o bruñido. Los maquinistas usan esto cuando los anillos y las empaquetaduras tienen que deslizarse a través del grano de la superficie.
0.1	4	Una superficie refinada que se ofrece mediante lapeado, pulido o pulido. Los fabricantes lo usan solo cuando existen requisitos de diseño obligatorios. Por tanto, es el mejor acabado en trabajos de gálibo e instrumentación.
0.05 0.025	2 1	Acabado de superficie más refinado producido con el mejor pulido, pulido o superacabado. Por lo tanto, se utilizan mejor para bloques patrón de precisión finos y sensibles.

Las aplicaciones dependiendo de cada nivel de rugosidad se las expresa en la Figura 1.8:

Figura 1 Aplicaciones en función de las rugosidades Ra. Fuente:(Rapiddirect, 2021)

2 METODOLOGÍA

2.1 Proceso de Experimentación

Para el desarrollo del trabajo de integración se llevará a cabo los pasos descritos en el siguiente flujograma, que inicia por el proceso de experimentación y finaliza en la

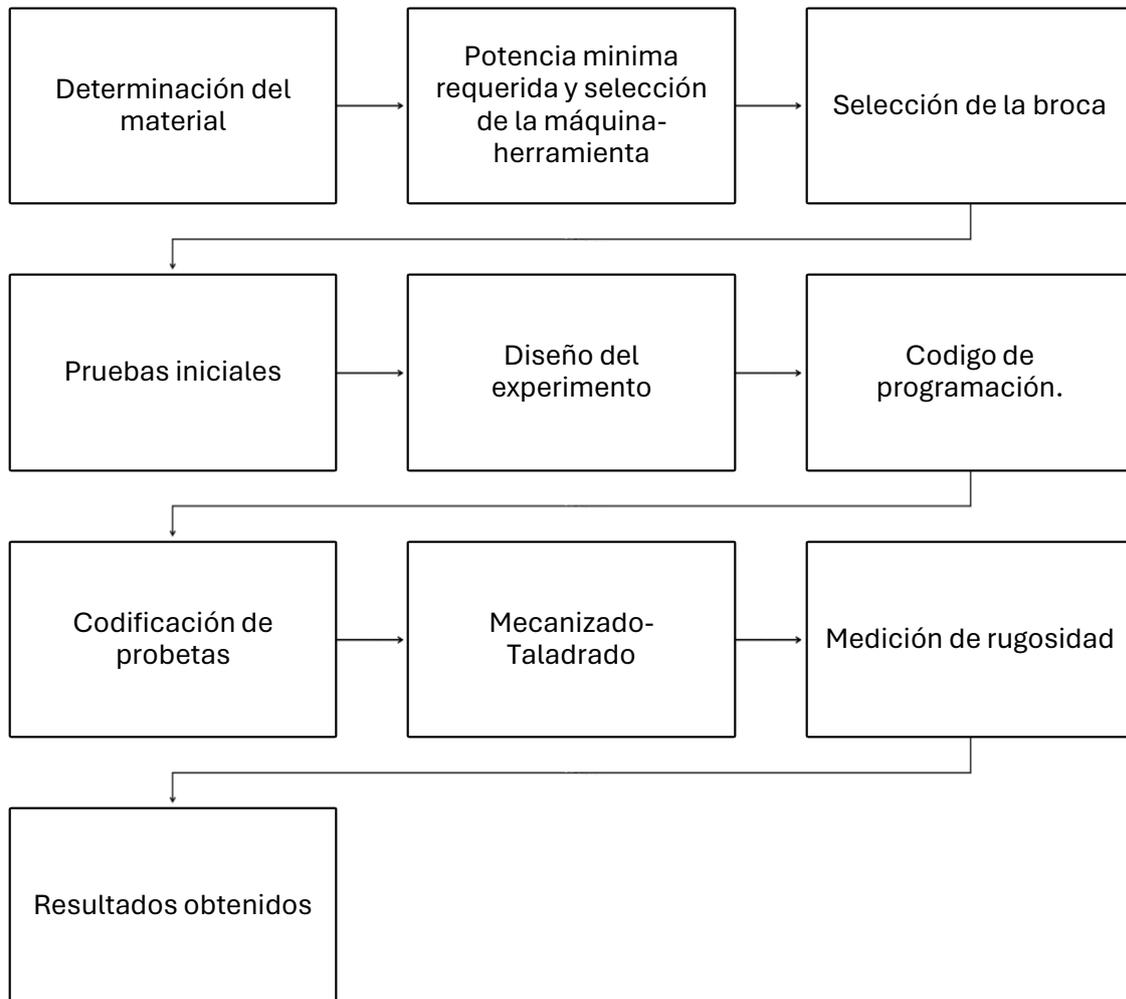


Figura 2.1 Flujograma de procesos a realizar en la experimentación. Fuente: Propia

obtención de resultados como se describe a continuación en la Figura 2.1:

2.2 Determinación de material

En este apartado se analizará las probetas que se mecanizaran, tomando en cuenta su dimensionamiento, características propias del material y aplicaciones en las cuales se puede utilizar el material.

2.2.1 Dimensionamiento de la probeta a utilizar

Para el desarrollo del trabajo de integración curricular se toma como punto de partida las probetas obtenidas de trabajos anteriores en los cuales se realizaron procesos de mecanizado tales como refrentados, cilindrados y roscados. Por lo que se cuenta con

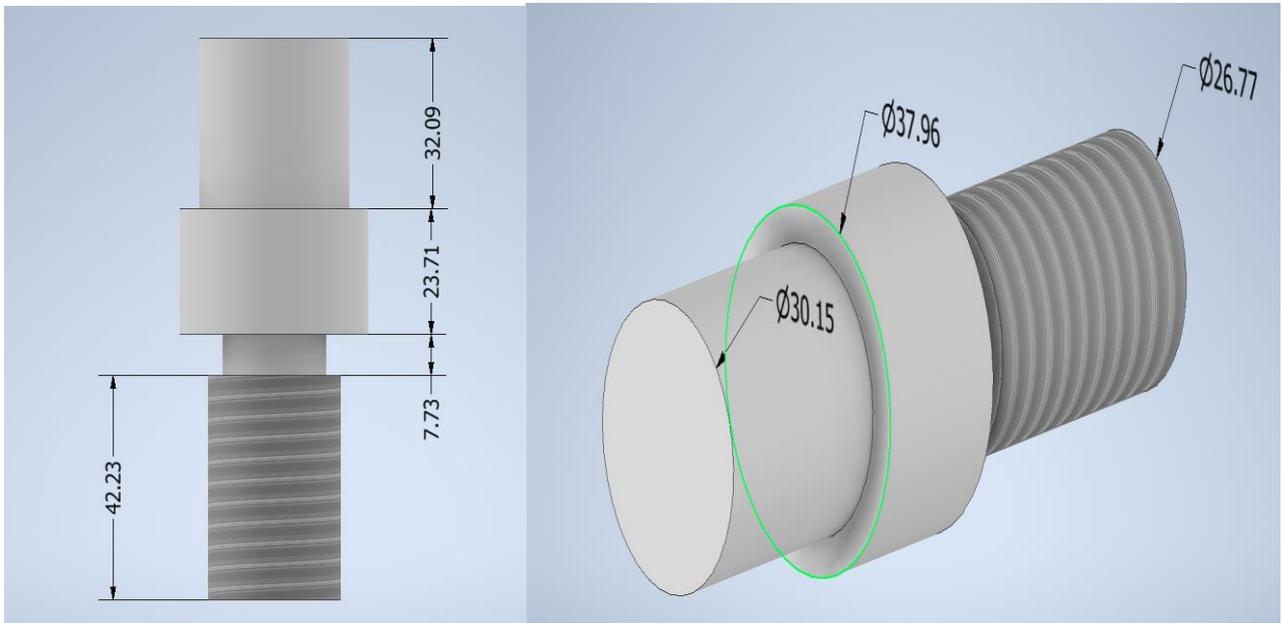


Figura 2.2 Dimensionamiento de las probetas mediante Inventor. Fuente: Inventor.
 probetas con las siguientes dimensiones descritas en la Figura 2.2:

2.2.2 Composición y propiedades del acero AISI 4140

La probeta por perforar está constituida de acero AISI 4140 la cual cuenta con la

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

composición química descrita en la Figura 2.3:

Figura 2.3 Composición química acero AISI 4140. Fuente:(«Acero AISI / SAE 4140», s. f.)

Las propiedades fundamentales en este acero son en función al estado que se encuentre es así que al tener un estado de laminado en caliente el límite elástico alcanza 6680[kg/cm²] y su límite de ruptura alcanza 10400 [kg/cm²] con un alargamiento de 17.7% y una reducción de área de 47%, la dureza de este material es de 302 BHN está entre 28 a 32 RC, es así que esta propiedad será fundamental en el desarrollo del actual trabajo (Aceromafe, 2023).

2.2.3 Características del Acero AISI 4140

En el presente trabajo de titulación se utilizará acero AISI 4140 con características estables de medio contenido de carbono, este acero cuenta con alta resistencia a la torsión, impacto y desgaste; su estabilidad es muy buena a temperaturas elevadas de hasta 400 [°C] y no se fragiliza debido al revenido.

Es un acero de alta versatilidad ya que responde de manera óptima ante los tratamientos térmicos como el templado en el cual cuenta con un alto grado; por su composición este acero tiene una alta resistencia a la corrosión (Aceromafe, 2023).

2.2.4 Aplicaciones del Acero AISI 4140

Debido a las propiedades con las que cuenta este acero, es altamente utilizado en la industria, es así que se caracteriza por el uso en(«4140 Steel Applications | Waldun Steel», s. f.):

- **Pinzas de sujeción en máquinas herramientas:**

Debido a las características y propiedades de este acero se utiliza a menudo en pinzas de sujeción de máquinas herramientas ya que estas se encuentran expuestas a niveles elevados de presión y fuerza.

- **Transportadores:**

Se utiliza el acero AISI 4140 en rodillos de transporte de material, normalmente en líneas de montaje o muelles de envío.

- **Acoplamientos:**

Se usa el acero en la elaboración de acoplamientos que se usan en las uniones de ejes, ya sea para la transmisión de energía o movimiento.

- **Collares de taladros:**

El uso de este acero en collares de taladros es primordial ya que este acero está sometido a elevadas temperaturas y presiones por lo que se requiere que el acero sea de alta resistencia.

- **Eyectores:**

Los eyectores son equipos que se usan a menudo en motores por lo que están sujetos a temperaturas y presiones elevadas.

- **Engranajes:**

Los engranajes son utilizados en gran cantidad de aplicaciones es por ello que se necesita que los mismos sean fabricados en materiales de alta resistencia a la fricción y al calor, además de contar con una dureza apropiada.

