

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MECANIZADO EN LA FABRICACIÓN DE ROSCAS EN EJES DE ACERO AISI 4140 USANDO EQUIPOS CNC BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE LUBRICACIÓN**

#### **COMPONENTE:**

#### **DISEÑO Y FABRICACIÓN DE EJES ROSCADOS CAM – SIN LUBRICACIÓN**

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

**JHOSTYN STEEVEN MANZANO FUENTES**

**jhostyn.manzano@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: CESAR RICARDO AYABACA SARRIA**

**cesar.ayabaca@epn.edu.ec**

**DMQ, febrero 2023**

## CERTIFICACIONES

Yo, **Jhostyn Steeven Manzano Fuentes**, 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.



---

**STEEVEN MANZANO**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por **Jhostyn Steeven Manzano Fuentes**, bajo mi supervisión.



---

**CESAR AYABACA**

**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.

JHOSTYN STEEVEN MANZANO FUENTES

ING. CÉSAR RICARDO AYABACA SARRIA

ING. JAVIER VALVERDE

ING. PATRICIO FUENTES

TÉCNICO LUIS GUAMÁN

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, familiares y amigos.

Especialmente a mis padres, Iván y Rosa, que me han permitido llegar hasta este momento gracias a su apoyo incondicional, y al esfuerzo y dedicación con los que cultivaron mis creencias y valores. A quienes amo y amaré con todo mi corazón en momentos de prosperidad y adversidad. Por esto y muchísimo más, este trabajo se los dedico.

A mis hermanos, Nahomi y Stalin, que sobre todo han sido una fuente de desafíos, sorpresas y alegrías todos los días. Por muchas horas de juegos y risas, y por ser quienes me han enseñado (a su manera) mis fortalezas y mi valor como persona. Les agradezco por todo, ustedes saben que los quiero, y este trabajo se los dedico.

Y a mis mejores amigos, esto va por ustedes. A Tamara, Sebastián y David. Han sido los mejores consejeros y compañeros de vida que podría tener y no los cambiaría por nada; y a todas las personas importantes para mí de las que aprendí pequeñas lecciones, que he conocido durante mi vida y mi carrera.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional, por abrirme las puertas a mi carrera y a La Facultad de Ingeniería Mecánica, a sus profesores y al personal administrativo, por la orientación y la ayuda brindada a lo largo del tiempo.

Le agradezco al Ing. Cesar Ayabaca, por darme la oportunidad de abordar este tema de estudio y por los consejos que nos ha dado a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Al Laboratorio de Máquinas y Herramientas y a todos nuestros colaboradores: al Ing. Javier Valverde, Ing. Patricio Fuentes, y al técnico Luis Guamán por hacer de este trabajo una tarea más favorecedora y sencilla para mi compañero y yo.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## 1. CONTENIDO

### 1.1 Índice de contenido

1. Contenido .....	V
1.1 Índice de contenido .....	V
1.2 Índice de figuras .....	VI
1.3 Índice de tablas .....	VII
2. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
2.1 Objetivo general .....	1
2.2 Objetivos específicos .....	1
2.3 Alcance .....	2
3. Marco teórico .....	2
3.1 Roscado en Torno CNC .....	2
3.2 Parámetros de roscas .....	2
3.3 Tipos de perfiles de roscas .....	3
3.4 Designación de roscas métricas ISO .....	4
3.5 Lubricación en mecanizado.....	5
3.5.1 Taladrinas.....	5
3.5.2 Aceites de corte.....	5
3.6 Mecanizado sin lubricación .....	6
3.7 Torno manual .....	6
3.8 Torno CNC .....	7
3.9 Torno ROMI C420 .....	7
3.10 Programación CNC para roscado .....	8
3.10.1 Código G .....	8
3.10.2 Ciclo de Roscado .....	9
3.11 Herramientas de roscado.....	10
3.12 Parámetros de roscado.....	11
3.13 Clasificación de materiales según norma ISO 513 .....	11
3.14 Control de viruta en procesos de roscado.....	12
4. METODOLOGÍA .....	14
4.1 Planteamiento y flujo de procesos .....	14
4.2 Material utilizado .....	16

4.3	Análisis preliminar del roscado.....	16
4.4	Máquinas y preparación de las muestras.....	19
4.5	Obtención de parámetros de experimentación del roscado. ....	20
5.	Experimentación .....	25
6.	RESULTADOS y análisis.....	27
6.1	Resultados .....	27
6.2	Análisis de resultados .....	32
7.	Conclusiones .....	35
8.	Recomendaciones .....	35
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
10.	ANEXOS .....	37

## 1.2 Índice de figuras

<b>Figura 3.1.</b>	Partes del filete de la rosca .....	2
<b>Figura 3.2.</b>	Parámetros geométricos de la rosca .....	3
<b>Figura 3.3.</b>	Tipos de roscas según el perfil. a) Trapezoidales. b) Triangulares. c) Redondas. d) Cuadradas.....	4
<b>Figura 3.4.</b>	Torno marca Nosotti.....	7
<b>Figura 3.5.</b>	Torno CNC ROMI C420 del LABINTECDIMP.....	8
<b>Figura 3.6.</b>	Unidad de control del torno CNC ROMI C420. ....	8
<b>Figura 3.7.</b>	Inserto para roscado y portaherramientas marca SANDVIK.....	10
<b>Figura 3.8.</b>	Herramientas de widia para roscado. ....	11
<b>Figura 3.9.</b>	Clasificación de materiales según norma ISO 513. ....	12
<b>Figura 3.10.</b>	Diagrama de rotura de virutas según el avance y la profundidad de corte...13	
<b>Figura 3.11.</b>	Tipos de viruta según la norma ISO 3685. ....	14
<b>Figura 4.1.</b>	Diagrama de flujo del proceso de experimentación. ....	15
<b>Figura 4.2.</b>	Probeta de acero AISI 4140. ....	16
<b>Figura 4.3.</b>	Dimensiones principales de la herramienta de roscado.....	17
<b>Figura 4.4.</b>	Modelo referencial de plaquita de roscado. ....	17
<b>Figura 4.5.</b>	Plano de la pieza terminada. ....	19
<b>Figura 4.6.</b>	Selección de material en simulador de SANDVIK .....	21
<b>Figura 5.1.</b>	Tuerca obtenida para la prueba de roscado. ....	26
<b>Figura 5.2.</b>	Verificación de rosca y obtención de viruta. ....	27
<b>Figura 6.1.</b>	Defectos en el acabado de roscas. a) Ondulaciones. b) Desgaste irregular..32	

<b>Figura 6.2.</b> Resultado de la probeta 20. ....	33
<b>Figura 6.3.</b> Resultado de la probeta 43. ....	33
<b>Figura 6.4.</b> Gráfica de tiempo según revoluciones por minuto. ....	34

### **1.3 Índice de tablas**

<b>Tabla 4.1.</b> Propiedades del material AISI 4140. ....	16
<b>Tabla 4.2.</b> Datos geométricos del inserto para roscado. ....	17
<b>Tabla 4.3.</b> Penetraciones máximas de roscado. ....	18
<b>Tabla 4.4.</b> Dimensiones recomendadas para roscas métricas ISO de paso 3mm de tolerancia 6g (paso grueso). ....	18
<b>Tabla 4.5.</b> Recomendaciones de velocidad de corte para torneado de roscas. ....	20
<b>Tabla 4.6.</b> Valores de RPM escogidos. ....	21
<b>Tabla 4.7.</b> Cálculo de profundidades por pasada con base en la norma ISO DIN 13. ....	23
<b>Tabla 4.8.</b> Cálculo de profundidades por pasada con base en el fabricante SANDVIK. ....	24
<b>Tabla 4.9.</b> Cálculo de profundidades por pasada constantes. ....	25
<b>Tabla 5.1.</b> Organización para la ejecución de los roscados. ....	25
<b>Tabla 6.1.</b> Resultados de la experimentación en el mecanizado de roscas. ....	28
<b>Tabla 6.2.</b> Registro fotográfico de las probetas ensayadas (Parte 1). ....	29
<b>Tabla 6.3.</b> Registro fotográfico de las probetas ensayadas (Parte 2). ....	30
<b>Tabla 6.4.</b> Registro fotográfico de las probetas ensayadas (Parte 3). ....	31

## RESUMEN

En la ejecución de roscados, la influencia de tres parámetros es fundamental para definir la ejecución y el resultado de una rosca: Las revoluciones por minuto, la profundidad de corte y la lubricación. En este trabajo, para ejes de acero AISI 4140 y haciendo uso de las herramientas y los tornos del laboratorio LABINTECDIMP de la EPN, se ha tomado para la experimentación varias combinaciones de estos parámetros provenientes de normas y recomendaciones de fabricantes, a fin de determinar en qué arreglo de variables se obtiene un buen acabado de rosca y un buen control de viruta en un entorno de mecanizado sin lubricación. Para ello, se ha usado la verificación de pase de rosca con una tuerca comercial y se ha recopilado muestras de viruta a fin de relacionar las muestras obtenidas con los parámetros correspondientes, en los que se observaron variaciones importantes según la combinación. Esto ha permitido realizar la selección de los parámetros más adecuados para el mecanizado de roscas, así como también determinar posibles alternativas que permitan ajustar la productividad, la calidad del roscado y la vida útil de la herramienta en el proceso.

**PALABRAS CLAVE:** Roscado, paso, parámetros, rpm, profundidad, lubricación, viruta, torno, CNC, acero, tolerancia, SANDVIK, ISO, DIN.

## ABSTRACT

In the execution of threading, the influence of three parameters is fundamental to define the execution and the result of a thread: The revolutions per minute, the depth of cut and the lubrication. In this work, for AISI 4140 steel shafts and using the tools and lathes of the LABINTECDIMP laboratory in the EPN, several combinations of these parameters from standards and manufacturers' recommendations have been taken for experimentation, to determine in which arrangement of variables a good thread finish and a good chip control are obtained in a machining environment without lubrication. For this purpose, thread pass verification with a commercial nut has been used and chip samples have been collected to relate the obtained samples to the corresponding parameters, where significant variations were observed depending on the combination. This has allowed the selection of the most suitable parameters for thread machining, as well as to determine possible alternatives to adjust productivity, threading quality and tool life in the process.

**KEYWORDS:** Threading, pitch, parameters, rpm, depth, lubrication, chip, lathe, CNC, steel, tolerance, SANDVIK, ISO, DIN.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

En este componente se evalúan los parámetros de mecanizado para un proceso en el que no se utiliza un lubricante. En procesos se usan lubricantes para mejorar el desempeño de la herramienta y el comportamiento estable del material. Generalmente estos aditivos se componen adicionalmente de refrigerantes y otros componentes que tienen varias ventajas como la reducción de vibraciones y la obtención de mejores acabados. Sin embargo, la principal ventaja de un mecanizado en seco es que se puede eliminar completamente el fluido lubricante en condiciones adecuadas y, por tanto, se elimina la necesidad de prescindir y tratar con lubricantes. Como ventaja elimina costes de producción por adquisición de lubricantes y por ende se tienen procesos más sostenibles a largo plazo. Esta y otras razones se tratan en el componente, en el que se busca analizar los resultados de las muestras, analizando si en el caso a tratar existe la posibilidad de que la lubricación sea de influencia considerable en la obtención final de los roscados.

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar de los parámetros de mecanizado en la fabricación de roscas en ejes de acero AISI 4140 usando equipos CNC bajo diferentes condiciones de lubricación.

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Preparar muestras de acero AISI 4140 con dimensiones óptimas para la ejecución de roscados.
2. Ejecutar los roscados en las muestras, variando los parámetros de mecanizado para cada una.
3. Evaluar los parámetros de mecanizado y analizar los resultados obtenidos en las muestras.

## 2.3 Alcance

Este trabajo está determinado a analizar los parámetros de mecanizado en roscados sobre el acero escogido. Se evaluarán las variables definibles para el mecanizado de roscas, realizando pruebas con la variación de estas en muestras de acero comercial.

La realización de los roscados se realiza sin lubricación. El fin de esta decisión es realizar una comparación con los resultados obtenidos en muestras en las que se trabaja con lubricación y determinar si existen diferencias considerables entre ambos procesos.

