



## **ING. AUTOMOTRIZ**

**Trabajo integración Curricular previa a la obtención  
del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz**

**Comparativa de la manufactura de pistones de cáliper en  
la fabricación con máquinas de herramientas  
convencionales y CNC**

**AUTORES:**

Adam Josue Cadena Llumiyinga  
Jorge Alexander Flores Orbe  
Raul Abraham Lomas Morales

**TUTOR:**

Ing. Gabriela Stefany Chávez Tapia MSc.

**QUITO – ECUADOR | 2025**



## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

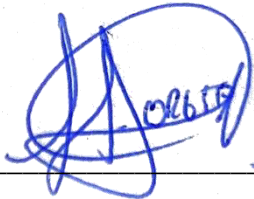
Nosotros, **Adam Josue Cadena Llumiyinga, Jorge Alexander Flores Orbe y Raul Abraham Lomas Morales**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



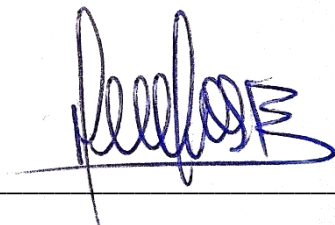
**Adam Josue Cadena Llumiyinga**

C.I: 172718938-1



**Jorge Alexander Flores Orbe**

C.I: 171837156-8



**Raul Abraham Lomas Morales**

C.I: 171928251-7

Yo, **Ing. Gabriela Stefany Chavez Tapia MSc**, certifico que conozco a los señores **Adam Josue Cadena Llumiyinga, Jorge Alexander Flores Orbe y Raul Abraham Lomas Morales**, autores exclusivos de la presente investigación, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Firmado electrónicamente por:  
**GABRIELA STEFANY  
CHAVEZ TAPIA**

Validar únicamente con FirmaEC

---

**Gabriela Stefany Chavez Tapia**

**C.I:** 050248637-6

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **Ing. Gabriela Stefany Chavez Tapia MSc**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Firmado electrónicamente por:  
**GABRIELA STEFANY  
CHAVEZ TAPIA**

Validar únicamente con FirmaEC

---

**Gabriela Stefany Chavez Tapia**

**C.I: 050248637-6**

**Director del Trabajo de Titulación.**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi corazón y gratitud a Dios y a mis Padres, Juan Diego Cadena Miranda y Sylvia Alejandra Llumiquinga Concha, por ser mi guía, mi ejemplo y mi fuente de inspiración.

Gracias por todo su amor incondicional, por su esfuerzo y por enseñarme que con dedicación y fe todo se puede lograr. Cada uno de mis logros es también suyo, porque sin su apoyo y confianza, este camino no habría sido posible.

Además, dedico este trabajo a las mujeres más importantes de mi vida, mis Mamitas, Gladis Melania Miranda Molina y María del Carmen Concha Canencia, quienes han estado conmigo desde que inicié mi vida estudiantil, brindándome su amor, su ternura y su compañía inigualable. Gracias por ser mi refugio, por sus palabras llenas de cariño y por enseñarme con su ejemplo la verdadera fortaleza del corazón.

A mis Hermanos, Valentía Sarai Cadena Llumiquinga y Leandro Ismael Cadena Llumiquinga, por su alegría, su cariño y por recordarme cada día que la familia es el mayor tesoro que uno puede tener.

Y a mis Tíos, Edison Mauricio Llumiquinga Concha, José Luis Cadena Miranda y Jessica Abigail Guevara Concha, por su amor, sus consejos y por estar presentes en los momentos más importantes de mi vida.

Este logro es el fruto del amor, el apoyo y la unión de todos ustedes. Cada palabra y cada esfuerzo de este trabajo están dedicados a mi familia, el mayor motivo de orgullo y fortaleza que tengo.

Adam Josue Cadena Llumiquinga

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mis padres Jorge y Luz, quienes han sido mi guía y mi mayor ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y amor incondicional. Gracias por sus sacrificios, por su apoyo constante, por no soltar mi mano jamás hasta en los momentos más difíciles de mi formación y por enseñarme que con dedicación y humildad se pueden alcanzar los sueños. Este logro también es de ustedes.

A mi familia, mis hermanas Johanna, Jeniffer y Jessica, por acompañarme en cada etapa, por sus palabras de ánimo y por creer en mí incluso cuando yo dudaba, a mis sobrinos Mathyas, Thiago, Francisco y Zarah por ser también en esa inspiración y ser ejemplo de los que me siguen. Cada uno de ustedes forma parte importante de este logro.