2.3 Potencia mínima requerida y selección de la máquina-herramienta.

En este capítulo se describirá la potencia mínima que requiere la máquina herramienta para su funcionamiento con parámetros de corte brindados por el fabricante y a su vez se seleccionará la máquina herramienta que se utilizará.

2.3.1 Potencia mínima requerida.

La potencia es uno de los factores que se consideró en la selección de la máquina, en esta sección tomaremos como dato las propiedades del material brindados por el fabricante de la broca además de las características de la misma, usando así los parámetros del fabricante.

Teniendo en cuenta los datos necesarios para este cálculo se los describe a continuación:

- Diámetro de la broca (D): 12.5 [mm]
- Energía específica de corte acero AISI 4140 (p_s): 850 [N/mm²]
- Avance de la broca (V_f): 0.012 [mm/min]
- Numero de filos (z): 2 [#]
- Velocidad de corte (V_c): 15 [m/mm]
- Velocidad del husillo (N): 381.97 [RPM]

Aplicando las ecuaciones descritas en el numeral 1.4.6.3 se obtiene:

$$f_n = \frac{V_f}{z * N} = \frac{0.012}{2 * 381.97} = 1.5708 * 10^{-5} [mm]$$

$$S_c = f_n * \frac{D}{2} = 1.5708 * 10^{-5} * \frac{12.5}{2} = 9.817 * 10^{-5} [mm^2]$$

$$F_c = p_s * S_c = 850 * 9.817 * 10^{-5} = 0.0834 [N]$$

$$P_c = \frac{z * F_c * \frac{V_c}{2}}{60 * 745.7} = \frac{2 * 0.0834 * \frac{15}{2}}{60 * 745.7} = 2.79 [HP]$$

Se tiene así que la potencia necesaria para el proceso con los parámetros más demandantes es de 2.79 [HP].

2.3.2 Máquina herramienta

La máquina herramienta elegida para este presente trabajo es el centro de mecanizado, se consideró la utilización de un torno CNC sin embargo en dicha máquina herramienta no se puede establecer parámetros de avance y velocidad en la herramienta ya que la broca debe estar ubicada en el contrapunto de este, haciendo de eso que se transforme de un proceso automática en un proceso manual, lo que hace que el alcance del proyecto no se cumpla.

Existen herramientas auxiliares que se puede colocar en la torreta, sin embargo, estas se deben fabricar o a su vez comprar en función al tamaño de la broca a utilizar, sin embargo, dichos instrumentos escapan del alcance del actual proyecto, es por eso que la selección de la máquina herramienta se la estableció como el centro de mecanizado.

El centro de mecanizado a utilizar es un centro de mecanizado marca VIWA modelo NC-40LA el cual se muestra en la Figura 2.4, las características del mismo son las mismas al modelo VCM740M400 de la misma marca el cual otorga capacidad de 10[HP] de potencia teniendo así que es más de la necesaria calculada en el numeral anterior y un rango de velocidad máxima entre 8000 a 10000 [RPM], esta está diseñada para desbastes con una rudeza mayor y acabados mucho más finos, por lo cual es la adecuada para el desarrollo de la experimentación («VCM740 M400», s. f.).



Figura 2.4 Centro de mecanizado VIWA, laboratorio de máquinas y herramientas EPN. Fuente: Propia

Este centro de mecanizado cuenta con un controlador Centroid modelo M400 el que se muestra en la Figura 2.5, el cual cuenta con un sistema integrado de post procesamiento que se adapta a los códigos G de distintos softwares, como en este caso al software de Inventor CAM, procesando así el código a un sistema Match3 que es el más simple utilizado en estos centros (Muñoz, 2018).

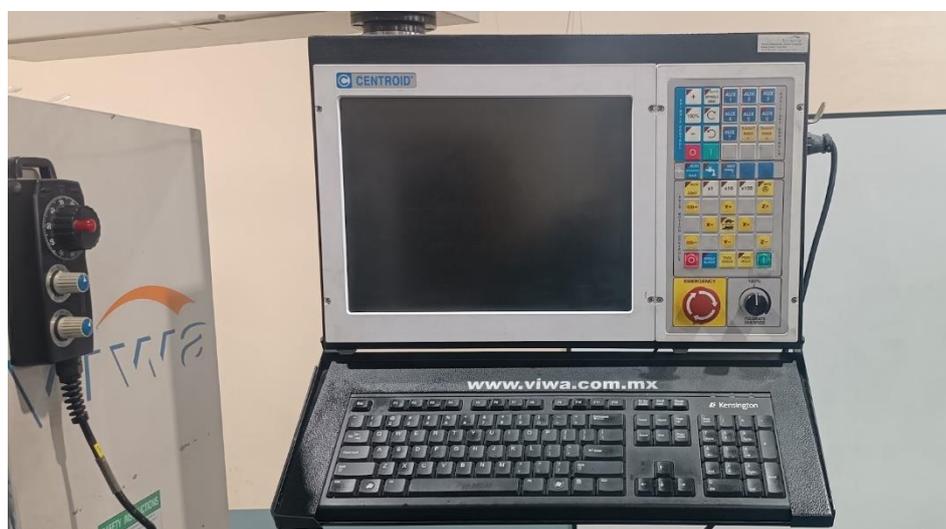


Figura 2.5 Controlador Centroid de centro de mecanizado VIWA. Fuente: Propia.

2.3.3 Herramienta de sujeción de la broca.

Debido al diámetro de la broca se seleccionó un collect chuck BT30-ER40-70 con una pinza de sujeción de 16 [mm] a la cual se añadió un buge de 2 [mm] de espesor para que se mantenga fija la broca en el transcurso de la experimentación, es así que se tiene en conjunto el armado de la herramienta en la Figura 2.6:



Figura 2.6 Herramienta de sujeción en conjunto con la broca. Fuente: Propia

2.4 Selección de la broca

Para la selección de la broca se debe considerar características y propiedades del material es así como en este trabajo se selecciona una broca a partir de la dureza del material a mecanizar y al tener como finalidad el mecanizado del material sin la utilización de lubricante se opta por una broca que no cuente con canales de refrigeración internos.

Para la selección de la medida se optó por un valor estándar el cual es de 12.5 [mm] que a su vez se comporta de igual manera que una broca de $\frac{1}{2}$ ", además para la selección de esta medida de broca se consideró las probetas con las que se contaba y los diámetros de estas, siendo esta medida una de las más comúnmente utilizadas o mencionadas en trabajos mecánicos.

Una vez determinada la dureza del material a perforar se considera que la broca debe ser de acero rápido con recubrimiento de cobalto lo cual ayuda reduciendo el desgaste de la broca, por lo que se procede con la determinación que la broca de marca IZAR HSSE 5%Co que se encuentra bajo la normativa DIN338 es la más adecuada para el desarrollo de la experimentación descrita en la Figura 2.7.



Figura 2.7 Broca Izar 12.5mm HSSE 5%Co. Fuente:(1016 : 999.12,50 mm-BROCA HSSE DIN338N-, s. f.)

La broca a utilizar se muestra en la Figura 2.8 la cual cuenta con dimensiones de: 12.5 [mm] de diámetro, un ángulo de la punta a 135 [°], longitud total de 151 [mm] y 101 [mm] de espiga.



Figura 2.8 Broca Izar HSSCo 12.5mm de fabricación española (nueva). Fuente: Propia

2.5 Pruebas iniciales

Para este apartado se realizará el cálculo de los parámetros mínimos y máximos que se utilizarán para su posterior evaluación, además se determinará si los parámetros brindados por el fabricante están correctamente designados.

2.5.1 Cálculos para la determinación de los parámetros mínimos y máximos.

Para las pruebas iniciales se utilizó 2 probetas las cuales se observa en la Figura 2.9 datos brindados por el fabricante los mismos que fueron la velocidad de avance que es de 0.12 [mm/rev] y velocidad de corte de la herramienta que varía entre 8-15 [m/min](1016 : 999.12,50 mm-BROCA HSSE DIN338N-, s. f.), estos datos están en base a la dureza del material que se taladrará, con ello se aplicó la Ecuación 1.1 con ella se

busca despejar la velocidad a la cual el husillo debe girar para de esta forma introducirla en la máquina, es así que se tiene:

$$V_c = \frac{D * n * \pi}{1000}$$

$$n = \frac{V_c * 1000}{D * \pi} = \frac{8 * 1000}{12.5 * 3.14} = 204 \text{ RPM}$$

Donde:

D= 12.5 [mm] (diámetro de la broca)

V_c= 8 [m/min] (velocidad de corte mínima dada por el fabricante)

n= 204 [RPM] (velocidad del husillo con parámetros del fabricante)

De igual forma se obtiene la velocidad de avance a partir de la Ecuación 1.2 que se describe a continuación teniendo en cuenta la velocidad del husillo obtenida previamente:

$$V_f = f_n * n = 0.12 * 204 = 24.45 \left[\frac{mm}{min} \right]$$

Donde:

f_n = 0.12 [mm/rev] (dato de avance brindado por el fabricante)

n = 204 [RPM] (velocidad obtenida del husillo)

V_f = 24.45 [mm/min] (Velocidad de avance que debe realizar la máquina)

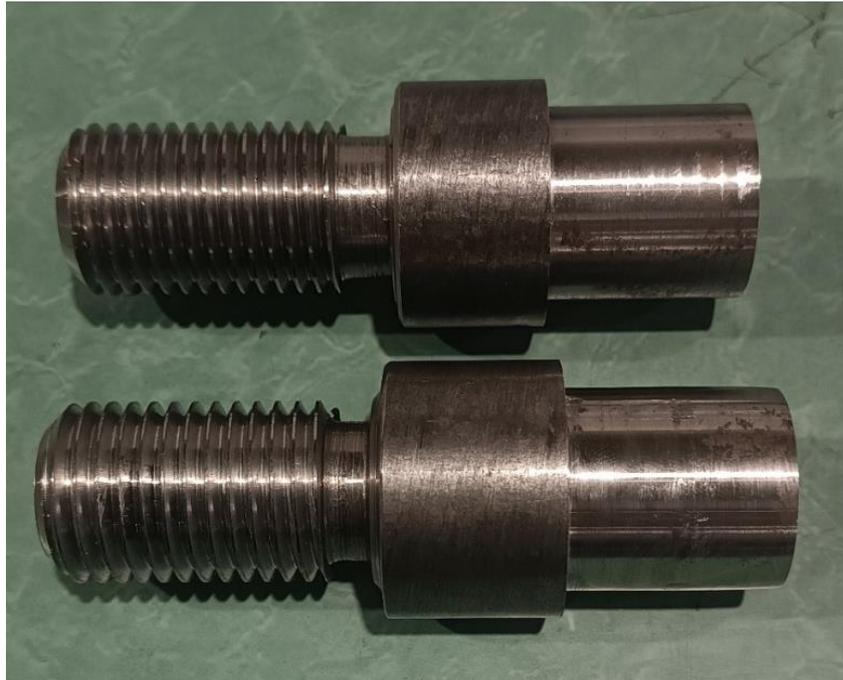


Figura 2.9 Probetas seleccionadas para la prueba inicial. Fuente: Propia

Con los datos obtenidos se procede a la primera prueba en la cual se obtiene un fallo en la maquina ya que el husillo tras comenzar con la prueba se detiene abruptamente como se observa Figura 2.10. con apenas perforar 2.59 [mm], con lo que se procede a cambiar los parámetros de avance y velocidad del husillo conforme a lo brindado por el fabricante, es así que se utiliza la máxima velocidad de corte la cual es 15 [m/min], obteniendo así una velocidad de husillo de 382 [RPM] y una velocidad de avance de 45.84 [mm/min]; con ello se procede a realizar la prueba obteniendo así nuevamente un fallo con apenas la perforación de 4 [mm] de igual forma se detiene el husillo sin completar el proceso como se muestra en la Figura 2.11.