El acero utilizado para esta evaluación se considera de alta resistencia y estabilidad, por lo que se espera obtener resultados que no dependan de las propiedades de este. Una evaluación similar se esperaría obtener en aceros similares de alta resistencia, pero los resultados se definen y analizan para este acero en específico.

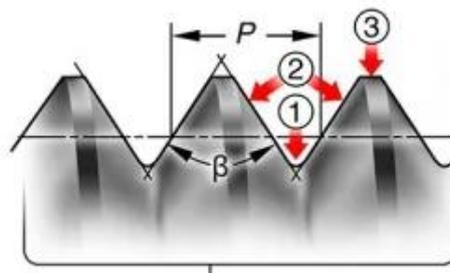
## 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1 Roscado en Torno CNC

El proceso de roscado es una operación que realiza el corte de material de forma helicoidal a lo largo de un eje. La herramienta realiza varias pasadas por la misma trayectoria y a diferente profundidad para obtener el perfil de roscado. Existen varios tipos de rosca que pueden ser exteriores, interiores y cónicas (SANDVIK Coromant).

### 3.2 Parámetros de roscas

Una rosca se conforma de varias partes, como se muestra en la figura 3.1:



**Figura 3.1.**Partes del filete de la rosca.

Fuente: (SANDVIK Coromant).

Donde:

1: Valle. Es la parte más baja donde se unen los flancos de la rosca.

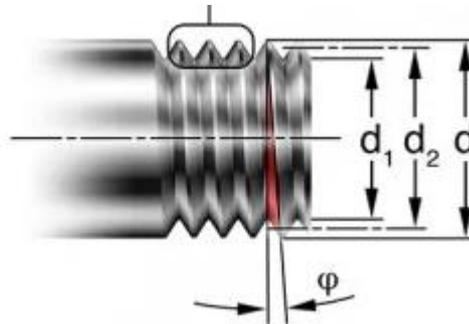
2: Flanco. Es la superficie lateral de la rosca.

3: Cresta. Es la parte más alta donde se unen los flancos de la rosca.

P: Es la distancia entre dos puntos iguales de la rosca, conocida como el paso.

$\beta$ : El ángulo del perfil de la rosca.

También la rosca cuenta con varios parámetros que definen su geometría, como se puede ver en la figura 3.2:



**Figura 3.2.** Parámetros geométricos de la rosca.

Fuente: (SANDVIK Coromant).

Donde:

$d_1$ : Diámetro menor.

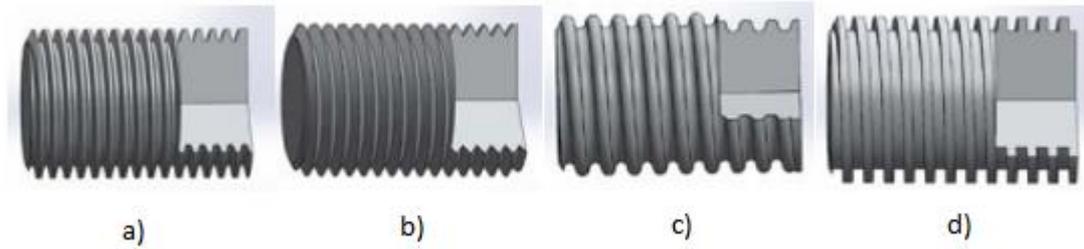
$d_2$ : Diámetro primitivo.

$d$ : Diámetro mayor.

$\varphi$ : Ángulo helicoidal de la rosca.

### 3.3 Tipos de perfiles de roscas

Existen diferentes tipos de roscas según el perfil que se pueden considerar en un mecanizado (SENA, 2019):



**Figura 3.3.** Tipos de roscas según el perfil. a) Trapezoidales. b) Triangulares. c) Redondas. d) Cuadradas.

Fuente: (SENA, 2019).

- Trapezoidales. Se usan en diversos mecanismos que requieran una transmisión de potencias o de movimientos.
- Triangulares. Se usan comúnmente en elementos de unión.
- Redondas. Se utilizan en condiciones más agresivas de desgaste para la transmisión de potencia. Su unión es la más sencilla pero su perfil es complejo.
- Cuadradas. Se utilizan en mecanismos para la transmisión de movimiento.

(NTE INEN 514, 2013)

Las roscas también pueden clasificarse según su posición (NTE INEN 137, 1998):

- Roscas externas. Se mecanizan en la parte exterior de un eje.
- Roscas internas. Se mecanizan en la parte interior de un eje.
- Rosca cilíndrica. Esta rosca tiene un ángulo nulo respecto al eje en el que se realiza.
- Rosca cónica. Esta rosca tiene un ángulo respecto al eje en el que se realiza.
- Roscas simples. Formadas por un solo filete.
- Roscas múltiples. Formadas por varios filetes.
- Roscas derechas e izquierda. El roscado se da en el sentido horario y antihorario, respectivamente.

### 3.4 Designación de roscas métricas ISO

En los perfiles básicos de roscas métricas de las normas ISO se trata con la designación empezando por la letra M, seguidos del valor del diámetro nominal y el paso (NTE INEN 514, 2013).

También se pueden realizar especificaciones de tolerancias para los diámetros de la rosca. Por ejemplo:

M10x1 5g 6g

En esta designación, por ejemplo, se da adicionalmente medidas de tolerancias para los diámetros de paso (5g) y diámetro mayor (6g) de una rosca externa. En caso de tener pasos establecidos en la norma ISO 261, se puede omitir el paso en la designación, y dependiendo de si las tolerancias son las mismas o diferentes, se coloca uno o dos valores de tolerancia, respectivamente. Por ejemplo:

M10 5g

De igual forma, existen designaciones para roscas según su sentido y sus entradas.

### **3.5 Lubricación en mecanizado.**

La lubricación en procesos de mecanizado tiene como función disminuir las fuerzas ejercidas sobre la herramienta, así como también reducir su desgaste (Mecanizados Inter2000 SLU, 2020).

#### **3.5.1 Taladrinas**

Este es un producto lubricante y refrigerante, compuesto de agua y aceite. Existen dos tipos de taladrina:

- Taladrina verde. Usualmente utilizada como refrigerante con propiedades contra la corrosión. Se suele usar en rectificadores o afilados.
- Taladrina blanca. Funciona como lubricante y refrigerante, es anticorrosivo y se puede usar en todo tipo de mecanizados.

#### **3.5.2 Aceites de corte**

Para este tipo de lubricantes también se utiliza dos tipos:

- Aceite de corte común. Este lubricante favorece al rendimiento de las herramientas, además de proporcionar acabados finos en el mecanizado de aceros y aleaciones y otros materiales. Además, es anticorrosivo y antioxidante.

- Aceite de corte emulsionable. Es un lubricante de alto rendimiento anticorrosivo y refrigerante, generalmente usado en aleaciones duras. Reduce el calor y las vibraciones en el mecanizado.

### **3.6 Mecanizado sin lubricación**

El mecanizado en seco es un proceso en el que se obtienen las piezas mediante corte de viruta, pero sin usar ningún componente líquido adicional en el contacto entre la herramienta y la pieza.

Una de las desventajas de usar lubricantes son los costos de mantenimiento de lubricantes y otras razones menores como los choques térmicos, y a medida que surgen continuos avances en materiales de corte especializados en el mecanizado en seco, provocan el uso de este proceso.

En empresas que fabrican piezas en serie donde la alta precisión en el acabado de las piezas no es un requisito, el mecanizado sin lubricación se vuelve un proceso común. Además, que se considera un procedimiento más seguro, por las posibles afectaciones que puede tener un uso de lubricante en la salud de los empleados.

El mecanizado en seco ocupa aproximadamente un 15% de los procesos de mecanizado actuales. Sin embargo, se busca que este proceso se utilice cada vez en más procesos para obtener las ventajas antes mencionadas (Mecanizados Inter2000 SLU, 2020).

### **3.7 Torno manual**

Un torno manual es capaz de dar formas a piezas y elementos de revolución con la total necesidad de un operario en todo momento. En el laboratorio se cuenta con tornos paralelos medianos marca NOSOTTI.



**Figura 3.4.** Torno marca Nosotti.

Fuente: Propia

El torno puede trabajar en un rango de entre 45 a 1500 rpm. Esto se logra mediante un mecanismo de ruedas dentadas intercambiables en la máquina y una serie de palancas de cambios. Con este sistema se puede lograr hasta 12 diferentes velocidades con una combinación de números (1 y 2) y letras (A, B y C) que se pueden apreciar en la placa encima de las palancas.

### **3.8 Torno CNC**

Un torno CNC es una máquina, que, combinada con programación, es capaz de ejecutar operaciones en una pieza para finalmente obtener la forma deseada de forma semiautomática o automática. Estas máquinas cuentan con una unidad computarizada que permite controlar parámetros de mecanizado mediante líneas de código, así como condiciones de lubricación (Bikram Jit & Harsimran, 2018).

### **3.9 Torno ROMI C420**

En el Laboratorio de Investigación, Desarrollo e Innovación, en Nuevas Tecnologías de Diseño, Manufactura y Producción (LABINTECDIMP) de la Escuela Politécnica Nacional se cuenta con el torno de marca ROMI C420, un torno con una potencia de 9kW y un rango de velocidades de 4 a 4000rpm, que cuenta con un sistema CNC que nos permite obtener piezas de forma rápida y eficiente.



**Figura 3.5.** Torno CNC ROMI C420 del LABINTECDIMP.

Fuente: Propia

Esta máquina cuenta con un software denominado Siemens, en una computadora integrada al torno que procesa los datos provenientes de un programa CAD a la estación CAM donde se realiza la manufactura. Esta unidad de control también se puede controlar de forma manual dependiendo del caso.



**Figura 3.6.** Unidad de control del torno CNC ROMI C420.

## **3.10 Programación CNC para roscado**

### **3.10.1 Código G**

EL código G es una sucesión de caracteres alfanuméricos que se utilizan para controlar máquinas CNC y uno de los métodos más usados para este fin. Dependiendo de la operación que se requiera ejecutar, el código se escribe de manera secuencial y lógica y

contiene información acerca del proceso de mecanizado, el cual puede ser transferido directamente a la unidad de control de la máquina CNC para que lo ejecute directamente. A esta forma de utilizar el código G se le denomina programación de parte manual.

Existen otras formas de utilizar las mismas capacidades del código G sin la necesidad de que el operador de la máquina deba escribir cada línea de código. Otra de estas formas es el uso de programas CAD/CAM, que permiten generar el código G a partir de un modelo de la pieza deseada. También se puede llegar a los mismos resultados mediante lo que se conoce como Macros, que son programas simples que contienen una serie de operaciones que pueden ser ejecutadas mediante el uso de un código específico (Hasan, 2016).

### **3.10.2 Ciclo de Roscado**

Para realizar el ciclo de roscado en el torno ROMI C420 se tienen dos formas: una de ellas es el roscado manual, con denominación G33 en código G para el cual se programan todas las pasadas una a una junto con el movimiento de entrada y salida de la herramienta.

Para ampliar el entendimiento y la longitud del proceso, a continuación, se explica los pasos a seguir para realizar un proceso de roscado manual (HELMAN CNC, 2016):

- Llevar la herramienta al punto de origen (G00).
- Realizar un corte de roscado (G33).
- Regresar la herramienta hacia afuera en el eje X, es decir, de forma radial (G01 o G00).
- Regresar la herramienta transversalmente en el eje Z al punto de origen (G00).
- Mover la herramienta a una posición más baja en el eje X (G01).
- Realizar un corte de roscado (G33).
- Repetir el proceso hasta que la rosca sea obtenida.

El proceso anterior puede demorar mucho tiempo y no ser muy eficiente. Otra forma es el roscado semiautomático, con denominación G78 en código G para el cual se utilizan menos líneas de código para realizar el mismo proceso.

Este requiere principalmente 2 líneas de código (HELMAN CNC, 2016):

“G78 P010060 Q100 R0.05”

Esta línea define el comportamiento del roscado, como puede ser:

- El paso, pasadas de acabado y ángulo de entrada (P).
- Profundidad de corte (Q).
- Profundidad de acabado (R).