A mi pareja Samantha, por ser mi compañera en los momentos más difíciles y en los más felices. Gracias por tu amor, tu paciencia y tu apoyo incondicional durante todo este proceso. Por entender mis ausencias, mis desvelos y por motivarme a seguir adelante cuando las fuerzas parecían acabarse. Este triunfo también te pertenece, porque estuviste a mi lado en todo momento.

Y finalmente, me dedico este trabajo a mí mismo, por no rendirme, por superar los obstáculos y por demostrarme que, con esfuerzo, constancia y fe, todo es posible.

Jorge Alexander Flores Orbe

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mi madre Norma, quien ha sido mi mayor ejemplo de fortaleza, dedicación y amor incondicional. Gracias por tu apoyo en cada etapa de mi vida, por tus consejos, tus sacrificios y por enseñarme a no rendirme jamás. Este logro es tan tuyo como mío.

A mis hermanos Adrián y Giovanna, quienes me han acompañado siempre con palabras de ánimo, apoyo sincero y la confianza necesaria para seguir avanzando. Gracias por estar presentes en los momentos difíciles y por celebrar cada uno de mis logros.

A mi enamorada Yadira, por ser mi compañera constante, por su paciencia, su cariño y por motivarme a continuar incluso cuando las fuerzas parecían agotarse. Gracias por creer en mí, por entender mis ausencias y por caminar a mi lado durante todo este proceso.

Y finalmente, me dedico este trabajo a mí mismo, por la perseverancia, el esfuerzo y la determinación que me permitieron llegar hasta aquí

Raul Abraham Lomas Morales

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría para llegar hasta este momento tan importante de mi vida.

A mis Padres, Juan Diego Cadena Miranda y Sylvia Alejandra Llumiquinga Concha, por su amor, su apoyo y por ser mi mayor inspiración. A mis Mamitas, Gladis Melania Miranda Molina y María del Carmen Concha Canencia, por su cariño, sus consejos y por estar siempre presentes en cada etapa de mi vida. A mis Hermanos, Valentía Sarai y Leandro Ismael, por su alegría y por ser una parte fundamental de mi motivación.

Y a mis Tíos, Edison Mauricio Llumiquinga Concha, José Luis Cadena Miranda y Jessica Abigail Guevara Concha, por su apoyo y por acompañarme en todo momento.

Y a mi tutora de tesis, por su guía, paciencia y orientación durante el desarrollo de este trabajo. Su apoyo académico y humano fue fundamental para culminar con éxito esta etapa.

A todos ustedes, gracias por ser mi razón, mi fuerza, mi inspiración constante y por estar conmigo en las buenas y en las malas.

Adam Josue Cadena Llumiquinga

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer, en primer lugar, a Dios por darme la fuerza, la salud y la paciencia necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida. A mis padres Jorge y Luz, por su amor incondicional, por sus consejos y por ser mi mayor motivación en todo momento. Gracias por creer en mí y apoyarme incluso en los días más difíciles a pesar de las circunstancias y momentos difíciles que enfrentamos.

A mis hermanas, mis sobrinos y mi pareja que de manera incondicional estuvieron siempre dispuestos a brindarme una mano de apoyo, un consejo y las ganas de no rendirme hasta en los momentos más difíciles de mi vida. A mis docentes y tutora, por compartir sus conocimientos, su guía y su tiempo, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de esta tesis. A mis amigos y compañeros, por su apoyo, sus palabras de ánimo y por acompañarme en este camino lleno de aprendizajes. A todos los que, de una u otra manera, contribuyeron a que este proyecto sea una realidad, muchas gracias y que Dios les bendiga siempre.

Jorge Alexander Flores Orbe

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por brindarme salud, sabiduría y la fortaleza necesaria para completar esta importante etapa de mi vida.

A mi madre Norma, por su amor infinito, sus consejos y su apoyo incondicional en cada momento. Gracias por ser mi sostén y mi mayor motivación para seguir adelante.

A mis hermanos Adrián y Geovanna, por estar siempre presentes, por sus palabras de aliento y por ser una parte fundamental en mi crecimiento personal y académico.

A mi enamorada Yadira, por acompañarme con paciencia, comprensión y cariño durante este proceso. Gracias por tu apoyo constante y por darme la motivación que necesitaba para no rendirme.