Figura 2.10 Prueba inicial con parámetros brindados por el fabricante, momento en el cual la broca se atasca en la probeta. Fuente: Propia

Tras las primeras experimentaciones se considera que los datos brindado por el fabricante no se pueden considerar como factibles en el presente trabajo de titulación es así que se opta por un incremento en la velocidad de corte y a su vez una reducción de la velocidad de avance ya que al variar dichos parámetros la herramienta cumple con el proceso completo, sumado a ello se opta por un procedimiento de taladrado el cuales el pick drilling con un picoteo de 2 [mm] brindado directamente del software CAM cabe recalcar que los parámetros de picoteo fueron variándose en función de la necesidad hasta observar que la broca no se atascase con la viruta; para el aumento y reducción de los parámetros de corte se opta por un 20% de variación en dichos parámetros, obteniendo así los parámetros mínimos que se consideran como base los brindados por el fabricante y los máximos dados a partir de la variación previamente descrita

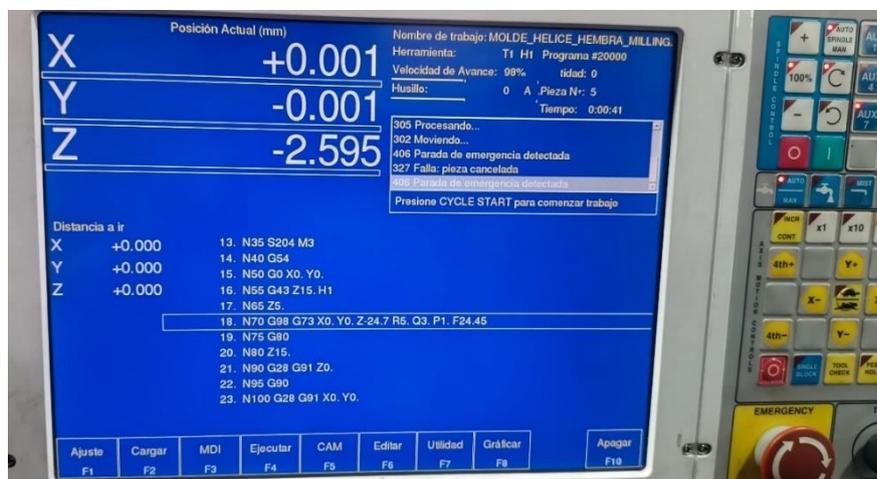


Figura 2.11 Controlador detenido al momento de bloquearse la herramienta. Fuente: Propia

(Fernández Pérez, 2020).

2.6 Diseño de experimentación

Para el presente trabajo de titulación se debe tener en cuenta los parámetros que se analizarán los cuales son: acabado al interior de la perforación, diámetro y tiempo de mecanizado, para lo cual se debe variar parámetros como son el de velocidad de corte y velocidad de avance en la herramienta.

Al considerar la influencia en los factores en las variables que se obtendrán el diseño de experimentación requerido es el diseño factorial 3^k , debido a que la respuesta variara con cada experimentación teniendo así una comparativa para cada uno de los niveles en la experimentación (Gutiérrez Pulido, 2012).

2.6.1 Determinación cuantitativa experimental a través de Diseño Factorial 3^k

Para el diseño de 3^k factorial se debe considerar que los actores a evaluar contarán con tres niveles los cuales han sido seleccionados en función a los catálogos brindados por el proveedor de la herramienta, que para el presente trabajo se describen en la

Tabla 2.1:

Tabla 2.1 Parámetros a evaluar en la experimentación. Fuente: Propia

Parámetro de corte	1: Bajo	2: Medio	3: Alto
A: Velocidad de husillo (n)	15	18	21
B: Velocidad de avance (Vc)	0.076	0.096	0.12

Teniendo en cuenta la selección del método seleccionado para la realización de la experimentación el cual será un diseño factorial 3^k con tres niveles y 2 factores a variar se obtiene mediante el software Minitab la cantidad de corridas que se obtendrán la cual será de 9 corridas o experimentos, sin embargo, para realizar un proceso más confiable se optó por tener en cuenta la repetición de las corridas, teniendo así un total de 18 experimentos.

Este criterio se consideró para reducir el riesgo de un error en la experimentación, sin considerar factores de desgaste de la herramienta.

Es así como mediante el software Minitab se obtiene la siguiente tabla de distribución de experimentos, donde A es el avance de la herramienta y B es la velocidad de corte del husillo, teniendo en cuenta la numeración de cada uno de los niveles y la réplica que está representada por bloques en la Tabla 2.2 y

Tabla 2.3 descritas a continuación:

Tabla 2.2 Resumen de diseño de experimentación. Fuente: Minitab

Factores:	2	Réplicas:	2
Corridas base:	9	Total de corridas:	18
Bloques base:	1	Total de bloques:	2

Número de niveles: 3, 3

Tabla 2.3 Tabla de diseño y distribución de experimentos. Fuente: Minitab

Corrida	Bloque	A	B
1	1	1	1
2	1	1	2
3	1	1	3
4	1	2	1
5	1	2	2
6	1	2	3
7	1	3	1
8	1	3	2
9	1	3	3
10	2	1	1
11	2	1	2
12	2	1	3
13	2	2	1
14	2	2	2
15	2	2	3

16	2	3	1
17	2	3	2
18	2	3	3

2.7 Código de programación.

El código de programación a utilizar en el centro de mecanizado es un código G el cual se realizó en Inventor a través de su extensión CAM, para la realización de dicho código de programación se procedió a realizar la pieza modelada en inventor con las medidas descritas en el numeral 2.2.1, una vez modelada la pieza se realizó la asignación del proceso a ejecutar posteriormente el cual es el taladrado, para ello se selecciona la opción taladrar, con ella se habilita una ventana en la cual seleccionamos la máquina herramienta que utilizaremos.

Una vez seleccionada la máquina herramienta utilizar procedemos a seleccionar la herramienta, que en este caso es una broca con las características descritas en el numeral 2.4, a partir de ello se procede a la determinación de los parámetros a utilizar ya sean velocidades de corte y avance en función a la probeta que se procedieron a mecanizar, sin embargo, para la practicidad de este proceso estos datos se variaron directamente en el controlador del centro de mecanizado.

Tras determinar los parámetros previamente explicados seleccionamos el proceso que deberá seguir la máquina para taladrar es así que en el CAM nos permite seleccionar el ciclo al cual se registrará el proceso, para ello se seleccionó el proceso de taladrado con rotura de viruta, el cual es también llamado Peck drilling, este parámetro se seleccionó para obtener así un mejor acabado superficial ya que la rotura de viruta previa a la extracción de la broca nos permite evitar atascos en el proceso, para este parámetro se seleccionó parámetros de picoteo tales como a profundidad y reducción de profundidad, estos parámetros se variaron a partir de las pruebas iniciales ya que se obtuvo problemas de atasco de la viruta, teniendo así los parámetros definidos como se describe el la siguiente Figura 2.12:

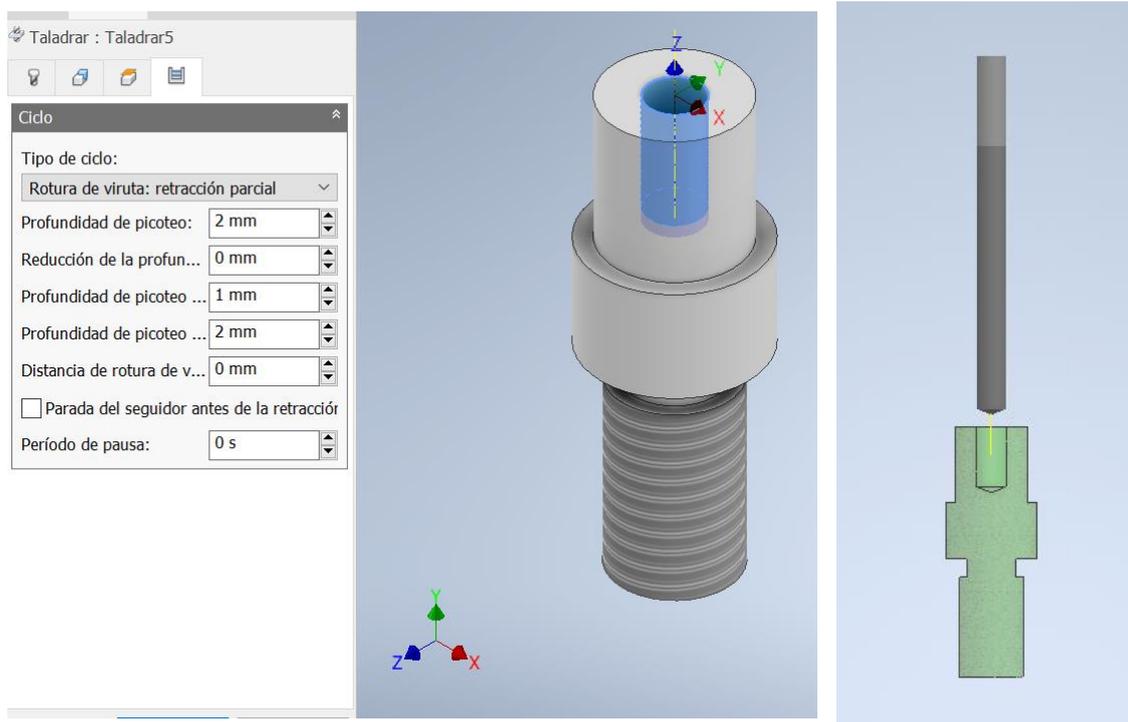


Figura 2.12 Parámetros del ciclo a realizar con Peck drilling y extracción del código G. Fuente: Propia

Una vez especificado los parámetros del proceso se realiza una simulación previa para verificar que no existan fallos o errores en ya mencionado proceso.