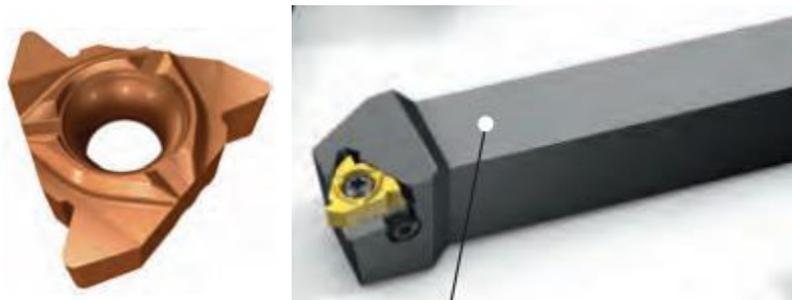
“G78 X30 Z-20 P1024 Q200 F2”

Esta línea define parámetros de movimiento como:

- Longitudinal y transversal (X y Z).
- La profundidad del roscado radial (P).
- Primera pasada (Q).
- El paso de la rosca (F).

### 3.11 Herramientas de roscado.

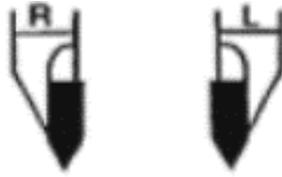
Las herramientas de roscado son piezas específicamente diseñadas para el corte de material. En el LABINTECDIMP se trabaja con insertos y portaherramientas de corte de alta calidad de la marca SANDVIK.



**Figura 3.7.** Inserto para roscado y portaherramientas marca SANDVIK.

Fuente: (SANDVIK Coromant)

Otro tipo de herramientas usadas en tornos manuales están clasificadas en normas ISO/DIN y su material es carburo de tungsteno de plaquita soldada, o comúnmente widia (De máquinas y herramientas, 2014):



**Figura 3.8.** Herramientas de widia para roscado.

Fuente: (De máquinas y herramientas, 2014)

### **3.12 Parámetros de roscado**

Para realizar un roscado, se debe tener en cuenta dos parámetros importantes y su influencia en el roscado:

Las revoluciones por minuto (rpm) de la máquina es un valor constante a lo largo del proceso y viene dado por la velocidad de corte apta para el material. Para la mayoría de las aplicaciones y materiales en roscados, se recomendada una velocidad de husillo de 300 rpm (Sherline Products Inc., 2019)

Profundidad de corte por pasada: Es un valor que puede cambiar según la aplicación y puede tener diferentes enfoques, dados por estándares o por recomendaciones de fabricantes para aplicaciones específicas.

### **3.13 Clasificación de materiales según norma ISO 513**

La norma ISO 513 divide a los materiales en seis grupos principales de mecanizado a los que se les designan letras según el tipo, como se puede ver en la figura 3.9:

<b>P</b>	ISO P = Acero	<b>N</b>	ISO N = Material no férreo
<b>M</b>	ISO M = Acero inoxidable	<b>S</b>	ISO S = Superaloaciones termorresistentes
<b>K</b>	ISO K = Fundición de hierro	<b>H</b>	ISO H = Materiales endurecidos

**Figura 3.9.** Clasificación de materiales según norma ISO 513.

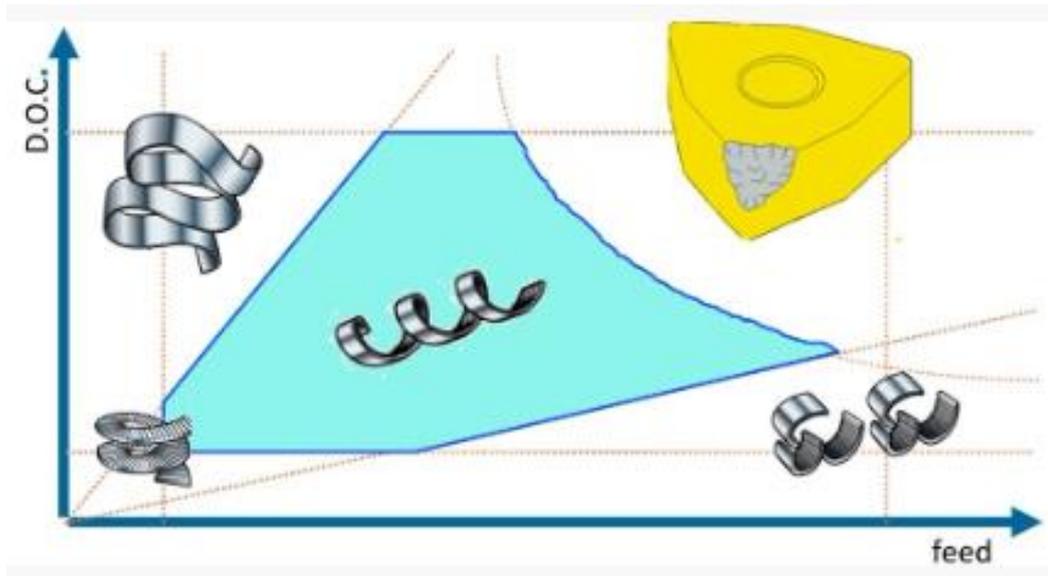
Fuente: (SANDVIK Coromant)

### **3.14 Control de viruta en procesos de roscado.**

Un correcto control de viruta durante procesos de mecanizado en general y en procesos de roscado es importante desde un punto de vista científico y técnico, y en general existen una gran cantidad de variables que pueden influir en el proceso de formación de esta, ya sean condiciones de corte como la velocidad de avance de la herramienta, la velocidad y la profundidad de corte; así como geometría de la herramienta, revestimiento y geometría; también depende del material y propiedades como su dureza o ductilidad. El control de viruta también puede verse afectado por la lubricación en el proceso y condiciones como la presión a la que se trabaja con este (Seco Tools, 2022).

En general, un buen proceso de mecanizado debería producir virutas en forma de espiral, no muy largas ni muy cortas, ya que estas garantizan la mayor durabilidad de la herramienta, calidades superiores en cuanto al acabado de la pieza, e incluso la facilidad de gestión de los residuos de viruta del proceso.

A continuación, en la figura 3.10, se puede ver un diagrama de la profundidad de corte contra el avance de la herramienta, mostrando de manera gráfica las limitaciones en los procesos de mecanizado y en el tipo de resultado que se obtendrá según se varíen estos parámetros:



**Figura 3.10.** Diagrama de rotura de virutas según el avance y la profundidad de corte.

Fuente: (Seco Tools, 2022)

Dependiendo de lo que se necesite alcanzar a nivel industrial en el mecanizado de piezas en cuestión de control de viruta ya sea una mayor productividad o eficiencia de costos, se pueden modificar estos parámetros para producir la mejor combinación de variables para el proceso en específico.

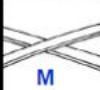
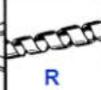
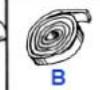
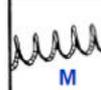
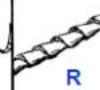
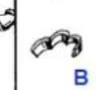
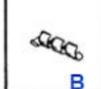
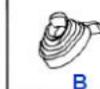
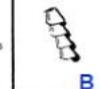
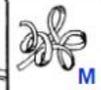
Otro factor para tomar en cuenta puede ser el color de la viruta, donde de forma general en aceros de clase ISO P se podría presentar una mejor transferencia del calor generado en el proceso hacia la viruta si estas son de un color azulado y violeta, lo que significaría que la mayoría de calor producido está siendo disipado correctamente fuera del proceso de mecanizado (Production Machining, 2022).

La norma ISO 3685 cataloga de forma general la viruta que se puede formar, como se muestra en la figura 3.11, con un adicional criterio de selección para una buena o mala formación de virutas:

## Flujo y fraccionamiento de la viruta

No deseable:

- Virutas largas:
  - Evacuación
  - Enrollamiento
  - Peligro
- Virutas muy pequeñas
  - Riesgo / máquina

1. Virutas rectas	2. Virutas tubulares	3. Virutas espirales	4. Virutas helicoidales planas	5. Virutas helicoidales cónicas	6. Virutas arqueadas	7. Virutas elementales	8. Virutas ahusadas
 M	 R	 B	 M	 R	 B	 R	 R
1.1 Larga	2.1 Larga	3.1 Plana	4.1 Larga	5.1 Larga	6.1 Conexa		
 B	 B	 B	 B	 B	 R		
1.2 Corta	2.2 Corta	3.2 Cónica	4.2 Corta	5.2 Corta	6.2 Inconexa		
 M	 M		 M	 M			
1.3 Enredada	2.3 Enredada		4.3 Enredada	5.3 Enredada			

B Bien  
R Regular  
M Mal

Figura 3.11. Tipos de viruta según la norma ISO 3685.

Fuente: (Krahmer, 2017)

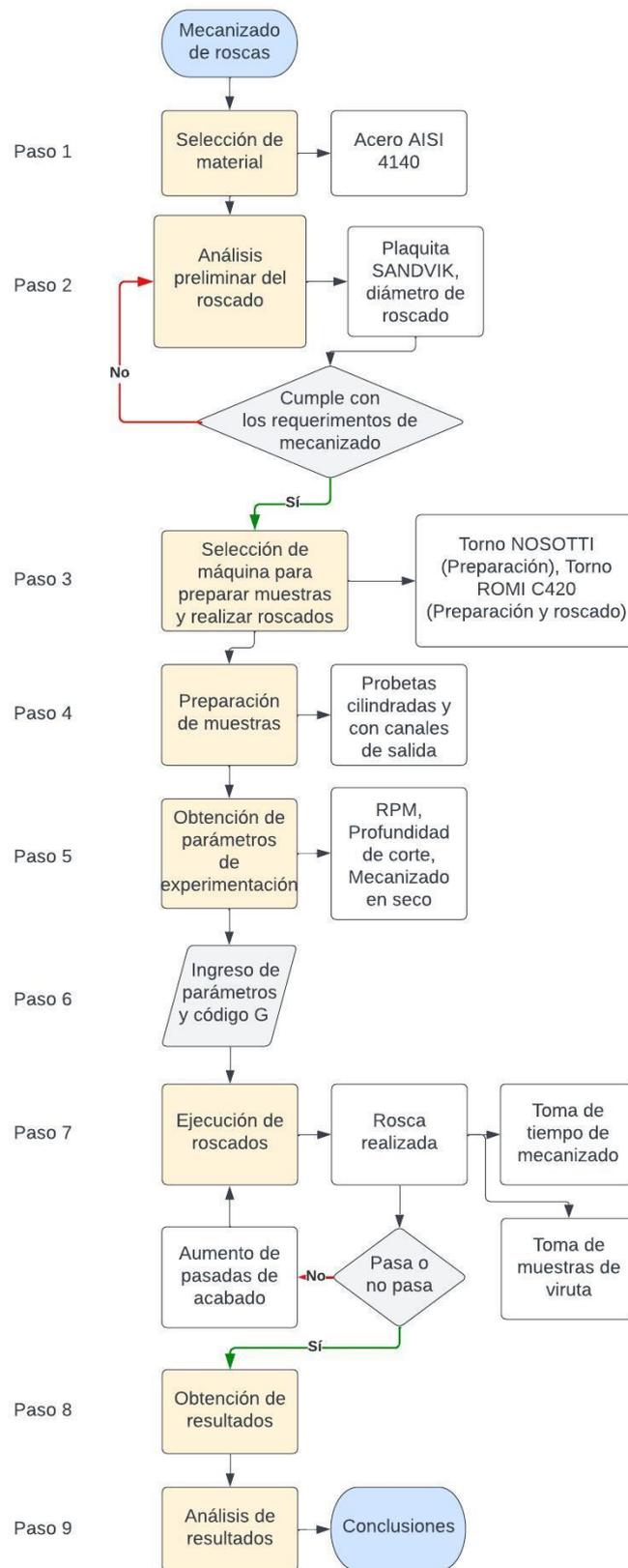
## 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Planteamiento y flujo de procesos

Para el desarrollo del componente, se ha propuesto analizar si los parámetros óptimos de mecanizado son los más adecuados en el entorno de laboratorio, y observar qué resultados se puede obtener a través de la variación de estos.

- Se busca analizar cuantitativa y cualitativamente los resultados de los parámetros, para cada muestra, con su respectivo roscado realizado.
- El trabajo realizado es puramente experimental, se realizará en el laboratorio de la institución con las muestras proporcionadas.
- La información sobre los parámetros se define en la pre-ejecución de los roscados.
- Se verificará que las roscas se obtengan en las mismas condiciones por cada parámetro de roscado.