A mis docentes y tutores, por compartir generosamente su tiempo, sus conocimientos y su guía, los cuales fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos y compañeros, por su compañía, su ayuda y por los momentos compartidos que hicieron este camino más llevadero.

Y a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron para que este proyecto sea posible, les expreso mi sincero agradecimiento.

Raul Abraham Lomas Morales

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD</b> .....	<b>3</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	<b>4</b>
<b>APROBACIÓN DEL TUTOR</b> .....	<b>6</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>7</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>13</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>15</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>16</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>17</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>18</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>19</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>20</b>
<b>CONTEXTO:</b> .....	<b>20</b>
<b>PROBLEMA TÉCNICO:</b> .....	<b>21</b>
<b>OBJETIVO E HIPÓTESIS:</b> .....	<b>22</b>
<b>RELEVANCIA DEL ESTUDIO:</b> .....	<b>23</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>23</b>
<b>EL SISTEMA DE FRENOS Y LA FUNCIÓN DEL CALIPER EN LA SEGURIDAD VEHICULAR</b> .....	<b>23</b>
<b>FUNDAMENTOS DEL MECANIZADO POR HERRAMIENTAS CONVENCIONALES</b> .....	<b>24</b>
<b>PRINCIPIOS DEL MECANIZADO CNC Y SUS VENTAJAS OPERATIVAS</b> .....	<b>26</b>
<b>ESPECTROMETRÍA DE CHISPA Y BARRIDO DE DUREZA</b> .....	<b>28</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
<b>EQUIPOS Y MECANIZADOS</b> .....	<b>29</b>
<i>Equipos utilizados</i> .....	<b>30</b>
<i>Instrumentación de laboratorio</i> .....	<b>31</b>
<b>CONTROL DE ERRORES Y LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN</b> .....	<b>32</b>
<b>SOFTWARE Y DOCUMENTACIÓN TÉCNICA</b> .....	<b>32</b>
<i>Tolerancias de fabricación</i> .....	<b>32</b>
<i>Material del pistón</i> .....	<b>33</b>
<b>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>34</b>
<i>Ingeniería inversa con Autodesk Inventor</i> .....	<b>34</b>

Etapas desarrolladas: .....	34
<i>Fabricación de pistones mediante mecanizado CNC</i> .....	34
Secuencia operativa .....	34
<i>Evaluación del acabado superficial</i> .....	35
<i>Análisis térmico y de dureza</i> .....	36
Etapas del proceso .....	36
<i>Medición de tolerancias geométricas</i> .....	37
Instrumentación empleada.....	37
<i>Análisis de productividad</i> .....	37
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>38</b>
IDENTIFICACIÓN METALÚRGICA Y PRUEBAS MECÁNICAS .....	38
ANÁLISIS ECONÓMICO .....	40
INTERPRETACIÓN TÉCNICA Y PRÁCTICA .....	42
<i>Rugosidad Superficial</i> .....	44
COMPARACIÓN DE VARIABLES TÉCNICAS ENTRE EL MECANIZADO CONVENCIONAL Y CNC	45
<i>Significado de los resultados</i> .....	46
<i>Aporte técnico del trabajo</i> .....	46
<i>Comparación clara por categorías</i> .....	46
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>48</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>50</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> DIAGRAMA DEL SISTEMA DE FRENOS DE DISCO.....	21
<b>FIGURA 2:</b> TORNO CONVENCIONAL.....	25
<b>FIGURA 3:</b> COMPARATIVA ENTRE TORNO CONVENCIONAL Y TORNO CNC .....	27
<b>FIGURA 4:</b> DIAGRAMA DEL PROCESO DE EMISIÓN ESPECTRAL.....	29
<b>FIGURA 5:</b> DIAGRAMA DE FLUJO METODOLÓGICO.....	30
<b>FIGURA 6:</b> COMPARACIÓN DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ENTRE LA MUESTRA ORIGINAL Y ACERO SAE .....	39
<b>FIGURA 7:</b> COMPARACIÓN DE DUREZA ROCKWELL C ENTRE PISTÓN ORIGINAL Y SAE 1045.40	
<b>FIGURA 8:</b> COMPARACIÓN DE COSTOS: PISTÓN COMERCIAL VS PISTÓN FABRICADO LOCALMENTE. ....	42