Una vez determinado que la simulación no cuenta con errores se extrae el código G para posteriormente cargarlo en el centro de mecanizado a través de su controlador, tenemos así que el código obtenido se describe en la Figura 2.13

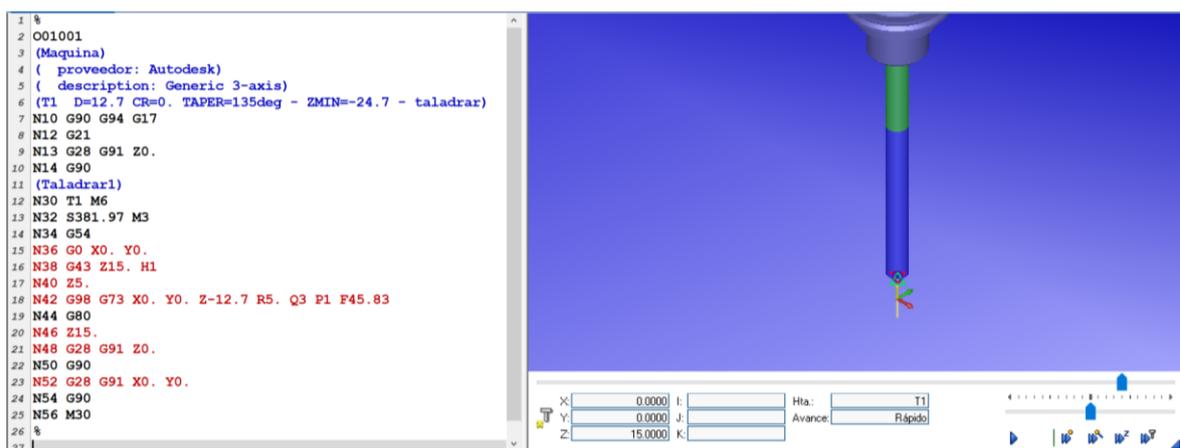


Figura 2.13 Código G obtenida del CAM, a la par de su simulación. Fuente: HSM autodesk.

En el código se consigue observar varias líneas de programación las cuales representan a un proceso en particular como la línea "N32 S381.93 M3" en la cual se determina la

velocidad de corte del husillo en [RPM], sin embargo, se expresa que el proceso más importante en este código es el que se observa en la línea 18 del código el cual es el “N42 G98 G73 X0. Y0. Z-12.7 R5. Q3 P1 F72.78” en el cual se describe el proceso de avance de la broca en el material, con caracteres como el G73 el cual se encarga de realizar el proceso de Peck drilling sumado al Z-12.7 que representa la profundidad máxima a la cual se llegará en la perforación y F45.83 que será la velocidad de avance en [mm/min].

Este código G se lo ingresa al controlador del centro de mecanizado a través de USB, para posterior a ello utilizarlo variando los parámetros de velocidad expresados previamente, cabe recalcar que para cada probeta se deberá primero encerrar la máquina para evitar daños en la misma o en la broca.

2.8 Codificación de las probetas.

La codificación del presente trabajo es muy importante para la toma de datos posteriores, es así que se procede con dicha codificación a partir de caracteres que representan la velocidad, el avance y la repetición que se realiza además de los parámetros en los mismos los cuales pueden ser bajos medios o altos, es así que se elabora la codificación en función a la Tabla 2.4

Tabla 2.4 Codificación de las probetas. Fuente: Propia

Velocidad	Parámetro de velocidad	Avance	Parámetro de avance	Repetición
V	A, M, B	A	A, M, B	1,2

Teniendo así que el primer carácter señala la velocidad (V), el segundo carácter señala que tipo de parámetro de velocidad ya sean estos: altos (A), medios (M) y bajos (B); en el tercer carácter señala el avance (A) y posterior a este y de igual forma que en la velocidad se tiene tres parámetros: alto (A), medio (M) y bajo (B). Para finalizar el ultimo carácter que se tiene es el de la repetición, esto se marca con un 1 o un 2 dependiendo, ya que en la experimentación se tiene dos repeticiones. Por ejemplo, se tiene un código “VAAM2” el cual representa la probeta que fue realizada a velocidad alta (21 [m/mm]), avance medio (0.096 [mm/rev]) y es la segunda repetición, las probetas se codificaron en el lateral de la probeta como se muestra en la Figura 2.14.



Figura 2.14 Codificación de las probetas para su identificación. Fuente: Propia

2.9 Mecanizado-Taladrado

En este apartado se evaluará los parámetros descritos previamente, teniendo así que se realizará cálculos de velocidad de corte y velocidad de avance, sumado a ello se procederá con la explicación de cómo se realizó el mecanizado de las probetas.

2.9.1 Velocidad de corte (husillo).

Para determinar la velocidad del husillo se considera lo descrito en el numeral 2.6.1 en el cual a través de los experimentos iniciales se determinó que los parámetros brindados por el fabricante no se pueden considerar para el presente trabajo, es así que se opta por el incremento en la velocidad de corte de tal forma que se tiene tres velocidades descritas a continuación:

- Velocidad baja: 15 [m/mm]
- Velocidad media: 18 [m/mm]
- Velocidad alta: 21 [m/mm]

Estos valores se deben transformar en [RPM] para de esta manera poder cargarlos en el sistema de CNC es así como se toma en cuenta la ecuación descrita en el numeral 1.4.5.1 teniendo así que:

$$Velocidad\ baja\ [RPM] = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} = \frac{15 \left[\frac{m}{mm} \right] * 1000}{\pi * 12.5[mm]} = 381.97 [RPM]$$

$$Velocidad\ media\ [RPM] = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} = \frac{18 \left[\frac{m}{mm} \right] * 1000}{\pi * 12.5[mm]} = 458.36 RPM$$

$$Velocidad\ alta\ [RPM] = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} = \frac{21 \left[\frac{m}{mm} \right] * 1000}{\pi * 12.5[mm]} = 534.76\ RPM$$

Es así como se obtiene las velocidades de corte para este mecanizado, es así que se tiene los parámetros finales para el husillo.

2.9.2 Velocidad de avance:

En la determinación de la velocidad de avance se toma en consideración las pruebas iniciales en donde a mayor es la velocidad de avance la broca se tiende a detener o bloquearse durante el proceso, es así que de igual forma, como se mencionó en el numeral 2.6.1 se procede a realizar la disminución de los parámetros tomando como base la velocidad de avance del fabricante y realizando una reducción de 20%, teniendo así los siguientes valores:

- Avance bajo: 0.076 [mm/rev]
- Avance medio: 0.096 [mm/rev]
- Avance alto: 0.12 [mm/rev]

Para la utilización de estos parámetros se deberá transformar en unidades correspondientes por lo cual se utilizara la formula descrita en el literal 1.4.5.2 para la velocidad de avance con unidades en mm/min, además de ello se utiliza los datos obtenidos en el literal 2.8.2, en este caso a diferencia de la velocidad del husillo el valor transformado variara en función a la velocidad del husillo ya que como se observa en la formula ya antes mencionada de avance de la herramienta esta es dependiente directamente de la velocidad del husillo es así que se obtiene la siguiente lista de valores en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Velocidad de avance obtenida para la experimentación. Fuente: Propia

Avance	Valor de avance [m/rev]	Velocidad	Velocidad [RPM]	Avance [mm/min]
Bajo	0.072	Baja	381.97	27.50
		Media	458.37	33.00
		Alta	534.76	38.50
Medio	0.096	Baja	381.97	36.67
		Media	458.37	44.00
		Alta	534.76	51.34
Alto	0.12	Baja	381.97	45.84
		Media	458.37	55.00
		Alta	534.76	64.17

Cabe recalcar que los valores de avance de la broca son propios de cada repetición es por ello que se estableció en el diseño de experimentación se realiza dos repeticiones.

2.9.3 Mecanizado

Una vez determinado las velocidades y avances a utilizar en las probetas se procede al montaje de las probetas en el centro de mecanizado utilizando mordazas como se observa en la Figura 2.15, posterior a ello se carga el código G con cada uno de los parámetros que se describen en la tabla de experimentación, previo a ello se procede a encerar la maquina con la probeta, esto se realiza con cada una de las 18 probetas centrando así la broca sobre el centro de la probeta y se da comienzo del proceso, cabe mencionar que para este proceso se realizó afilados de la broca, verificando si existe desgaste en la misma, para lo cual se desmonta la misma y se la afila a 135 [°] manteniendo así el ángulo original de la misma.



Figura 2.15 Proceso de mecanizado de las probetas a través de taladrado. Fuente: Propia.

2.10 Medición de rugosidad

La medición de rugosidad en el presente proyecto se lo realizado a través de un rugosímetro de marca Mitutoyo modelo SJ-210 de 4 [mN] con el cual se obtiene parámetros de rugosidad absoluta, relativa y demás, para el presente trabajo se consideró el promedio de 4 mediciones de la rugosidad absoluta para tener de esta manera obtener un valor más aproximado a la rugosidad general al interior del agujero (*Rugosímetro Portátil SurfTest SJ-210 - 178-561-02A | Mitutoyo, s. f.*).

Para la medición de las probetas se procedió a montarlas sobre un banco de pruebas que consta de una tuerca en la cual se enrosca la probeta para que se mantenga inmóvil, se realizó la toma de datos en 4 puntos distintos del agujero rotando la probeta 45 [°] como



Figura 2.16 Medición de una probeta con el rugosímetro Mitutoyo. Fuente: Propia.

se observa en la Figura 2.16.

2.11 Medición de diámetros en las perforaciones.

Una vez obtenidas las probetas se procede a la medición de las perforaciones, utilizando un calibrador digital de marca Insize como se representa en la Figura 2.17, para lo cual se procedió a la toma de datos en 3 puntos distintos para de esa forma reducir el error en la medición. El diámetro interno del agujero tiene un relevante efecto en el proceso ya que se espera obtener medidas similares a la de la broca.

Se espera obtener un agujero con una calidad en la tolerancia de entre 9 y 13 debido al proceso que se utilizó conforme a la tabla especificada en el numeral 1.4.7, además de una tolerancia entre A y H.



Figura 2.17 Medición de diámetro en las perforaciones de las probetas. Fuente: Propia

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

En esta sección se analiza los resultados obtenidos mediante la experimentación realizada y se comparará los resultados en función a los parámetros evaluados, como el tiempo de mecanizado, el diámetro interno y su error relativo además de la rugosidad media.