A continuación, se explica de forma sencilla el enfoque y los procesos llevados a cabo desde la selección de las herramientas de trabajo hasta la experimentación y obtención de resultados:



**Figura 4.1.** Diagrama de flujo del proceso de experimentación.

Fuente: Propia.

## 4.2 Paso 1: Material utilizado

En este trabajo se ha escogido el acero AISI 4140 para la realización de las muestras. El material base es una barra cilíndrica rolada en caliente de un diámetro de 38mm de la que se han obtenido 54 probetas. Las propiedades más importantes son: la resistencia a la fluencia de 882 MPa; resistencia última a la tensión de 1029 MPa; Dureza de 321 HB. Más información acerca del material se puede ver en el Anexo 1.

**Tabla 4.1.** Propiedades del material AISI 4140.

Fuente: Propia.



Propiedad	Valor
Resistencia a la fluencia $S_y$	882 [MPa]
Resistencia a la tracción $S_u$	1029 [Mpa]
Dureza	321 [HB]
Elongación	15%
Contracción	59%
Porcentaje de carbono	0.42%

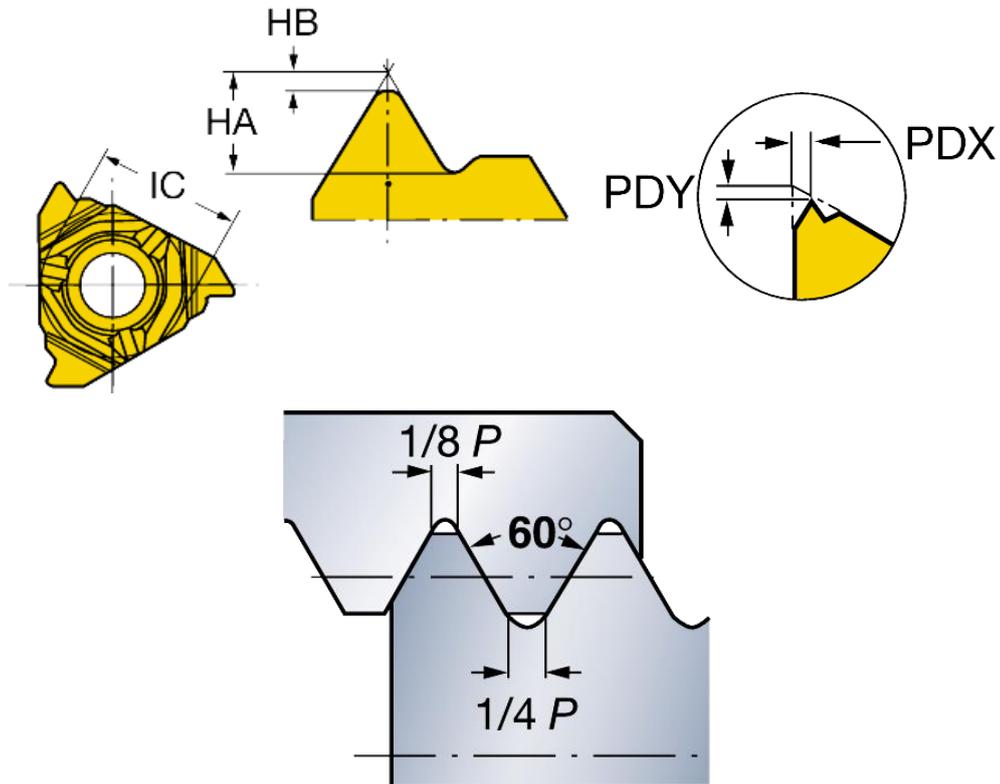
**Figura 4.2.** Probeta de acero AISI 4140.

Fuente: Propia

## 4.3 Paso 2: Análisis preliminar del roscado

Para la realización de los roscados se define previamente parámetros óptimos de roscado. Se buscó realizar una rosca métrica ISO de un tamaño menor al diámetro base. Esto se realiza debido a que roscas con diámetros grandes requieren pasos grandes, esto hace que la penetración total de la herramienta sea mayor a la profundidad de corte que la herramienta del laboratorio puede ofrecer.

La herramienta del laboratorio es de la marca SANDVIK para roscados con la siguiente denominación: 266RG-16VM01A002M 1125. A continuación, se pueden observar algunos valores dimensionales y de uso de la herramienta:



**Figura 4.3.** Dimensiones principales de la herramienta de roscado.

Los valores geométricos para la herramienta disponible en el laboratorio son los siguientes:

**Tabla 4.2.** Datos geométricos del inserto para roscado.

Fuente: (SANDVIK Coromant)



Dimensión	Valor [mm]
Altura teórica de rosca HA	2.64
Diferencia de altura de rosca HB	0.2
Diámetro de círculo inscrito IC	9.525
Distancia de perfil y PDY	1.03
Distancia de perfil x PDX	1.5
Paso de rosca máximo TPX	3

**Figura 4.4.** Modelo referencial de plaquita de roscado.

Fuente: (SANDVIK Coromant)

A partir de la tabla 4.2, se puede calcular la penetración total que la herramienta puede ejecutar, y esta es de 2.54 mm. Con esta información se puede verificar en las penetraciones recomendadas por la misma entidad adjunta al Anexo 2:

**Tabla 4.3.** Penetraciones máximas de roscado.

Fuente: Propia

<b>Dimensión</b>	<b>[mm]</b>
<b>Penetración máxima de la herramienta</b>	2.54
<b>Penetración máxima del roscado</b>	2.49

Por lo que se requiere una profundidad menor. En este caso, se puede escoger valores de paso menores a 4, sin embargo, debe ser menor para no correr riesgos de colisión de la herramienta y debido a que la herramienta nos permite trabajar con un paso máximo de 3mm (TPX de la tabla 4.2), debemos empezar por ese valor. Ahora se determina el diámetro del roscado con pasos iguales o menores a este valor.

En el catálogo técnico de TORMETAL se puede encontrar dimensiones recomendadas para roscas con una tolerancia de 6g (Completa en el Anexo 3):

**Tabla 4.4.** Dimensiones recomendadas para roscas métricas ISO de paso 3mm de tolerancia 6g (paso grueso).

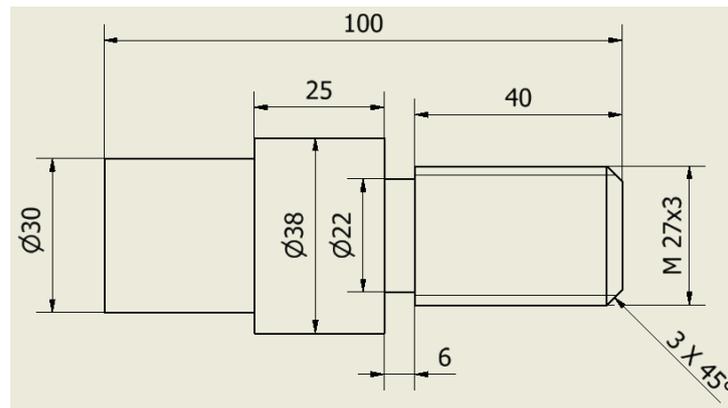
Fuente: (TORMETAL, 2017)

<b>Diámetro nominal [mm]</b>	<b>Paso [mm]</b>	<b>Diámetro exterior máx. [mm]</b>	<b>Diámetro exterior mín. [mm]</b>	<b>Diámetro interior máx. [mm]</b>	<b>Diámetro interior mín. [mm]</b>
<b>24</b>	3	23.952	23.577	20.271	19.955
<b>27</b>	3	26.952	26.577	23.271	22.955

Adicionalmente se evita remover la menor cantidad de material posible del eje, por lo que se escogió un diámetro de 27mm para el roscado. En conclusión, todas las roscas serán métricas ISO M27x3.

#### 4.4 Pasos 3 y 4: Selección de máquinas y preparación de las muestras.

A partir de los datos obtenidos anteriormente, se puede realizar un plano de la pieza con medidas preliminares y el roscado esperado (En detalle en el anexo 4):



**Figura 4.5.** Plano de la pieza terminada.

Con esta información, se procedió a preparar las muestras en 2 etapas:

- Canales de salida.

Estos se realizaron en el torno manual de marca NOSOTTI del laboratorio. Su función es garantizar la correcta evacuación de la herramienta por cada penetración. Por seguridad esta distancia es al menos 2 veces el paso de la rosca, en nuestro caso con un mínimo de 6mm. Se ha realizado los cálculos previos de la rosca puesto que la profundidad total del canal debe ser igual o menor a la mayor tolerancia del diámetro interior de la rosca, por lo que este diámetro fue 22 mm. Para su realización, se pudo trabajar en el torno manual a velocidades bajas, que producen una viruta normal sin quemaduras y no aumenta la temperatura en gran medida.

- Cilindrado del eje.

Estos se realizaron en el torno CNC ROMI C420 del laboratorio con lubricación. Para la ejecución de la rosca, el valor preliminar del diámetro del eje debe encontrarse entre los valores proporcionados por TORMETAL. En este caso de estudio, procedimos a utilizar el valor promedio entre los diámetros de la tolerancia 6g:

$$\overline{D_e} = \frac{D_{emax} + D_{emin}}{2}$$

Donde:

$\overline{D_e}$ : Promedio del diámetro exterior o diámetro a mecanizar.

$D_{emax}$ : Diámetro exterior máximo.

$D_{emin}$ : Diámetro exterior mínimo

Entonces el diámetro a mecanizar es el siguiente:

$$\overline{D_e} = \frac{26.952 \text{ mm} + 26.577 \text{ mm}}{2} = 26.765 \text{ mm}$$

Adicionalmente se realiza un chaflan de 3mm a 45 grados para asegurar la entrada correcta de la herramienta de roscado y evitar la generación de elementos cortantes.

El roscado de los ejes se realizará en el torno ROMI C420 ya que ofrece una alta precisión y la plaquita que se utilizará en el roscado tiene como fin su uso en un torno CNC.

#### 4.5 Paso 5: Obtención de parámetros de experimentación del roscado.

Para la realización de los roscados, se debe tener en cuenta dos parámetros fundamentales: Las revoluciones por minuto en la máquina (rpm) y la profundidad de corte en el roscado.

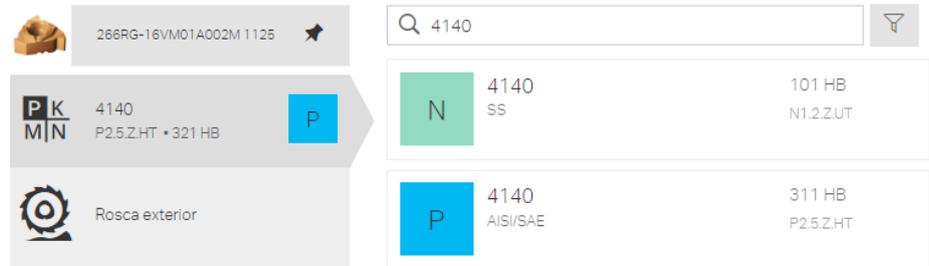
Para la selección del rango de las revoluciones, se opta por obtener preliminarmente los datos de rpm del fabricante, que serán las más específicas para este caso de estudio. En la referencia del fabricante se muestran valores recomendados para la realización de roscas mostrados en la tabla 4.5:

**Tabla 4.5.** Recomendaciones de velocidad de corte para torneado de roscas.

Fuente: (SANDVIK Coromant)

Material	Dureza Brinell HB	Velocidad de corte (m/min) según calidad de plaquita		
		GC1125	GC1135	H13A
ISO P	325	115	100	70

Se puede observar que dependiendo de la herramienta a utilizar con la calidad dependiendo del recubrimiento y la aplicación de la plaquita y de la dureza del material se obtienen diferentes velocidades. El material para utilizar tiene una dureza de 321 HB, cercana a la de la tabla 4.5 y el sitio web del fabricante cataloga al acero como tipo P.



**Figura 4.6.** Selección de material en simulador de SANDVIK

Fuente: Propia.

Para no exigir a la plaquita a su capacidad nominal, y tomando en cuenta que los componentes del recubrimiento varían ligeramente para las dos primeras opciones, así como también la recomendación para el tipo de geometría de plaquita, se optó por un enfoque más conservativo, tomando 70 m/min como velocidad de corte en esta aplicación.