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> EQUIPOS DE MECANIZADO .....	30
<b>TABLA 2:</b> INSTRUMENTACIÓN DE LABORATORIO.....	31
<b>TABLA 3:</b> TOLERANCIAS DE FABRICACIÓN .....	32
<b>TABLA 4:</b> MATERIAL DEL PISTÓN .....	33
<b>TABLA 5:</b> PARÁMETROS DE MODELADO CAD .....	34
<b>TABLA 6:</b> PARÁMETROS DE MECANIZADO CNC .....	35
<b>TABLA 7:</b> CONDICIONES Y PARÁMETROS DE MEDICIÓN DEL ACABADO SUPERFICIAL .....	35
<b>TABLA 8:</b> CONDICIONES DE ENSAYO DE DUREZA Y CONTROL TÉRMICO.....	36
<b>TABLA 9:</b> PARÁMETROS DE CONTROL DIMENSIONAL.....	37
<b>TABLA 10:</b> VARIABLES OPERATIVAS DE PRODUCTIVIDAD .....	38
<b>TABLA 11:</b> COMPARACIÓN DE COMPOSICIÓN QUÍMICA ENTRE PISTÓN ORIGINAL Y ACERO SAE 1045 .....	38
<b>TABLA 12:</b> COMPARACIÓN DE DUREZA ROCKWELL C ENTRE EL PISTÓN ORIGINAL Y EL FABRICADO EN SAE 1045 .....	39
<b>TABLA 13:</b> COMPARACIÓN ESTIMADA DE COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	41
<b>TABLA 14:</b> SÍNTESIS DE HALLAZGOS .....	43
<b>TABLA 15:</b> VARIABLES COMPARADAS ENTRE MECANIZADO CONVENCIONAL Y CNC .....	45

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO 1:</b> ACTA DE DONACIÓN DEL TORNO.....	50
<b>ANEXO 2:</b> FACTURA COMPRA DEL TORNO.....	52
<b>ANEXO 3:</b> PROFORMA DE LA PRUEBA DE ANÁLISIS QUÍMICO.....	53
<b>ANEXO 4:</b> PROFORMA DE PRUEBA DE BARRIDO DE DUREZAS .....	54
<b>ANEXO 5:</b> PRUEBA DE ESPECTROMETRÍA .....	55
<b>ANEXO 6:</b> PRUEBA DE BARRIDO DE DUREZAS.....	56
<b>ANEXO 7:</b> PLANOS DEL PISTÓN DE CALIPER.....	59
<b>ANEXO 8:</b> ENTREGA DEL TORNO.....	60
<b>ANEXO 9:</b> TORNO BP .....	61
<b>ANEXO 10:</b> TOMA DE MEDIDAS DEL PISTÓN .....	63
<b>ANEXO 11:</b> DISEÑO DEL PISTÓN EN LA PLATAFORMA INVENTOR.....	73
<b>ANEXO 12:</b> MANUAL DEL TORNO BP.....	84
<b>ANEXO 13:</b> ASEGURAMIENTO DEL PISTÓN EN EL MANDRIL.....	88
<b>ANEXO 14:</b> ASEGURAMIENTO DE LA CUCHILLA EN EL TORNO.....	89
<b>ANEXO 15:</b> FABRICACIÓN DEL PISTÓN EN EL TORNO.....	90
<b>ANEXO 16:</b> COMPONENTES DEL MANDRIL .....	104
<b>ANEXO 17:</b> CAJA DEL MANDRIL CON SUS COMPONENTES .....	105
<b>ANEXO 18:</b> TORNO CNC.....	106
<b>ANEXO 19:</b> MARCA DEL TORNO GSK CNC EQUIPMENT CO.....	106
<b>ANEXO 20:</b> PROGRAMACIÓN DEL TORNO PARA EL MECANIZADO .....	106
<b>ANEXO 21:</b> ELABORACIÓN DEL MECANIZADO .....	106
<b>ANEXO 22:</b> MECANIZADO DEL PISTÓN .....	106

# COMPARATIVA DE LA MANUFACTURA DE PISTONES DE CÁLIPER EN LA FABRICACIÓN CON MÁQUINAS DE HERRAMIENTAS CONVENCIONALES Y CNC