3.1.1 Experimentación en probetas AISI 4140

Tras la experimentación se obtuvo los valores descritos en el Anexo I, y son resumidos en la Tabla 3.1 con los valores principales:

Tabla 3.1 Tabla de valores resumidos obtenidos tras la experimentación. Fuente: Propia

# de probeta	Código de la probeta	Avance de herramienta [m/rev]	Velocidad de corte [mm/min]	Velocidad del husillo [RPM]	Velocidad de avance [mm/min]	Rugosidad promedio [μm]	Diametro promedio [mm]	Tiempo de mecanizado [hh:mm:ss]
1	VBAB1	0.072	15	381.97	27.50	5.35	12.86	00:00:45
2	VMAB1	0.072	18	458.37	33.00	5.31	12.88	00:00:44
3	VAAB1	0.072	21	534.76	38.50	5.05	12.83	00:00:36
4	VBAM1	0.096	15	381.97	36.67	5.25	12.61	00:00:34
5	VMAM1	0.096	18	458.37	44.00	5.75	12.62	00:00:29
6	VAAM1	0.096	21	534.76	51.34	4.51	12.88	00:00:26
7	VBAA1	0.12	15	381.97	45.84	5.72	12.55	00:00:29
8	VMAA1	0.12	18	458.37	55.00	5.77	12.51	00:00:26
9	VAAA1	0.12	21	534.76	64.17	4.14	12.53	00:00:21
10	VBAB2	0.072	15	381.97	27.50	4.40	12.54	00:00:45
11	VMAB2	0.072	18	458.37	33.00	6.00	12.54	00:00:44
12	VAAB2	0.072	21	534.76	38.50	5.14	12.64	00:00:36
13	VBAM2	0.096	15	381.97	36.67	5.94	12.64	00:00:34
14	VMAM2	0.096	18	458.37	44.00	5.37	12.61	00:01:24
15	VAAM2	0.096	21	534.76	51.34	5.31	12.65	00:00:26
16	VBAA2	0.12	15	381.97	45.84	6.14	12.82	00:00:28
17	VMAA2	0.12	18	458.37	55.00	6.75	12.80	00:00:24
18	VAAA2	0.12	21	534.76	64.17	5.59	12.71	00:00:21

3.1.2 Tiempo de mecanizado.

Para tener en cuenta el tiempo de mecanizado se lo debe relacionar directamente con la velocidad de avance, por lo que a mayor velocidad de avance se espera obtener resultados con menores tiempos de mecanizado.

A continuación, se representan la variación de la velocidad de avance [m/rev] en función del tiempo [s] para cada una de las repeticiones.

Es así que la primera repetición se muestra en la Figura 3.1

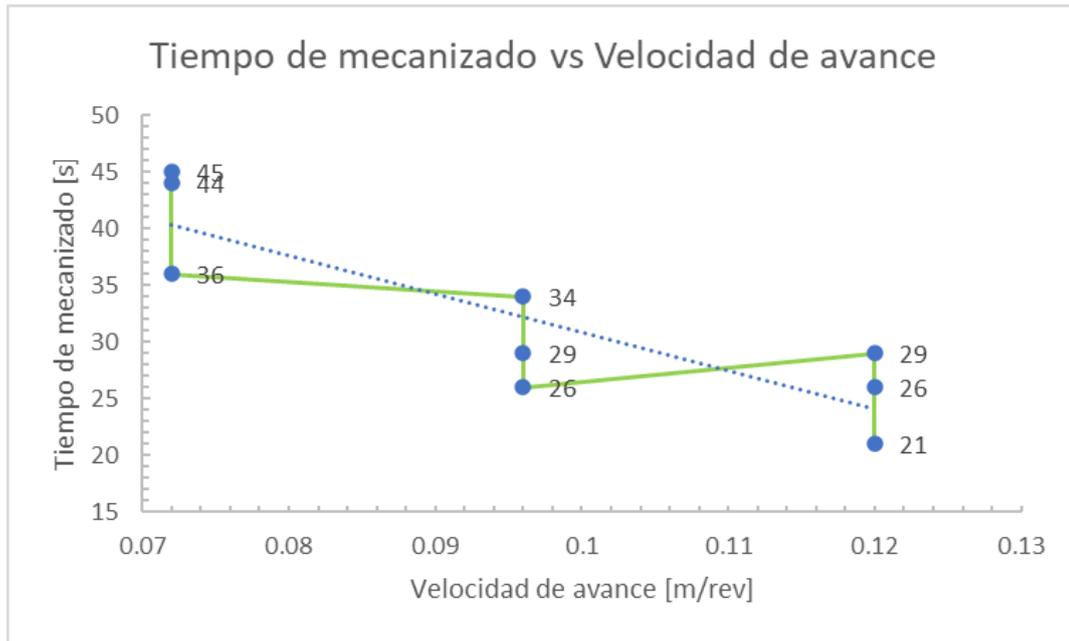


Figura 3.1 Tiempo de mecanizado vs velocidad de avance en la primera repetición. Fuente: Propia

Mientras que para la segunda repetición se muestra en la Figura 3.2

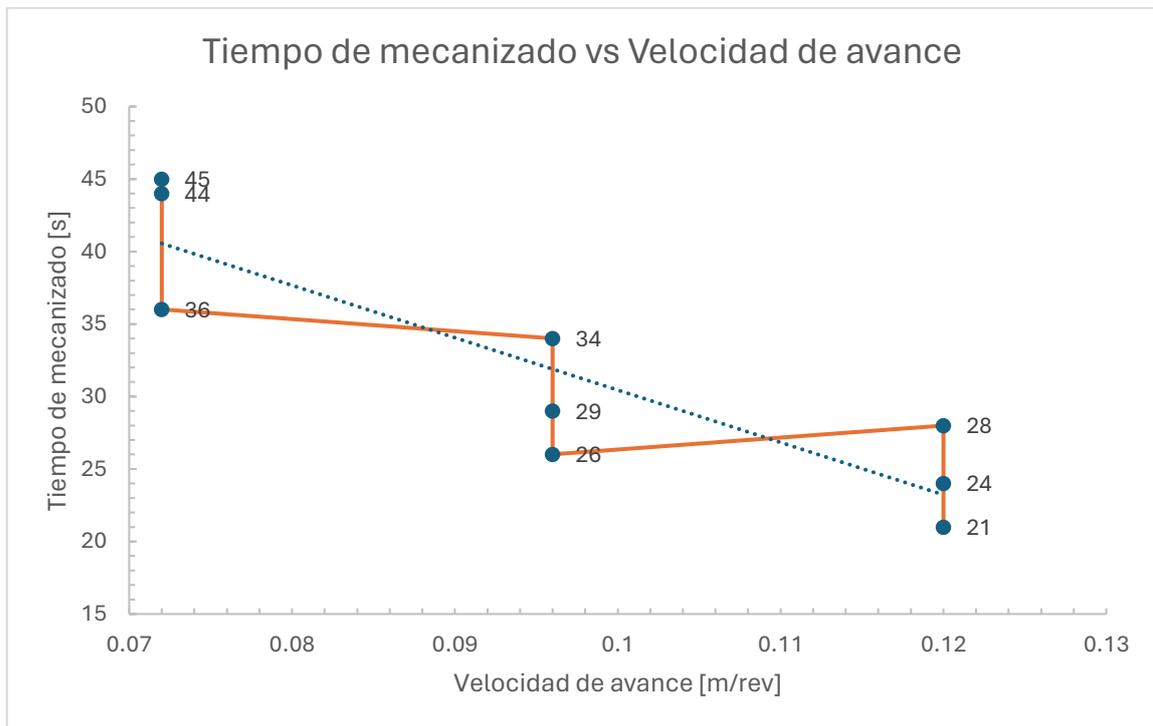


Figura 3.2 Tiempo de mecanizado vs velocidad de avance en la segunda repetición. Fuente: Propia

Como se observa en las Figuras 3.1 y 3.2 la línea de tendencia es decreciente por lo que se determina que el tiempo de mecanizado en las probetas varía directamente con la velocidad de avance es así que a mayor velocidad el tiempo será menor.

Además de ello se observa que las variaciones de tiempo son similares con cada repetición teniendo así que a una velocidad de avance de 0.072 [m/rev] el tiempo vario en 9 segundos, a una velocidad de 0.096 [m/rev] varia en 8 segundos y finalmente a 0.12[m/rev] la velocidad varia en 8 y 7 segundo para cada repetición, en esta última se observa que el tiempo disminuye con la segunda repetición, y esto se puede deber a que la broca tuvo que ser afilada, proporcionando así una mejora en el tiempo, con ello se determina que la probetas VAAA1 y VAAA2 son las que cuentan con el menor tiempo de mecanizado las que se encuentran en la Figura 3.3.



Figura 3.3 Probetas con menor tiempo de mecanizado VAAA1 (izq.) y VAAA2 (der.). Fuente: Propia.

3.1.3 Medición en el diámetro y error obtenido.

El diámetro interno que se espera obtener es de 12.5 [mm] el cual corresponde al diámetro de la broca sin embargo el mismo no depende de los parámetros evaluados, cabe recalcar que el diámetro del agujero obtenido puede ser afectado por el acople portabrocas utilizado, debido a que el mismo no está diseñado para el tamaño de broca y se lo adapto con un buge, sumado a ello como ya se describe en el numeral 2.9.3 se realizó el afilado de la ya mencionada broca para lo cual se la desmontaba y se reacomodaba en la pinza de sujeción.

En la Figura 3.4 se representa los diámetros en cada una de las probetas mecanizadas en las cuales se realizó un afilado previo a su mecanizado.