Esta velocidad de corte se puede usar en la herramienta de cálculo del sitio web del fabricante para obtener una velocidad aproximada del husillo de la máquina de 800 rpm.

Se tiene de igual forma que, para la mayoría de las aplicaciones y materiales, una velocidad de 300 rpm es adecuada, por lo que se considera un parámetro más general, y se establece como una velocidad baja. A partir de estos valores, tomamos un valor de velocidad media de 550 rpm para ampliar el rango de estudio de este parámetro.

**Tabla 4.6.** Valores de RPM escogidos.

Fuente: Propia.

Velocidad del husillo	Valor [rpm]
Alta, de aplicación específica	800
Intermedia	550
Baja, de aplicación general	300

A continuación, se selecciona los valores de profundidad de corte por pasada. El enfoque mediante el cual se puede calcular valores de profundidad de corte es el uso de estándares, como es la norma para roscas métricas ISO DIN 13 que nos recomienda el uso de expresiones para calcular las penetraciones en función del diámetro nominal, el paso de la rosca y el número de pasadas. Esto se realiza mediante los siguientes pasos, para una rosca M27x3 y 12 pasadas:

- Determinación del diámetro final de roscado.

$$t = 0.6495 * p$$

$$X = d - 2t = d - 1.299 * p$$

Donde:

$X$ : Diámetro final del roscado en mm. Se obtiene un valor de 23.10 mm.

$t$ : Altura del diente de la rosca en mm. Se obtiene un valor de 1.949 mm.

$p$ : Paso en mm.

- Determinación de las penetraciones radiales.

$$\Delta_i = \frac{t}{\sqrt{(n-1)}} * \sqrt{\varphi}$$

$$h_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$$

$$X_i = X_{i-1} - 2 * h_i$$

Donde:

$\Delta_i$ : Penetración radial acumulada en mm.

$n$ : el número de pasadas.

$\varphi$ : Constante que equivale a 0.3 para la primera pasada, 1 para la segunda y a partir de la tercera pasada igual a  $\#pasada - 1$ .

$h_i$ : Penetración radial en mm.

$X_i$ : Valor del diámetro en mm.

Con estas expresiones se pueden realizar los cálculos consecutivos, dando como resultado la tabla 4.7, que se usará como primer parámetro de profundidades de corte:

**Tabla 4.7.** Cálculo de profundidades por pasada con base en la norma ISO DIN 13.

Fuente: Propia.

SECUENCIA DE CALCULOS			Penetración radial	Cota X en el programa
# DE PASADA	$\varphi$	$\Delta i$	$h_i$	$X_i$
1	0.3	0.322	0.322	26.356
2	1	0.587	0.266	25.825
3	2	0.831	0.243	25.338
4	3	1.018	0.187	24.965
5	4	1.175	0.157	24.650
6	5	1.314	0.139	24.373
7	6	1.439	0.125	24.122
8	7	1.554	0.115	23.891
9	8	1.662	0.107	23.677
10	9	1.762	0.101	23.475
11	10	1.858	0.095	23.284
12	11	1.949	0.091	23.103

Una opción adicional se puede obtener del fabricante SANDVIK, que recomienda como primera elección una profundidad decreciente por pasada, en la cual cada penetración tiene un valor menor que la anterior. De forma adicional, se propone el uso de una profundidad constante por pasada, en la que cada penetración tiene el mismo valor que no depende del número de pasadas (SANDVIK Coromant). Por tal razón, establecemos ambas como parámetros para el estudio. Cabe recalcar que para obtener la tolerancia 6g en el eje especificada por TORMETAL, se toma como valor el promedio calculado para el diámetro preliminar del roscado. Entonces, Para el cálculo de profundidades recomendada por SANDVIK:

$$X_0 = \overline{D_e}$$

$$X_i = X_{i-1} - 2h_i$$

Obteniendo mediante cálculos consecutivos, la tabla 4.8:

**Tabla 4.8.** Cálculo de profundidades por pasada con base en el fabricante SANDVIK.

Fuente: Propia.

PASADAS	Penetración radial	Cota X
#PASADA	hi	Xi
1	0.2	26.365
2	0.19	25.985
3	0.19	25.605
4	0.18	25.245
5	0.17	24.905
6	0.17	24.565
7	0.16	24.245
8	0.15	23.945
9	0.14	23.665
10	0.13	23.405
11	0.12	23.165
12	0.08	23.005

Para el cálculo de profundidades constantes por pasada, se toma en cuenta valores geométricos como la altura del diente y, por ende, el diámetro final del roscado que se habían calculado en base a la norma. Para el cálculo se tiene:

$$t_f = \overline{D_e} - X$$

$$h = \frac{n}{t_f}$$

$$X_i = X_{i-1} - h$$

Donde:

$t_f$ : Profundidad final de roscado en mm.

Se debe tomar en cuenta que este tipo de enfoque no está recomendado para pasos mayores de 1.5mm, por lo que se aumentó el número de pasadas a 16 con el objetivo de reducir la carga de la herramienta, y para obtener valores cercanos a las pasadas más pequeñas calculadas anteriormente. Entonces mediante cálculos consecutivos, se obtiene la siguiente tabla de datos 4.9:

**Tabla 4.9.** Cálculo de profundidades por pasada constantes.

Fuente: Propia.

<b>PASADAS</b>	<b>Penetración Radial [mm]</b>	<b>Cota X [mm]</b>
<b>#PASADA</b>	<b>h</b>	<b>Xi</b>
1	0.11	26.536
2	0.11	26.307
3	0.11	26.078
4	0.11	25.850
5	0.11	25.621
6	0.11	25.392
7	0.11	25.163
8	0.11	24.934
9	0.11	24.705
10	0.11	24.476
11	0.11	24.247
12	0.11	24.019
13	0.11	23.790
14	0.11	23.561
15	0.11	23.332
16	0.11	23.103

## 5. PASO 6: EXPERIMENTACIÓN

Una vez obtenidos los parámetros que se evaluarán en las probetas, se ha escogido la siguiente configuración para las 27 probetas sin lubricación:

**Tabla 5.1.** Organización para la ejecución de los roscados.

Fuente: Propia.

<b>Profundidad de corte por pasada</b>			
<b>Velocidad del husillo [rpm]</b>	<b>Norma ISO DIN</b>	<b>Decreciente</b>	<b>Constante</b>
	13	SANDVIK	
<b>800</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>550</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas
<b>300</b>	3 probetas	3 probetas	3 probetas

A partir de esta información, se procedió a realizar 3 roscados de prueba de lubricación para verificar que no hubiese problemas en la ejecución de los roscados con los parámetros

establecidos. Esto se realizó a 300 rpm para los tres tipos de profundidad. Para realizar la prueba de roscado de Pasa-No Pasa, se ha adquirido 3 tuercas comúnmente vendidas en el mercado, en este caso una tuerca hexagonal MM 8.8 NEG 27 x 3 RG y se procedió a probar si el roscado exterior pasaba sin problemas por la misma antes de desmontar la pieza de la máquina.

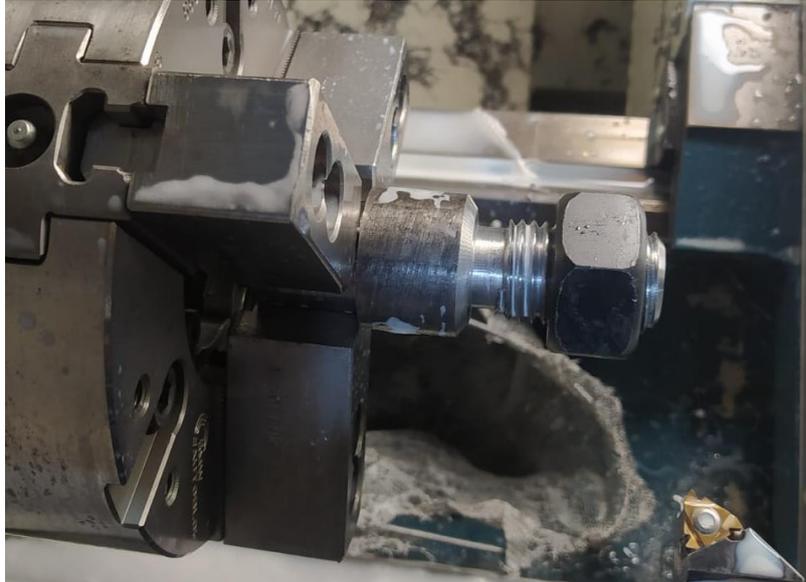
En caso de existir alguna probeta que presentara ajuste o que no pasara la prueba, se procedió a configurar más pasadas de acabado, siendo inicialmente 4 para cada rosca en todos los parámetros y a aumentar gradualmente la profundidad en intervalos de 0.05mm sin salir del rango de tolerancia.



**Figura 5.1.** Tuerca obtenida para la prueba de roscado.

Fuente: Propia.

Una vez realizadas estas pruebas exitosamente, se prosiguió con el resto de los parámetros, procurando obtener al menos 2 probetas completas sin inconvenientes ajenos al proceso. Antes de la realización del roscado, se colocó una malla debajo del mandril para obtener muestras de la viruta obtenida en cada ejecución y se hizo la prueba con las tuercas en cada probeta.



**Figura 5.2.** Verificación de rosca y obtención de viruta.

Fuente: Propia.

Después se almacenó la muestra con la viruta obtenida y se catalogó con la siguiente codificación para facilidad de organización:

PXXVXXXTL

Donde:

P “XX”: Número de la muestra obtenida. (Ejemplo: P01)

V “XXX”: Velocidad de husillo en rpm usada. (Ejemplo: V800)

“T”: Tipo de profundidad de corte usada. (Ejemplo: M “Manual o norma”, S “SANDVIK”, C “Constante”)

“L”: Tipo de lubricación usada. (Ejemplo: C “con lubricación”, S “sin lubricación”)

## **6. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **6.1 Paso 8: Resultados**

Una vez finalizada la ejecución de los roscados y realizadas las verificaciones correspondientes, observaciones y recopilación de información, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 6.1.** Resultados de la experimentación en el mecanizado de roscas.

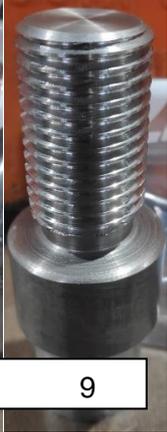
Fuente: Propia.

<b>Nº</b>	<b>RPM</b>	<b>Profundidad de corte</b>	<b>Tiempo por muestra mm:ss</b>	<b>Observaciones</b>
<b>7, 8, 9</b>	800	Constante	0:48	Pasan con ajuste. Ondulaciones en la mayoría de los flancos.
<b>13,14,15</b>	550	Constante	0:59	Pasa con ajuste. Defectos en los flancos.
<b>18,19,20</b>	300	Constante	1:25	El ajuste es menor. Se obtuvo un buen acabado. Probeta fallida (20).
<b>37,38,39</b>	800	Sandvik	0:47	Pasa sin ajuste. Defectos en los flancos. Ondulaciones en los flancos.
<b>40,41,42</b>	550	Sandvik	0:56	Pasa sin ajuste. Defectos en los flancos. Ondulaciones pequeñas.
<b>43,44,48</b>	300	Sandvik	1:20	Pasa sin ajuste. Ondulaciones en la mayoría de los flancos. Probeta fallida (43).
<b>45,46,47</b>	800	Norma	0:47	Pasa sin ajuste. Ondulaciones en la mayoría de los flancos.
<b>49,50,54</b>	550	Norma	0:59	Pasa sin ajuste. Ondulaciones en la mayoría de los flancos. No realizada (54).
<b>51,52,53</b>	300	Norma	1:25	Pasa sin ajuste. Ondulaciones en los flancos. Defectos más notables en los flancos. No realizada (53).