*Ing. Gabriela Stefany Chávez Tapia. MSc<sup>1</sup>, gachavezta@uide.edu.ec,*

*Adam Josué Cadena Llumiquirena<sup>2</sup>, adcadenall@uide.edu.ec*

*Jorge Alexander Flores Orbe.<sup>3</sup>, jofloresor@uide.edu.ec*

*Raúl Abraham Lomas Morales.<sup>4</sup>, ralomasmo@uide.edu.ec*

## RESUMEN

**Introducción:** El presente estudio desarrolla una comparación técnica entre la fabricación de pistones de cáliper mediante mecanizado convencional y mecanizado CNC, considerando la importancia de estos componentes en la seguridad del sistema de frenos y la necesidad de cumplir requisitos estrictos de precisión dimensional, estabilidad térmica y acabado superficial. **Metodología:** La metodología se basó en la aplicación de ingeniería inversa del pistón original, modelado CAD y fabricación de un pistón mediante mecanizado CNC en acero SAE 1045, manteniendo dimensiones y criterios funcionales equivalentes al componente de referencia. El pistón comercial fue utilizado únicamente como referencia dimensional y material, sin asumir un proceso específico de fabricación. Se realizaron ensayos de espectrometría de chispa, pruebas de dureza Rockwell C, mediciones dimensionales y evaluación de productividad. **Resultado:** Los resultados evidencian que el mecanizado CNC presenta ventajas en repetibilidad dimensional, control del proceso y reducción del tiempo de fabricación frente al mecanizado convencional. **Conclusión:** Se concluye que, bajo parámetros controlados y comparables, el mecanizado CNC constituye una alternativa técnicamente más eficiente para la fabricación de pistones de cáliper en contextos de producción repetitiva.

**Palabras clave:** mecanizado, CNC, pistón, metrología, acero.

## ABSTRACT

**Introduction:** This study presents a technical comparison between the manufacturing of caliper pistons using conventional machining and CNC machining, considering the importance of these components in the safety of braking systems and the need to meet strict requirements in dimensional accuracy, thermal stability, and surface finish. **Methodology:** The methodology was based on the application of reverse engineering of the original piston, CAD modeling, and the manufacturing of a piston through CNC machining using SAE 1045 steel, maintaining dimensions and functional criteria equivalent to the reference component. The commercial piston was used solely as a dimensional and material reference, without assuming any specific manufacturing process. Spark emission spectrometry tests, Rockwell C hardness tests, dimensional measurements, and productivity evaluations were conducted. **Results:** The results demonstrate that CNC machining offers advantages in terms of dimensional repeatability, process control, and reduced manufacturing time compared to conventional machining. **Conclusion:** It is concluded that, under controlled and comparable parameters, CNC machining constitutes a technically more efficient alternative for the manufacturing of caliper pistons in repetitive production contexts.