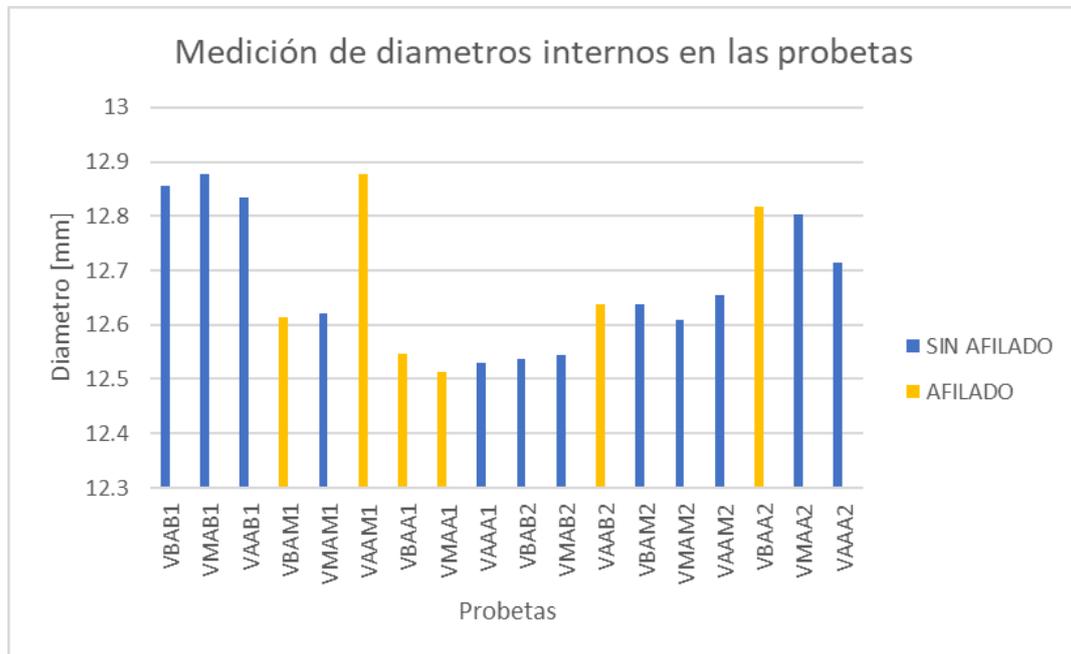


Figura 3.4 Diámetros internos con afilado en la broca y sin afilado previo. Fuente: Propia

En la Figura 3.4 se observa los diámetros promedios obtenidos en las mediciones de cada una de las probetas, para ello las primeras tres probetas se realizó con la broca sin realizar un afilado previo, sin embargo para la probeta VAAB1 se procedió a un afilado en ella se observa que el diámetro del agujero disminuyo, esto se puede deber a que se reajusto la broca en la pinza de sujeción, posterior a esto se mecanizo la probeta VMAM1 donde el diámetro no cuenta con una variación significativa, en la probeta posterior VAAM1 se procedió a realizar un segundo afilado en la cual se desmonto la broca por lo que puede ser un factor para la variación tan grande obtenida en la medición, y esto se sustenta verificando que en la probeta VBAAB1 se procedió a un tercer afilado, en la Figura 3.5 se observa los errores relativos en cada una de las probetas.

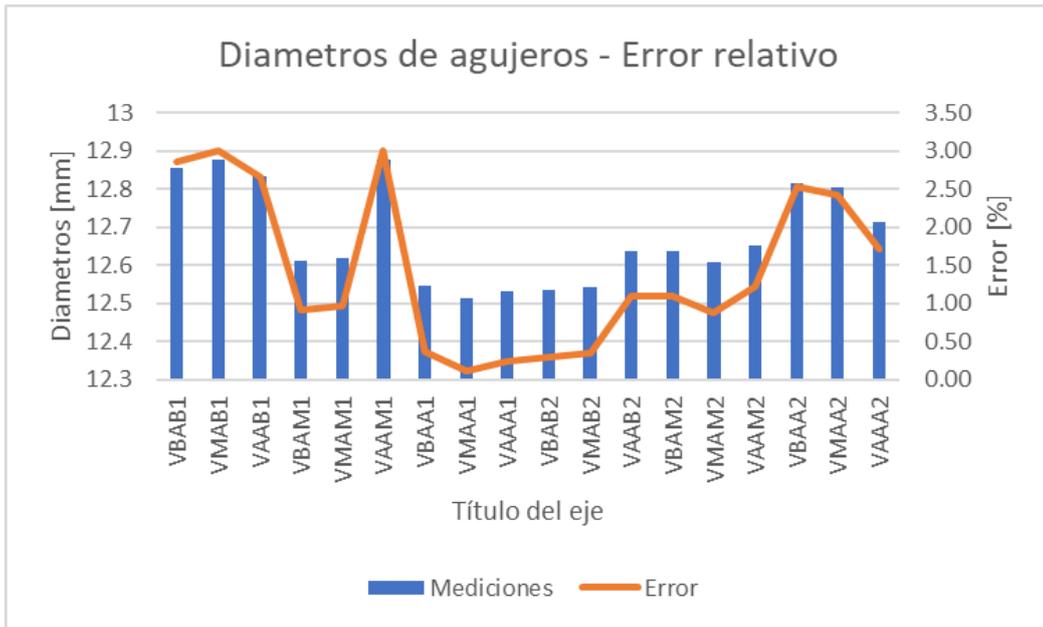


Figura 3.5 Diámetros en los agujeros y su error relativo considerando el diámetro de la broca. Fuente: Propia

En la Figura 3.5. se observa que el error de mayor magnitud obtenido es en la probeta VAAM1 con un valor de 3.01% la cual se muestra en la Figura 3.6 y la probeta con menor



Figura 3.6 Probetas con menor y mayor error relativo en su diámetro, VMAA1 (izq) y VAAM1 (der). Fuente: Propia

error es la probeta VMAA1 con 0.11% de error con relación al diámetro de la broca.

Es así que se cuenta con una tolerancia dimensional H7 aproximada la cual es considerada según la normativa ISO286, esta probeta es la que cuenta con el menor error en la diferencia de diámetros entre todas las probetas, es así que la probeta VMAA1



es la que cuenta con mejor dimensionamiento como se muestra la Figura 3.7:

Figura 3.7 Probeta con tolerancia H7, VMAA1. Fuente: Propia

3.1.4 Rugosidad y evaluación de parámetros

Tras realizar el análisis de Pareto para determinar la relevancia de los factores en el resultado y se muestra en la Figura 3.8.

Con esta figura se puede determinar que el parámetro de velocidad de corte es el cual afecta con mayor relevancia en la rugosidad obtenida para las probetas, teniendo así a su vez que el avance es el segundo parámetro más importante en la obtención de la rugosidad.

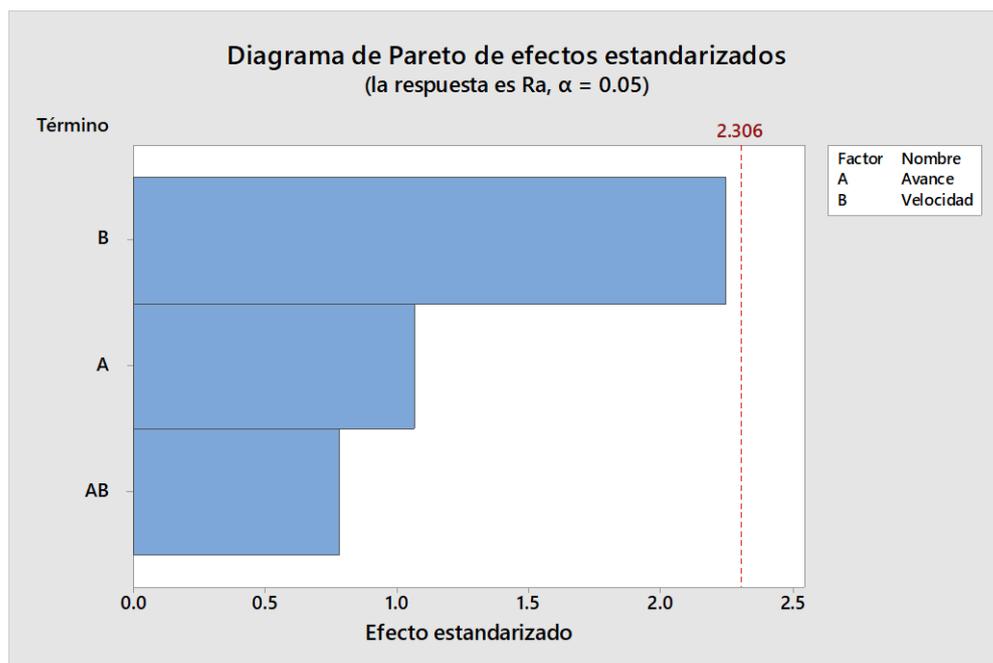
Es así que se realizara un análisis de la relevancia de la velocidad de corte en la rugosidad y a su vez el avance en la relevancia de la misma; la combinación de las mismas no cuenta con una relevancia fundamental por lo que no se realizara el análisis simultaneo de las mismas.

3.1.4.1 Velocidad de corte y rugosidad

A pesar de que la rugosidad es dependiente de valores como la velocidad de avance de la broca, tras el análisis realizado con el diagrama de Pareto, se determina que el parámetro de la velocidad de corte es el que resulta más representativo en la variación de

Figura 3.8 Diagrama de Pareto de los factores para su análisis. Fuente: Propia la ya mencionada rugosidad.

Para ello se realiza los siguientes gráficos donde se observa los tres valores de velocidad tomados, los gráficos se encuentran separados para observar las diferencias existentes entre la primera repetición y la segunda, teniendo así que para la primera repetición se



obtiene la Figura 3.9.

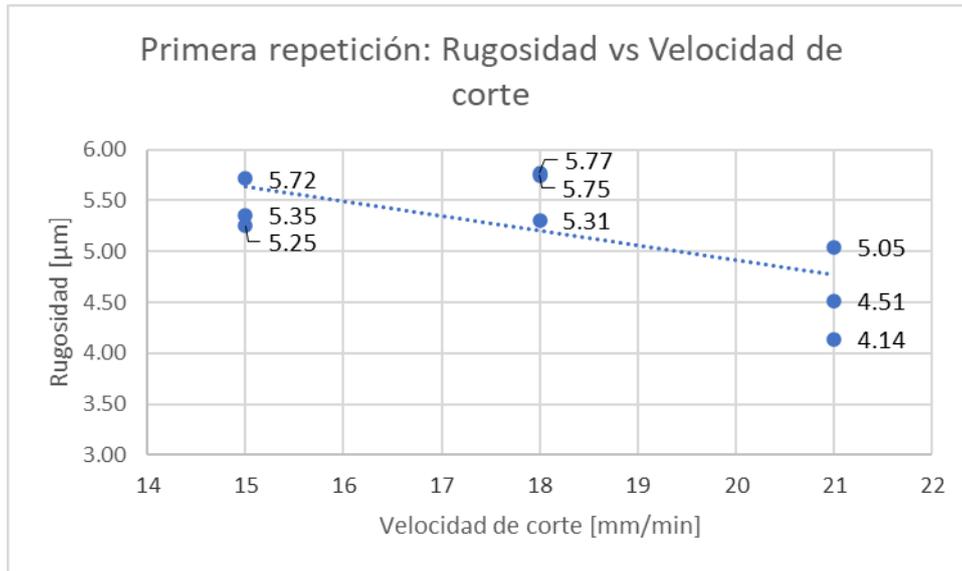


Figura 3.9 Rugosidad vs velocidad de corte en la primera repetición. Fuente: Propia

En la Figura 3.9 se observa que la rugosidad mínima se encuentra a mayor velocidad de corte es así el caso de la probeta VAAA1 la cual cuenta con un mejor acabado superficial, con una rugosidad de 4.1367 [μm] a una velocidad de corte de 21[mm/min], de igual forma se observa que para la primera repetición la probeta VMAA1 es la que cuenta con peor acabado superficial con una rugosidad de 5.7715 [μm] la cual se mecanizó a una velocidad de 18 [mm/min]; cabe destacar que la línea de tendencia es claramente negativa lo que implica que durante la primera repetición la calidad superficial tiende a mejorar conforme la velocidad de corte aumenta.