A continuación, se muestran fotografías del acabado de las probetas y su muestra de viruta correspondiente:

**Tabla 6.2.** Registro fotográfico de las probetas ensayadas (Parte 1).

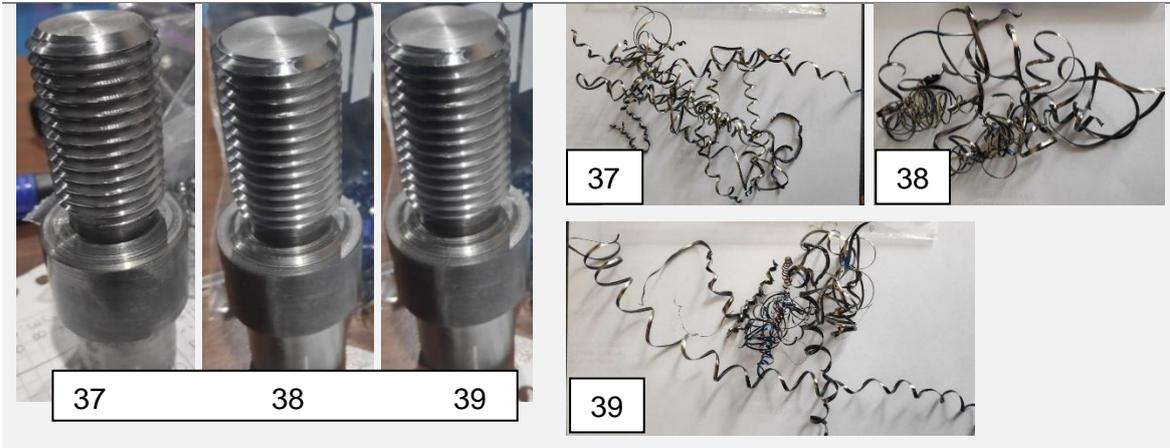
Fuente: Propia.

Registro fotográfico de probetas		
<b>Profundidad de corte constante, 800 [rpm]</b>		
		
		
		
		
		
		

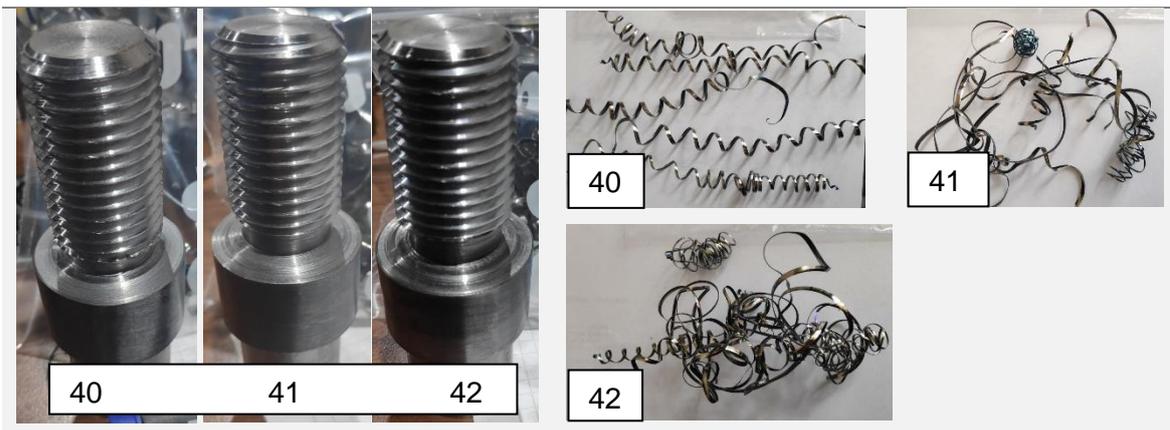
**Tabla 6.3.** Registro fotográfico de las probetas ensayadas (Parte 2).

Fuente: Propia

**Profundidad de corte decreciente SANDVIK, 800 [rpm]**



**Profundidad de corte decreciente SANDVIK, 550 [rpm]**



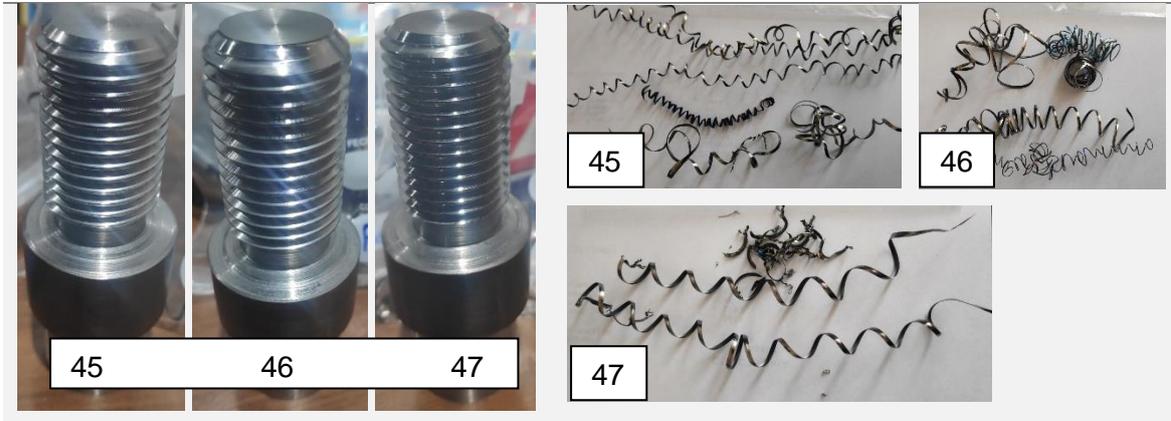
**Profundidad de corte decreciente SANDVIK, 300 [rpm]**



**Tabla 6.4.** Registro fotográfico de las probetas ensayadas (Parte 3).

Fuente: Propia.

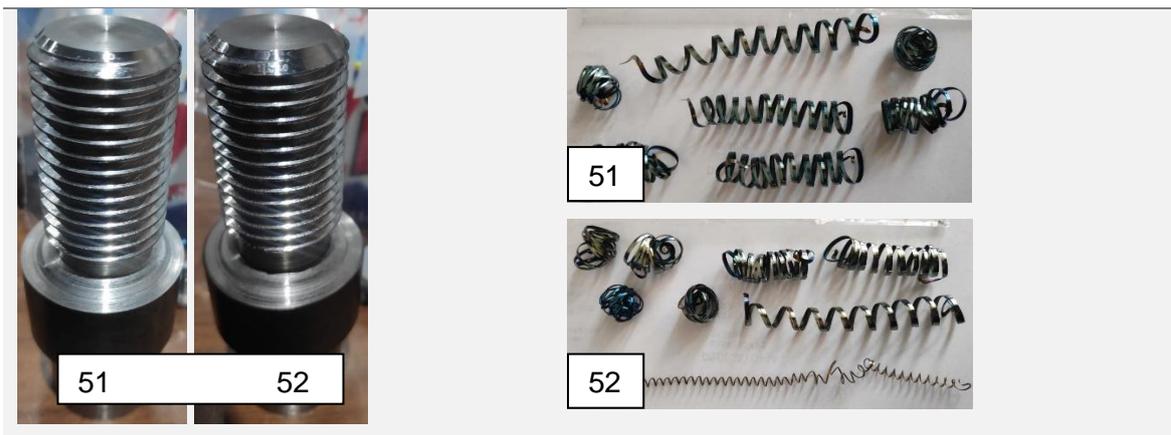
**Profundidad de corte en base a la norma ISO DIN 13, 800 [rpm]**



**Profundidad de corte en base a la norma ISO DIN 13, 550 [rpm]**



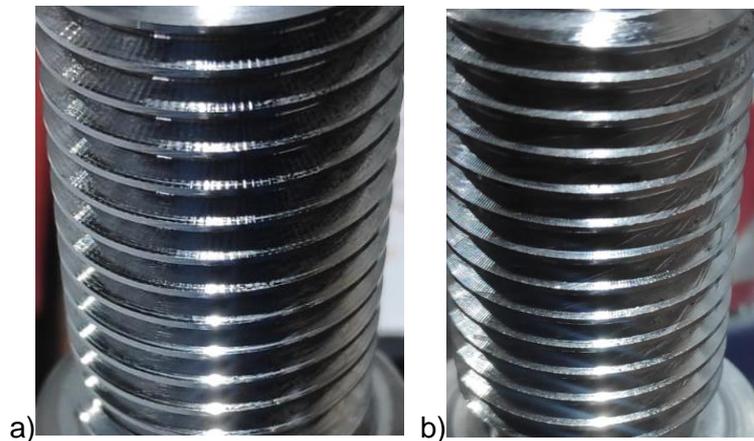
**Profundidad de corte en base a la norma ISO DIN 13, 300 [rpm]**



## 6.2 Paso 9: Análisis de resultados

En la mayoría de las probetas la prueba de pasa-no pasa con la tuerca se realizó sin problemas, salvo los casos en los que se presentó ajuste, y por esta razón se realizó hasta 4 pasadas más y aumentando hasta intervalos de 0.05 mm en estas últimas hasta observar un cambio o pasar la prueba sin problemas. Se ha observado que puede tener varias causas, como pueden ser la medición de la herramienta, desplazamientos pequeños en el eje, o también el desgaste del filo cortante del propio inserto.

Al obtener las roscas se pudo observar dos tipos de irregularidades superficiales notables en las roscas: ondulaciones en los flancos que aparecen de forma radial sobre su superficie en la mayoría de las probetas, y también observo defectos diagonales en los flancos.



**Figura 6.1.** Defectos en el acabado de roscas. a) Ondulaciones. b) Desgaste irregular.

Fuente: Propia.

Las ondulaciones aparecieron en la mayoría de las roscas y desde el inicio de la rosca hasta la mitad o hasta el final de esta, sin embargo, la aparición fue menor a una velocidad de 550 rpm. Se observó que la causa de las ondulaciones son las vibraciones producidas en el mecanizado, ya que el elemento para este proceso es muy esbelto, por lo que un trabajo con contrapunto en el extremo disminuiría la aparición de estas. Los defectos diagonales en los flancos aparecían de forma ocasional en ciertas probetas, lo que indica que se deben al desgaste del inserto y por tanto produce la forma de patrones irregulares de desgaste en la rosca.

Durante la ejecución de los roscados se aseguró que se produjeran al menos dos roscas en las mismas condiciones. Sin embargo, se produjeron casos singulares relacionados con el desgaste de la herramienta, así como también desplazamientos de la pieza y mediciones

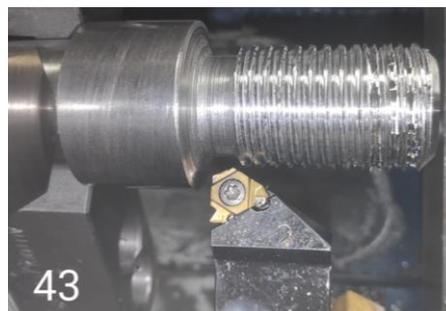
de la herramienta, así como desgastes y rotura de inserto, produciendo problemas en la probeta 20, donde la tuerca quedó atascada, que pudo haberse ocasionado por el cambio de herramienta o por restos de viruta que pudieron haber quedado en el roscado.



**Figura 6.2.** Resultado de la probeta 20.

Fuente: Propia.

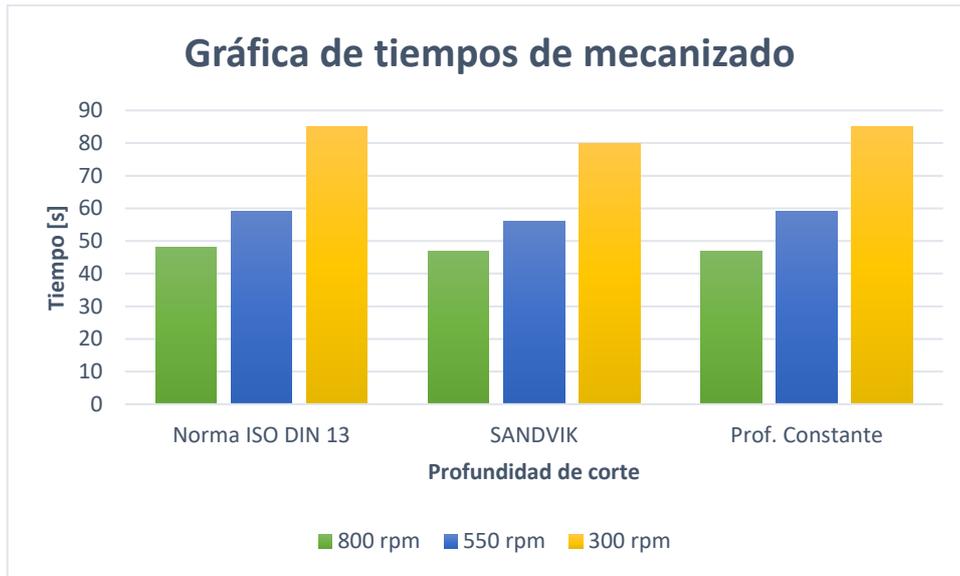
Estos resultados fueron más notables durante el trabajo sin lubricación, en el que se produjo la falla de la placa de apoyo sobre la que se encuentra el inserto durante el mecanizado de la probeta 43, después de trabajar sin problemas durante 8 muestras. Para no correr un riesgo similar se optó por realizar únicamente dos probetas de los últimos dos parámetros realizados, como se puede ver en la tabla 6.1.