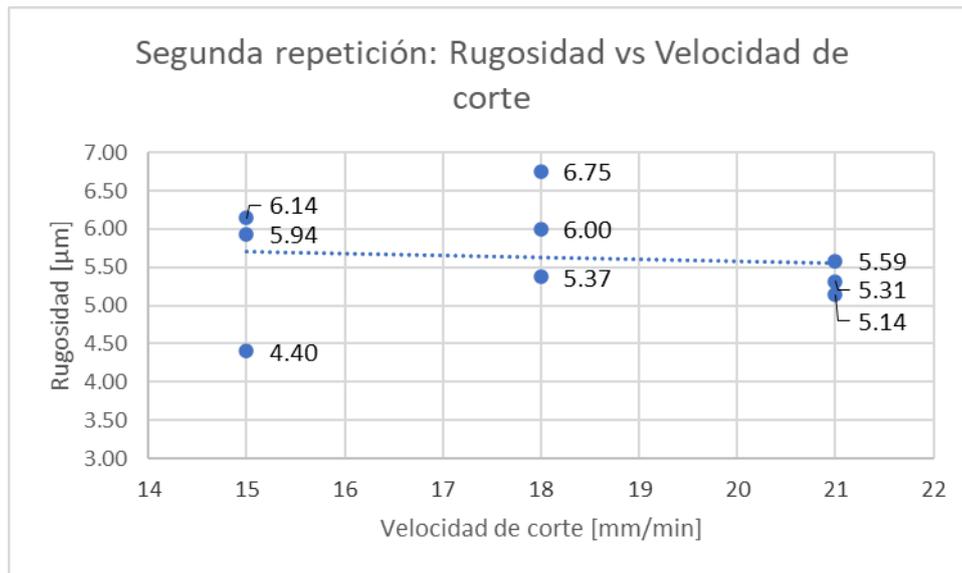


Figura 3.10 Rugosidad vs velocidad de corte para la segunda repetición. Fuente: Propia

Para la segunda repetición se obtuvo la Figura 3.10 descrita a continuación:

En esta repetición se observa que la línea de tendencia se mantiene negativo por lo que se determina que mientras mayor sea la velocidad de corte, la calidad superficial será mejor; a su vez se observa que la probeta VBAB2 es la que cuenta con mejor acabado superficial, con una rugosidad de 4.4005 [μm] a una velocidad de 15 [mm/min], a su vez la probeta con peor acabado superficial es la probeta VMAA2 con una rugosidad de 6.749 [μm] a una velocidad de 18 [mm/min].

Para obtener de manera general los datos y compararlos entre si se observa en la Figura 3.11 las dos repeticiones en conjunto y los valores de rugosidad por probeta.

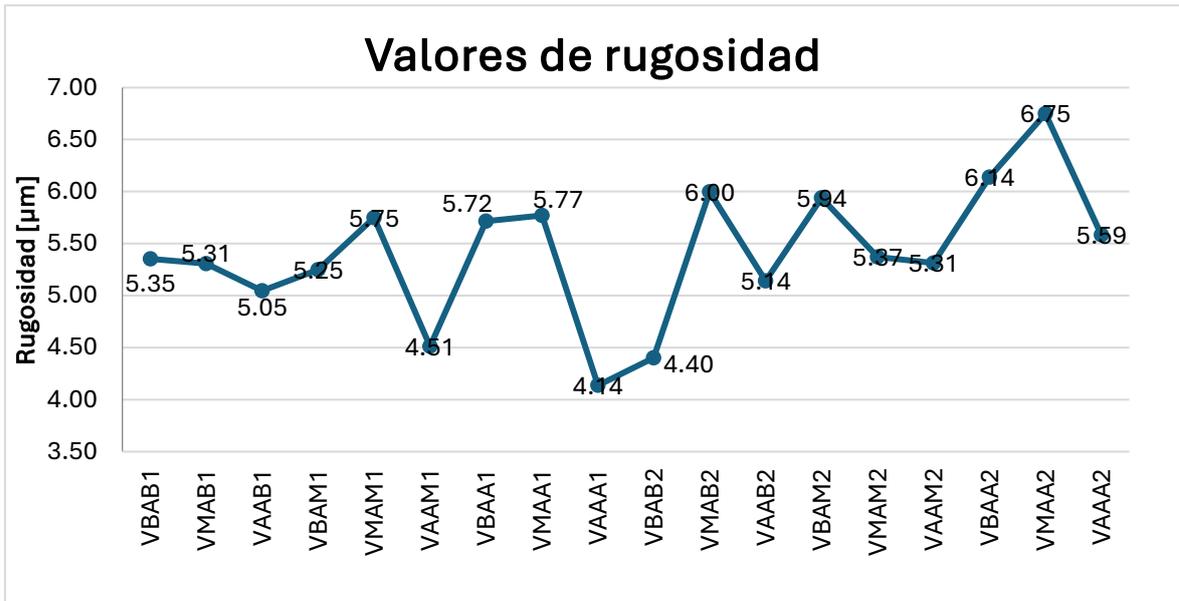


Figura 3.11 Valores de rugosidad por cada una de las probetas. Fuente: Propia.

En la Figura 3.12 se observa que la probeta con peor acabado superficial es la probeta VMAA2 con una rugosidad de 6.75 [µm] y la que cuenta con mejor acabado superficial es la probeta VAAA1 con valor de rugosidad de 4.14 [µm] vista en la Figura 3.13.



Figura 3.12 Probeta VMAA2 con peor acabado superficial. Fuente: Propia



Figura 3.13 Probeta VAAA1 con mejor acabado superficial. Fuente: Propia

Entre la primera y segunda repetición se observa que existe variaciones, esto se pudo deber al desgaste de la broca y su posterior afilado, en caso de que se hubiese utilizado una broca distinta para evaluar cada uno de los parámetros se estimaría que la variación sea menor o incluso no existiría dicha variación como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Variación de rugosidades entre la primera y segunda repetición. Fuente: Propia

Primera repetición		Variación de rugosidad	Segunda repetición	
Código de probeta	Rugosidad [μm]		Rugosidad [μm]	Código de probeta
VBAB1	5.35	0.95	4.40	VBAB2
VMAB1	5.31	0.69	6.00	VMAB2
VAAB1	5.05	0.10	5.14	VAAB2
VBAM1	5.25	0.69	5.94	VBAM2
VMAM1	5.75	0.38	5.37	VMAM2
VAAM1	4.51	0.80	5.31	VAAM2
VBAA1	5.72	0.43	6.14	VBAA2
VMAA1	5.77	0.98	6.75	VMAA2
VAAA1	4.14	1.45	5.59	VAAA2

En las probetas en las cuales se evidencio menor variación es entre la probeta VAAB1 y VAAB2 las cuales se evaluaron a velocidad alta y avance bajo, mientras que las probetas las cuales cuentan con mayor variación son VAAA1 y VAAA2 que fueron evaluadas a velocidad de corte y avance altos.

3.2 Conclusiones

Se consiguió evaluar los parámetros que influyen en el mecanizado mediante taladrado, para ello se realizó la experimentación en 18 probetas (divididas en dos grupos de 9 probetas) de acero AISI 4140 utilizando una broca IZAR HSSCo 5% de 12.5 [mm] de diámetro, esto se realizó con el fin de analizar la rugosidad y el diámetro.

Se obtuvo que la velocidad de corte es el parámetro más influyente al momento de obtener mejores acabados superficiales, cabe destacar que la velocidad de avance es el segundo parámetro más influyente, sin embargo, este es directamente proporcional a la velocidad de corte.

Se establece que la rugosidad es la condición en la cual las probetas se evaluaron para de esta forma determinar los parámetros óptimos en condiciones sin lubricación.

Tras el mecanizado de las probetas se evidencio que las probetas contaban con una tolerancia H7, por lo que la mejor probeta obtuvo una tolerancia $H7_{-0}^{+1}$, esto se pudo deber ya que se utilizó durante la experimentación pinzas de sujeción para la broca, esto no es del todo recomendable debido a que la broca no cuenta con el agarre necesario y puede permitir que exista un juego en la misma teniendo así errores en las dimensiones de las perforaciones, sumado a ello se realizó afilados en la broca los cuales se realizaron a partir de la observación de desgaste en el filo de la misma, por lo cual se extraía la broca y se la volvía a colocar afectando así las dimensiones de las perforaciones.

Se determinó que el tiempo de mecanizado se mantuvo para cada una de las probetas en las repeticiones que se realizaron, esto se espera debido a que el tiempo está directamente influenciado por la velocidad de avance y al realizar repeticiones con los mismos parámetros el tiempo no debería verse afectado.

Para el caso de la rugosidad los datos se midieron en 4 puntos diferentes del interior de la perforación, para la toma de datos se observó previamente que en la superficie del acero no exista rastros de oxido, existen errores entre cada repetición ya que la rugosidad no se mantiene constante y esto se puede deber a factores como el afilado de la broca.

Se concluye que los mejores parámetros de taladrado se encuentran a velocidad de corte alta teniendo así que la probeta con mejor acabado superficial se la realizo a una velocidad de corte de 534.76 [RPM] y avance de 64.17[mm/min] correspondiente a la probeta VAAA1, de igual forma el peor acabado superficial se realizó a una velocidad de

corte media el cual es 458.37 [RPM] y velocidad de avance de 55 [mm/min] correspondiente a la probeta VMAA2.

3.3 Recomendaciones

Para obtener mejores resultados en posteriores experimentaciones, se recomienda tener en cuenta el mantenimiento previo de la máquina herramienta.

Es recomendable contar con un mandril o pinza de sujeción adecuada para la broca ya que esta influye al momento de obtener dimensiones adecuadas.

La broca se debe mantener con un afilado adecuado previo a la perforación ya que de no contar con un buen afilado la misma puede sufrir atascos en el material, y a su vez contar con acabados superficiales de mala calidad.

Al momento de fijar los parámetros en la máquina es recomendable fijarse que la máquina se encuentre calibrada y encerada, esto permite evitar posibles fallos en la misma o en el material a mecanizar.

Se debe tener en cuenta las especificaciones del fabricante de la broca, debido a que pueden existir condiciones en las que se pueda ver afectados los parámetros a usar y de esta forma no se podrían obtener los resultados deseados.