**Figura 6.3.** Resultado de la probeta 43.

Fuente: Propia.

Adicionalmente, se pudo obtener los tiempos de mecanizado de las probetas realizadas. Este número puede variar según el valor del potenciómetro de la máquina, dando lugar a pequeñas variaciones de tiempo en probetas de prueba o después de cambios de inserto. En general, los tiempos se pueden ver en el siguiente gráfico:



**Figura 6.4.** Gráfica de tiempo según revoluciones por minuto.

Fuente: Propia

En la gráfica se puede observar que no existe una gran diferencia de tiempos entre parámetros de mecanizado, siendo el menor de todos el proceso de corte en base al fabricante SANDVIK, y aumentando hasta aproximadamente el doble de tiempo en mecanizado entre rpm utilizada en la máquina.

Por último, se analizó la forma y el color de la viruta obtenida durante el proceso de mecanizado a partir de los residuos de viruta del mecanizado mostrados en la tabla 6.2. Se puede observar entonces que los mejores resultados de viruta controlada se obtuvieron en los casos de profundidad de corte en base a la norma ISO DIN 13, obteniéndose una viruta de longitud intermedia y de color azulado para el caso de 300 rpm. Esto indica entonces que gran parte del calor generado por el proceso se disipa gracias a la viruta. También se obtuvo un buen resultado a una velocidad de 500 rpm, sin embargo, el color indica que el calor no se disipa de forma tan eficiente. De forma general, se pudo observar que para la velocidad de 800 rpm se obtuvo una viruta larga y enredada, por lo que es un resultado desfavorable que podría llevar a que la misma quede enredada en la pieza de trabajo durante el proceso o dar un riesgo de impacto contra la herramienta durante el proceso.

## **7. CONCLUSIONES**

- La mejor combinación de parámetros se obtuvo con las profundidades de corte en base a la norma ISO DIN 13, a una velocidad de 300 rpm para el caso de mecanizado sin lubricación con la herramienta 266RG-16VM01A002M 1125 de SANDVIK en el acero AISI 4140.
- En caso de requerir una mejora en la productividad, se considera aceptable trabajar bajo la norma ISO DIN 13 a velocidades altas, pudiéndose obtener un acabado superficial similar. Sin embargo, 550 rpm es una velocidad óptima, al no sacrificar de gran manera el control de viruta y el desgaste de la herramienta.
- El trabajo en el acero AISI 4140 y la geometría dada produce la aparición de ondulaciones debidos a la vibración de la pieza. Los defectos diagonales encontrados en las probetas son ocasionales y a su vez causados por el desgaste de la herramienta, pero no se ha observado alguna correlación con los parámetros utilizados.
- El mecanizado de roscas a profundidades constantes con los parámetros seleccionados no se recomienda en ninguno de los tres casos expuestos.
- Se puede realizar aumentos en pasadas de acabado en el caso en que la rosca no pase por la tuerca, siempre y cuando se realicen pasadas iguales o en incrementos mayores a 0.05mm.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Para trabajar con longitudes similares se recomienda el uso de un contrapunto para evitar que se produzcan ondulaciones u otros defectos en la rosca debidos a vibraciones.
- Se recomienda cambiar la punta del inserto después de la realización de 10 roscas o menos, para evitar desviaciones en la tolerancia del diámetro interno de la rosca o la aparición de defectos debidos a un mecanizado irregular.
- Se recomienda seguir las recomendaciones del fabricante únicamente si se ha verificado que se cumplen las condiciones establecidas por el mismo en el lugar en que se realice el mecanizado, de tal forma que se ejecute el proceso de forma precisa.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bikram Jit, S., & Harsimran, S. (October de 2018). A Key to Optimize Machining (Multi-response Optimization of CNC Turning with Al-7020 Alloy). India.
- De máquinas y herramientas. (17 de Marzo de 2014). Herramientas de corte para torno. Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/herramientas-de-corte-para-torno-tipos-y-usos>
- Hasan, M. A. (Junio de 2016). A Practical Approach to the use of Local Variables in CNC Machines Programming for FANUC Custom Macros.
- HELMAN CNC. (2016). CNC FANUC G33 G32 Threading G Code. Obtenido de <https://www.helmancnc.com/cnc-fanuc-g33-g32-threading-g-code/>
- Krahmer, D. (2017). Guía práctica para la selección de insertos de mecanizado. doi:10.13140/RG.2.2.24174.82242
- Mecanizados Inter2000 SLU. (Junio de 2020). La lubricación en procesos de mecanizado. Obtenido de <https://www.inter2000mecanizados.com/post/la-lubricacion-en-procesos-de-mecanizado>
- Mecanizados Inter2000 SLU. (Junio de 2020). Mecanizado en seco o lubricación controlada. Obtenido de <https://www.inter2000mecanizados.com/post/mecanizado-en-seco-o-lubricacion-controlada>
- NTE INEN 137. (Marzo de 1998). Roscas. Definiciones y simbología. Ecuador.
- NTE INEN 514. (Diciembre de 2013). Rosca métrica ISO. Tolerancias, fundamentos y datos básicos. Ecuador.
- Production Machining. (30 de Diciembre de 2022). 4 Strategies for Managing Chip Control. Obtenido de <https://www.productionmachining.com/articles/the-fundamentals-of-chip-control>
- SANDVIK Coromant. (s.f.). Torneado y Fresado de Roscas.
- Seco Tools. (16 de Febrero de 2022). Tips on Best chip formation for productivity and economy in machining | Seco tools. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=z93FjDkKZbg>
- SENA. (Septiembre de 2019). Manual de bolsillo para la identificación y especificación de roscas y tornillos. Colombia. Obtenido de <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5800>
- Sherline Products Inc. (Octubre de 2019). Threading and Spindle Speeds/MASSO Conversational Threading Program. Vista, California, Estados Unidos.
- TORMETAL. (2017). Roscas. *Catálogos Técnicos*. España.

# 10. ANEXOS

## ANEXO I

Propiedades del material: Acero comercial AISI 4140

  
**HASÇELİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş.**  
**KALİTE BELGESİ / MILL TEST CERTIFICATE**

  
ISO/TS 16949  
ISO 9001/2008  
ISO 14001  
OHSAS 18001

EN 10204 3.1

<b>Müşteri Adı / Customer Name :</b>	GEHRI ANDRES NARVAEZ TAPIA	<b>Tarih / Date Of Issue :</b>	29.09.2015
<b>Ürün Adı / Product Name :</b>	HOT ROLLED ROUND BAR	<b>Kesit / Size(mm) :</b>	042.00X000.00
<b>Stok Adı / Stock Code :</b>	Y042.00X000.00 I14(4140 +QT)A C3 C0/EN 10060/HAD	<b>Kalite / Grade :</b>	4140
<b>İrsaliye No / Waybill No :</b>	-	<b>Döküm No / Heat No :</b>	230861
<b>Standart / Material Norm :</b>	EN 10060	<b>Ağırlık / Net-Gross Weight (Kgs) :</b>	1050
<b>Sipariş No / Order No :</b>	-		
<b>Evrak No / Certificate No :</b>	2015-09-1791	<b>Çelik Yapım Metodu / Steel Making Method :</b>	Elektrik Ark Ocağı/Electric Arc Furnace

**KİMYASAL KOMPOZİSYON / CHEMICAL COMPOSITION IN PRODUCT**

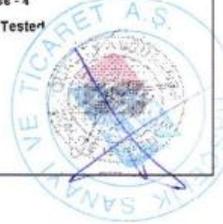
C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	Mo%	Ni%	Cu%	Al%	N%	Pb%	V%	Ti%	B%	Sn%
0,42	0,210	0,85	0,010	0,023	1,160	0,190	0,090	-	0,012	-	-	0,006	-	-	-

**MEKANİK ÖZELLİKLER / MECHANICAL PROPERTIES**

Akma N/mm <sup>2</sup> Yield	Çekme N/mm <sup>2</sup> Tensile	Uzama (%) Elongation (%)	Sertlik HB Hardness	Daralma (%) Contraction (%)
882 MPA	1029 MPA	15	321 HB	59

**% 100 Karışıklık testi yapılmıştır**  
Görsel Muayene : Uygun  
Vakum Durumu: (A) Vakumlu  
Yüzey Çatlak Testi: % 100 Yüzey Çatlak Kontrol Sınıfı - C  
Ultrasonik Test: % 100 Ultrasonik Kontrol Sınıfı - 4  
Parlak Malzeme Yüzey Çatlak Testi: Test Yapılmadı  
Radyoaktivite Yoktur

**%100 Mixing Test**  
Visual Control : OK  
Vacuum Condition: Vacuum Degassed  
Surface Crack Test: 100 % Surface Crack Tested Class - C  
Ultrasonic Test : 100 % Ultrasonic Tested Class - 4  
Surface Crack Test Of Bright Products: None Tested  
Radioactivity Free



Bu belge vakumda taranmış ve/veya başka bir şekilde kopyalanarak kullanılmamalıdır. Çoğaltılması kopyalarının sorumluluğundan HASÇELİK Sorumludur. Malzemenin test edildiği ve sonuçları garantiyi kapsamadığı için bu belgeyi kullanırken lütfen dikkatli olun. Bu belgeyi kullanırken lütfen dikkatli olun. Bu belgeyi kullanırken lütfen dikkatli olun. Bu belgeyi kullanırken lütfen dikkatli olun.

This certificate is issued originally signed for the material described above. HASÇELİK does not take any responsibility for the non-authorized copies. We hereby confirm that above mentioned material has been tested and the results meet the order requirements. In case of doubt, the original copy at HASÇELİK should be consulted as authoritative test. This material is produced from 100% radioactive tested raw material with AT300-4400. HASÇELİK San. ve Tic. A.Ş. presents to its customers chemical composition and guarantee conditions of its suppliers for vacuum degassed / U T Controlled/Processed products. Vacuum degassed/Non-vacuum degassed products are not guaranteed except for chemical composition. Chemical composition guarantee is given for Hisseli and Processed products. HASÇELİK is responsible for only at the value of materials. In case of any quality problem which will occur. For any unfavorable out of guarantee condition arising in customers or during follow up processes. HASÇELİK is not responsible for any other issue than accepting technical and commercial rebissions of uncontrolled/processed materials.

www.hascelik.com T: +90 444 4140 F: +90 262 444 5140

## ANEXO 2

Tabla de recomendación de penetraciones por pasada de roscas métricas.

ISO métrica (mm), exterior		Paso, mm														
		0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
N.º de penetra- ciones	Unidad	Penetración radial por pasada														
		mm	0.10	0.16	0.17	0.20	0.17	0.20	0.20	0.20	0.20	0.24	0.24	0.27	0.29	0.27
1	Pulg.	.004	.006	.007	.008	.007	.008	.008	.008	.008	.009	.009	.011	.011	.011	.012
2	mm	0.09	0.15	0.15	0.19	0.17	0.19	0.19	0.19	0.19	0.23	0.22	0.25	0.28	0.26	0.29
	Pulg.	.004	.006	.006	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.009	.009	.010	.011	.010	.011
3	mm	0.08	0.12	0.14	0.18	0.16	0.18	0.18	0.18	0.19	0.22	0.22	0.24	0.27	0.26	0.29
	Pulg.	.003	.005	.006	.007	.006	.007	.007	.007	.007	.009	.009	.009	.011	.010	.010
4	mm	0.07	0.07	0.12	0.13	0.16	0.15	0.17	0.17	0.18	0.21	0.21	0.23	0.26	0.25	0.28
	Pulg.	.003	.003	.005	.005	.006	.006	.007	.007	.007	.008	.008	.009	.010	.010	.011
5	mm			0.08	0.12	0.14	0.14	0.14	0.16	0.17	0.21	0.21	0.23	0.25	0.25	0.27
	Pulg.			.003	.005	.006	.006	.006	.006	.007	.008	.008	.009	.010	.010	.011
6	mm				0.08	0.13	0.15	0.16	0.16	0.17	0.20	0.20	0.22	0.25	0.24	0.26
	Pulg.				.003	.003	.005	.006	.006	.006	.008	.008	.009	.010	.009	.010
7	mm						0.11	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.24	0.23	0.26
	Pulg.						.004	.005	.006	.006	.007	.007	.008	.009	.009	.010
8	mm						0.08	0.08	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20	0.23	0.23	0.25
	Pulg.						.003	.003	.006	.006	.007	.007	.008	.009	.009	.010
9	mm								0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.22	0.22	0.24
	Pulg.								.005	.006	.006	.007	.007	.009	.009	.009
10	mm								0.08	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.23
	Pulg.								.003	.005	.006	.006	.007	.008	.008	.009
11	mm									0.12	0.13	0.15	0.17	0.19	0.20	0.22
	Pulg.									.005	.005	.006	.007	.007	.008	.009
12	mm									0.08	0.08	0.14	0.16	0.17	0.19	0.20
	Pulg.									.003	.003	.006	.006	.007	.007	.008
13	mm											0.12	0.14	0.15	0.18	0.19
	Pulg.											.005	.006	.006	.007	.007
14	mm											0.08	0.10	0.10	0.16	0.17
	Pulg.											.003	.004	.004	.006	.007
15	mm														0.14	0.15
	Pulg.														.006	.006
16	mm														0.10	0.10
	Pulg.														.004	.004
Penetración total	mm	0.34	0.50	0.65	0.79	0.95	1.11	1.26	1.56	1.88	2.18	2.49	2.79	3.10	3.39	3.70
	Pulg.	.013	.020	.026	.031	.037	.044	.050	.061	.061	.086	.098	.110	.122	.133	.146

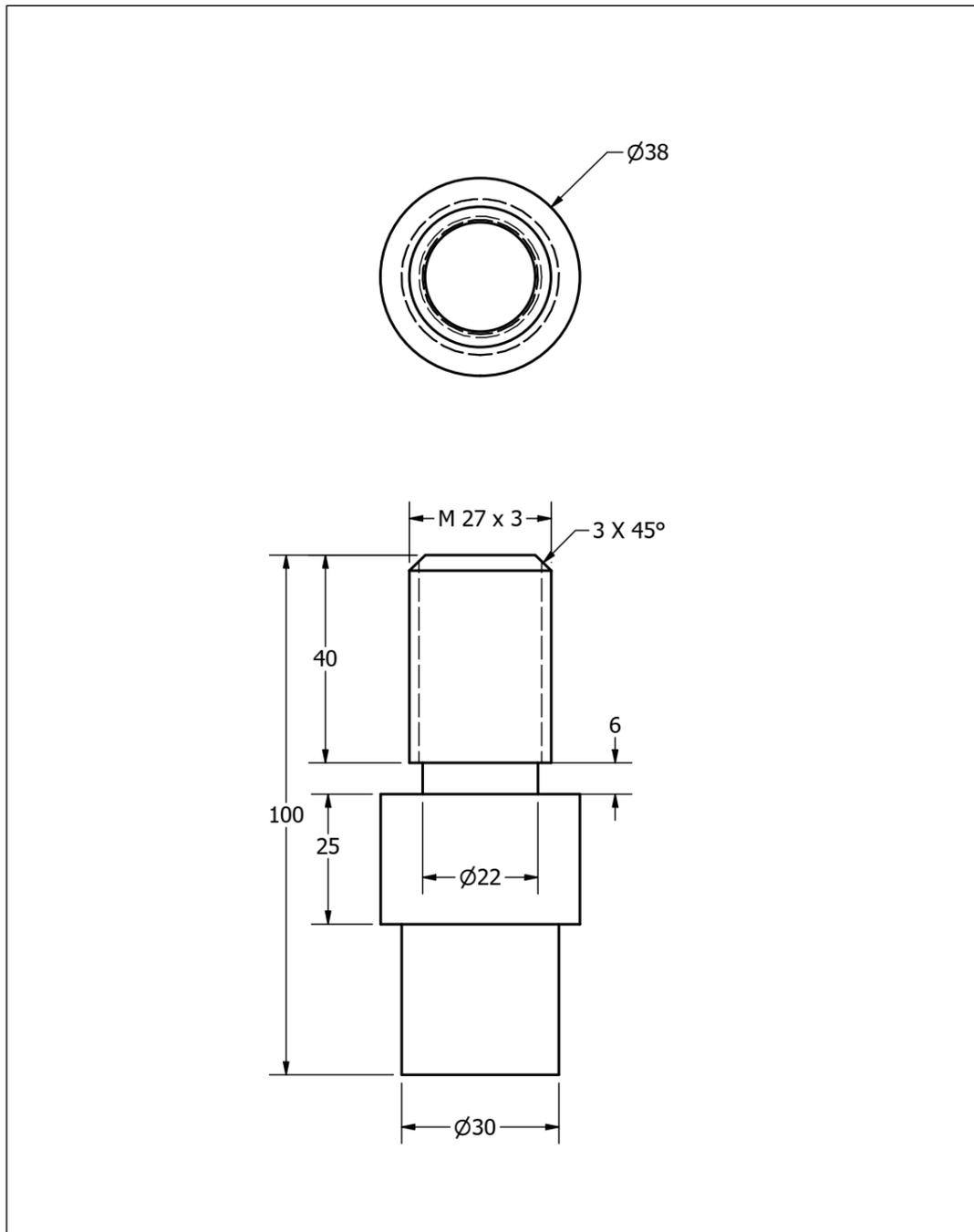
## ANEXO 3

Tabla de límites dimensionales para roscas métricas.

Diámetro <sup>2)</sup> nominal B=D <sub>min</sub>	Paso	Rosca exterior, clase de tolerancia 6g <sup>1)</sup> . Bulones y tornillos						Rosca interior, clase de tolerancia 6H <sup>1)</sup> . Tuercas						Sección del Ø interior $\pi/4 d_3^2$ A <sub>d3</sub> mm <sup>2</sup>	Sección resistente $\pi/4$ $(d_2+d_3)^2/2$ A <sub>s</sub> mm <sup>2</sup>
		Diámetro exterior		Diámetro sobre flancos		Diámetro interior		Diámetro sobre flancos		Diámetro interior					
		d <sub>máx</sub>	d <sub>mín</sub>	d <sub>2máx</sub>	d <sub>2mín</sub>	d <sub>3máx</sub>	d <sub>3mín</sub>	d <sub>2máx</sub>	d <sub>2mín</sub>	D <sub>1mín.</sub>	D <sub>1máx</sub>				
22	2,5	21,958	21,623	20,334	20,164	18,891	18,625	20,376	20,600	19,294	19,744	281,5	303		
24	3	23,952	23,577	22,003	21,803	20,271	19,955	22,051	22,316	20,752	21,252	324,3	353		
27	3	26,952	26,577	25,003	24,803	23,271	22,955	25,051	25,316	23,752	24,252	427,1	459		
30	3,5	29,947	29,522	27,674	27,462	25,653	25,306	27,727	28,007	26,211	26,771	519,0	561		
33	3,5	32,947	32,522	30,674	30,462	28,653	28,306	30,727	31,007	29,211	29,771	647,2	694		
36	4	35,940	35,465	33,342	33,118	31,033	30,655	33,402	33,702	31,670	32,270	759,3	817		
39	4	38,940	38,465	36,342	36,118	34,033	33,655	36,402	36,702	34,670	35,270	913,0	976		
42	4,5	41,937	41,437	39,014	38,778	36,416	36,007	39,077	39,392	37,129	37,799	1045	1121		
45	4,5	44,937	44,437	42,014	41,778	39,416	39,007	42,077	42,392	40,129	40,799	1224	1306		
48	5	47,929	47,399	44,681	44,431	41,795	41,352	44,752	45,087	42,587	43,297	1377	1473		
52	5	51,929	51,399	48,681	48,431	45,795	45,352	48,752	49,087	46,587	47,297	1652	1758		
56	5,5	55,925	55,365	52,353	52,088	49,177	48,700	52,428	52,783	50,046	50,796	1905	2030		
60	5,5	59,925	59,365	56,353	56,088	53,177	52,700	56,428	56,783	54,046	54,796	2227	2362		
64	6	63,920	63,320	60,023	59,743	56,559	56,048	60,103	60,478	57,505	58,305	2520	2676		
68	6	67,920	67,320	64,023	63,743	60,559	60,048	64,103	64,478	61,505	62,305	2888	3055		

## ANEXO 4

Plano de la probeta roscada.



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Manzano Steeven, Proaño
MATERIAL: ACERO AISI 4140	Tol.Gral ±1	Escala: 1:1	Dis.	Marlon
			Rev.	Ing. Cesar Ayabaca
<b>Probeta de roscado</b>		<b>01</b>	Fecha: 05/02/2023	

## ANEXO 5

Códigos G utilizados para la ejecución de los roscados.

### **Código G del cilindrado automático**

N10 WORKPIECE(,,,"CYLINDER",0,0,-60,-49,37.75)

N20 G291; ROSCA M27X3

N30 G21 G40 G90 G95

N40 G54 G00 X100

N50 Z100

N60 T0101; CNMG 12 04 08-PM 4325

N70 G96 S275

N80 G92 S1500 M3

N90 G00 Z5

N100 X39

N110 M08

N120 G71 U0.4 R0.5

N130 G71 P140 Q180 U0.1 W0.1 F0.15

N140 G00 X20

N150 G01 Z0

N160 X26.765,C3

N170 Z-44

N180 X38

N190 G42

N200 G96 S300

N210 G92 S2500

N220 G70 P140 Q180 F0.07

N230 G40

N240 G54 G00 X100

N250 Z10

N260 M09

N270 M30

**Roscado con base en la norma ISO DIN 13:**

WORKPIECE(,,,"CYLINDER",0,0,-60,-49,26.765)

N10 G291; ROSCA M16X2

N20 G21 G40 G90 G95

N30 G54 G00 X100

N40 Z25

N50 T0505;266RG-16 VM01A002M 1125

N60 G97 S800 M03

N65 M08

N70 G00 Z6

N80 X29

N90 G78 X26.356 Z-44 F3

N100 X25.825

N110 X25.338

N120 X24.965

N130 X24.650

N140 X24.373

N150 X24.122

N160 X23.891

N170 X23.677

N180 X23.475

N190 X23.284

N200 X23.103

N210 X23.103

N215 X23.103

N220 X23.103

N230 G54 G00 X100

N240 Z50

N250 M09

N260 M30

**Roscado con base en el fabricante SANDVIK:**

WORKPIECE(,,,"CYLINDER",0,0,-60,-49,26.765)

N10 G291; ROSCA M16X2

N20 G21 G40 G90 G95

N30 G54 G00 X100

N40 Z10

N50 T0505;266RG-16 VM01A002M 1125

N60 G97 S300 M03

N70 G00 Z6

N80 X29

N90 G78 X26.365 Z-43 F3

N100 X25.985

N110 X25.605

N120 X25.245

N130 X24.905

N140 X24.565

N150 X24.245

N160 X23.945

N170 X23.665

N180 X23.405

N190 X23.165

N200 X23.005

N210 X23.005

N215 X23.005

N216 X23.005

N220 G54 G00 X100

N230 Z10

N240 M09

N250 M30

**Roscado con profundidad de corte constante:**

WORKPIECE(,,,"CYLINDER",0,0,-60,-49,26.765)

N10 G291; ROSCA M16X2

N20 G21 G40 G90 G95

N30 G54 G00 X100

N40 Z15

N50 T0505;266RG-16 VM01A002M 1125

N60 G97 S300 M03

N65 M08

N70 G00 Z4

N80 X27

N90 G78 X26.536 Z-41 F3

N100 X26.307

N110 X26.078

N120 X25.850

N130 X25.621

N140 X25.392

N150 X25.163

N160 X24.934

N170 X24.705

N180 X24.476

N190 X24.247

N200 X24.019

N210 X23.790

N215 X23.561

N216 X23.332

N217 X23.103

N220 X23.103

N221 X23.103

N222 X23.103

N230 G54 G00 X100

N240 Z10

N250 M09

N260 M30