Es recomendable tomar varios datos al momento de realizar las mediciones ya que el factor humano influye en los mismos, sumado a ello se debe verificar que las herramientas a utilizar se encuentran en buen estado y calibradas.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1016: 999.12,50 mm-BROCA HSSE DIN338N-. (s. f.). Recuperado 9 de diciembre de 2023, de <https://www.izartool.com/es/catalogos/catalogo-industrial/taladro/brocas-mango-cilindrico/1016/27755-1>
- 4140 Steel Applications | Waldun Steel. (s. f.). <https://waldunsteel.com/es/>. Recuperado 9 de diciembre de 2023, de <https://waldunsteel.com/es/4140-acero-aplicaciones/>
- Acero AISI / SAE 4140. (s. f.). *Cia. General de Aceros S.A.* Recuperado 4 de diciembre de 2023, de <https://www.cga.com.co/producto/acero-aisi-sae-4140/>
- Aceromafe, R. (2023, junio 7). AISI 4140 para las industrias. *Aceromafe*. <https://www.aceromafe.com/aisi-4140/>
- Ajuste, puesta en marcha y regulación de los sistemas mecánicos.* (s. f.). Recuperado 17 de enero de 2024, de <https://reader.digitalbooks.pro/content/preview/books/18727/book/OEBPS/Text/chapter01.html>
- Ajustes y Tolerancias en los Procesos de Mecanizado.* (s. f.). Recuperado 17 de enero de 2024, de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn19.html>
- ASME B46.1 Surface Texture—ASME.* (s. f.). Recuperado 4 de diciembre de 2023, de <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/b46-1-surface-texture>
- Chang Papa, R. R. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA FRESADORA CNC PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESOS*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Departamento de Ing. Mecánica, T. M. (s. f.). *Modulo III: Mecanizado por arranque de vituta. Tema: Taladrado.* https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/725_ca.pdf
- Fernández Pérez, J. (2020). *Estudio de los Procesos de Taladrado en Estructuras Aeronáuticas: Desgaste de herramientas, calidad y control del daño en el componente* [doctoralThesis]. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/32319>

- Gutiérrez Pulido, H. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* / (3a. ed.--). McGrawHill,.
- Hernández-Granados, J. B., Meneses-Guzmán, M., & Picado-Alvarado, F. (2014).
Determinación de material y condiciones de trabajo del Torno CNC en la
operación de cilindrado. *Revista Tecnología en Marcha*, 27(2), 32.
<https://doi.org/10.18845/tm.v27i2.1805>
- Línea ROMI C | Tornos CNC. (s. f.). ROMI S.A. Recuperado 14 de enero de 2024, de
<https://www.romi.com/es/produutos/tornos-cnc/>
- Moya Moya, E. R. (2018). *Estudio de los parámetros de taladrado de un composite de matriz poliéster con refuerzo híbrido de fibra de vidrio más fibra de cabuya y su incidencia en las características de acabado superficial*. [bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica].
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28172>
- Muñoz, M. (2018, abril 19). *¿Post Procesadores, que son? - Diseño programación y cursos CNC*. <https://marcosmunoz.com/post-procesadores-que-son/>,
<https://marcosmunoz.com/post-procesadores-que-son/>
- Rugosímetro Portátil SurfTest SJ-210—178-561-02A | Mitutoyo. (s. f.). Recuperado 14 de enero de 2024, de <https://mitutoyo.com.ar/surfTest-sj-210-serie-178-rugosimetro-portatil-178-561-02>
- Taladrado. (s. f.). Sandvik Coromant. Recuperado 19 de noviembre de 2023, de <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/drilling-formulas-definitions>
- VCM740 M400. (s. f.). ViwaCNC. Recuperado 14 de enero de 2024, de <https://viwacnc.com/productos/vcm740-m400>

5 ANEXOS

Anexo I:

Tiempo de mecanizado en cada una de las probetas.

# de probeta	Código de la probeta	Avance de herramienta [m/rev]	Tiempo de mecanizado [hh:mm:ss]	Tiempo de mecanizado [s]
1	VBAB1	0.072	00:00:45	45
2	VMAB1	0.072	00:00:44	44
3	VAAB1	0.072	00:00:36	36
4	VBAM1	0.096	00:00:34	34
5	VMAM1	0.096	00:00:29	29
6	VAAM1	0.096	00:00:26	26
7	VBAA1	0.12	00:00:29	29
8	VMAA1	0.12	00:00:26	26
9	VAAA1	0.12	00:00:21	21
10	VBAB2	0.072	00:00:45	45
11	VMAB2	0.072	00:00:44	44
12	VAAB2	0.072	00:00:36	36
13	VBAM2	0.096	00:00:34	34
14	VMAM2	0.096	00:00:29	29
15	VAAM2	0.096	00:00:26	26
16	VBAA2	0.12	00:00:28	28
17	VMAA2	0.12	00:00:24	24
18	VAAA2	0.12	00:00:21	21

ANEXO II:

DIÁMETRO PROMEDIO OBTENIDO EN LAS PROBETAS Y SU ERROR RELATIVO

# de probeta	Código de la probeta	Diametro promedio [mm]	Afilado	Error relativo[%]
1	VBAB1	12.86	X	2.85
2	VMAB1	12.88	X	3.01
3	VAAB1	12.83	X	2.67
4	VBAM1	12.61	A	0.91
5	VMAM1	12.62	X	0.96
6	VAAM1	12.88	A	3.01
7	VBAA1	12.55	A	0.37
8	VMAA1	12.51	A	0.11
9	VAAA1	12.53	X	0.24
10	VBAB2	12.54	X	0.29
11	VMAB2	12.54	X	0.35
12	VAAB2	12.64	A	1.09
13	VBAM2	12.64	X	1.09
14	VMAM2	12.61	X	0.88
15	VAAM2	12.65	X	1.23
16	VBAA2	12.82	A	2.53
17	VMAA2	12.80	X	2.43
18	VAAA2	12.71	X	1.71

ANEXO III:

RUGOSIDAD PROMEDIO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORTE.

Código de la probeta	Velocidad de corte [mm/min]	Rugosidad promedio [μm]
VBAB1	15	5.35
VMAB1	18	5.31
VAAB1	21	5.05
VBAM1	15	5.25
VMAM1	18	5.75
VAAM1	21	4.51
VBAA1	15	5.72
VMAA1	18	5.77
VAAA1	21	4.14
VBAB2	15	4.40
VMAB2	18	6.00
VAAB2	21	5.14
VBAM2	15	5.94
VMAM2	18	5.37
VAAM2	21	5.31
VBAA2	15	6.14
VMAA2	18	6.75
VAAA2	21	5.59

ANEXO IV: TABLA GENERAL DE DATOS OBTENIDOS.

Número de probeta	Repeticiones	Velocidad de avance [m/rev]	Velocidad de avance [mm/min]	Velocidad de corte [mm/min]	Velocidad del husillo [RPM]	Medidas de rugosidad				Rugosidad media (Ra) [μm]	Medidas de diámetros			Diametro promedio. [mm]	Codigo de la probeta	Afilado de broca
						R1	R2	R3	R4		D1	D2	D3			
1	1	0.072	27.50	15	381.97	5.82	5.59	5.00	5.37	5.35	12.85	12.86	12.86	12.86	VBAB1	x
2	1	0.072	33.00	18	458.37	5.03	4.78	5.71	4.57	5.31	12.89	12.88	12.86	12.88	VMAB1	x
3	1	0.072	38.50	21	534.76	4.24	4.10	5.92	5.91	5.05	12.82	12.86	12.82	12.83	VAAB1	x
4	1	0.096	36.67	15	381.97	6.82	5.83	4.17	4.77	5.25	12.61	12.63	12.60	12.61	VBAM1	A
5	1	0.096	44.00	18	458.37	5.90	5.90	5.60	5.41	5.75	12.61	12.62	12.63	12.62	VMAM1	X
6	1	0.096	51.34	21	534.76	4.20	5.04	4.41	5.30	4.51	12.87	12.88	12.88	12.88	VAAM1	A
7	1	0.12	45.84	15	381.97	6.42	5.40	5.52	6.61	5.72	12.54	12.55	12.55	12.55	VBAA1	A
8	1	0.12	55.00	18	458.37	5.88	6.31	5.45	6.20	5.77	12.51	12.51	12.52	12.51	VMAA1	A
9	1	0.12	64.17	21	534.76	4.79	3.32	4.22	4.21	4.14	12.51	12.53	12.55	12.53	VAAA1	X
10	2	0.072	27.50	15	381.97	4.33	4.49	4.39	5.30	4.40	12.54	12.53	12.54	12.54	VBAB2	X
11	2	0.072	33.00	18	458.37	5.95	6.51	5.77	6.55	6.00	12.55	12.55	12.53	12.54	VMAB2	X
12	2	0.072	38.50	21	534.76	5.46	4.69	5.21	4.69	5.14	12.60	12.64	12.67	12.64	VAAB2	A
13	2	0.096	36.67	15	381.97	6.50	5.82	5.72	6.18	5.94	12.60	12.67	12.64	12.64	VBAM2	X
14	2	0.096	44.00	18	458.37	6.43	5.43	4.82	5.53	5.37	12.67	12.50	12.66	12.61	VMAM2	X
15	2	0.096	51.34	21	534.76	5.36	5.61	5.14	6.09	5.31	12.64	12.65	12.67	12.65	VAAM2	X
16	2	0.12	45.84	15	381.97	5.68	7.28	5.80	6.04	6.14	12.80	12.83	12.82	12.82	VBAA2	A
17	2	0.12	55.00	18	458.37	5.38	7.20	7.21	6.12	6.75	12.82	12.79	12.80	12.80	VMAA2	X
18	2	0.12	64.17	21	534.76	5.60	6.21	5.26	6.40	5.59	12.70	12.73	12.71	12.71	VAAA2	X

ANEXO V: PROBETAS Y VIRUTAS OBTENIDAS.

3

Parte 1 de

Codigo de probeta	Probeta y su viruta	Rugosidad media (Ra) [μm]	Codigo de probeta	Probeta y su viruta	Rugosidad media (Ra) [μm]
VBAB1		5.35	VMAM1		5.75
VMAB1		5.31	VAAM1		4.51
VAAB1		5.05	VBAA1		5.72
VBAM1		5.25	VMAA1		5.77

Parte 2 de 3

Codigo de probeta	Probeta y su viruta	Rugosidad media (Ra) [μm]	Codigo de probeta	Probeta y su viruta	Rugosidad media (Ra) [μm]
VAAA1		4.14	VBAM2		5.94
VBAB2		4.40	VMAM2		5.37
VMAB2		6.00	VAAM2		5.31
VAAB2		5.14	VBAA2		6.14

Codigo de probeta	Probeta y su viruta	Rugosidad media (Ra) [μm]
VMAA2		6.75
VAAA2		5.59