**Keywords:** machining, CNC, piston, metrology, steel.

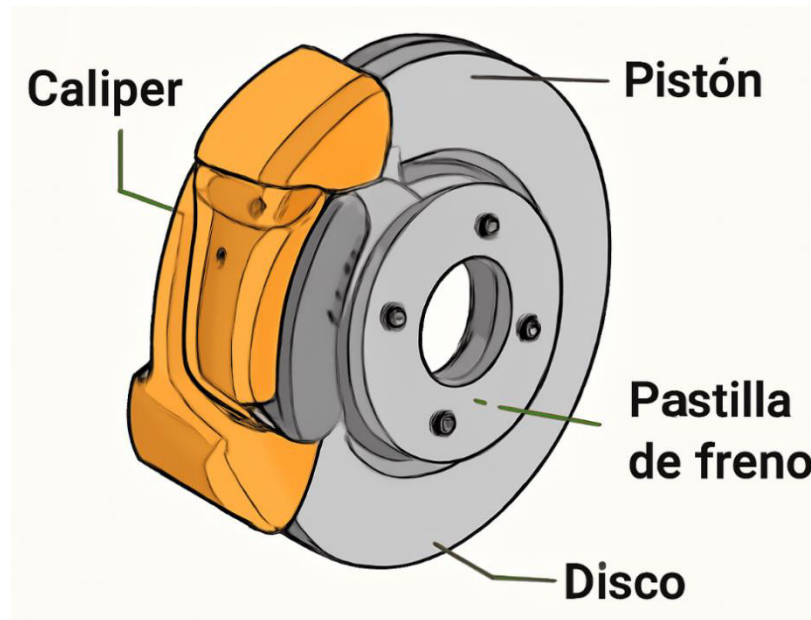
## Introducción

### Contexto:

Los pistones de cáliper han sido históricamente elaborados a través de procesos de mecanizado convencional, empleando máquinas tales como tornos manuales y fresadoras. Si bien estos métodos han demostrado ser efectivos a lo largo del tiempo, presentan considerables limitaciones en términos de precisión, repetibilidad y tiempo de producción. La dependencia de la destreza del operario y los errores humanos constituyen factores significativos que influyen en la variabilidad del acabado superficial y en las tolerancias geométricas de las piezas. Las deficiencias mencionadas pueden dar lugar a fallas prematuras en el sistema de frenos, tales como fugas hidráulicas y un desgaste acelerado, particularmente en condiciones operativas extremas en las que el sistema de frenos se encuentra expuesto a altas temperaturas y presiones (Kalpakjian y Schmid, 2014).

Igualmente, la ausencia de un control preciso en los métodos convencionales puede dar lugar a deformaciones térmicas en el pistón durante su funcionamiento, lo que afecta la calidad del sellado hidráulico y pone en riesgo la seguridad del vehículo. Las variaciones dimensionales resultantes incrementan la probabilidad de fallas en la tolerancia y pueden ocasionar costos adicionales debido a piezas defectuosas o pérdidas en la eficiencia del sistema (Pinedo, 2016). A continuación, se presenta un diagrama detallado del sistema de frenos de disco, el cual destaca los componentes clave: el cáliper, el pistón, las pastillas de freno y el disco. Esta ilustración proporciona una representación visual clara de cómo interactúan estos elementos dentro del sistema, permitiendo una mejor comprensión de su función y disposición. La imagen está etiquetada en español para facilitar su interpretación, y cada parte del sistema está claramente identificada, lo que ayudará a contextualizar los aspectos técnicos tratados en este estudio.

**Figura 1:** Diagrama del sistema de frenos de disco



Fuente: Elaboración propia - (Pinedo, 2016)

La calidad del pistón de caliper es crucial para garantizar un sellado hidráulico eficiente y una resistencia térmica adecuada. Estos aspectos son esenciales para evitar fallas prematuras en el sistema de frenos, tales como fugas hidráulicas, desgaste acelerado de las pastillas o deformaciones térmicas. La resistencia y la precisión dimensional del pistón influyen directamente en la durabilidad de todo el conjunto, afectando la confiabilidad del vehículo (Groover, 2019). En un contexto industrial de alta demanda, como el sector automotriz, la precisión y la consistencia en la fabricación de estos componentes se han vuelto elementos esenciales para mantener los estándares de seguridad vehicular.

### **Problema Técnico:**

El proceso de fabricación de los pistones de caliper se ha llevado a cabo de manera tradicional a través del mecanizado convencional, empleando herramientas tales como tornos manuales, fresadoras y otras máquinas de control manual. A pesar de que estos métodos han demostrado ser efectivos a lo largo del tiempo, presentan limitaciones significativas en cuanto a precisión, repetibilidad y tiempos de producción. La dependencia de la destreza del operario y los errores humanos constituyen factores fundamentales que inciden en la variabilidad de las tolerancias geométricas y el acabado superficial de las piezas. Esta variabilidad puede dar lugar a fallas prematuras en el sistema de frenos, tales como fugas hidráulicas o un desgaste excesivo de las pastillas, especialmente en condiciones operativas extremas, en las cuales el sistema se encuentra expuesto a altas temperaturas y presiones (Kalpakjian y Schmid, 2014).

Además, el mecanizado convencional no cuenta con un sistema de control automatizado, lo que provoca deformaciones térmicas en el pistón durante el proceso de fabricación. Estas deformaciones impactan de manera adversa la calidad del sellado hidráulico y comprometen la eficacia del sistema de frenos en condiciones de alta exigencia.

La imprecisión en las tolerancias puede influir negativamente en la confiabilidad de la pieza y, en consecuencia, en la seguridad del vehículo (Pinedo, 2016).

La necesidad de mejorar la calidad y precisión en la fabricación de estos componentes ha impulsado a la industria automotriz a investigar métodos automatizados que aseguren un mayor control en el proceso de producción, tales como el mecanizado por Control Numérico Computarizado (CNC). Este proceso, que emplea programas digitales para el control de la maquinaria, permite la fabricación de piezas con una precisión, estabilidad y uniformidad superiores en comparación con los métodos tradicionales.

## **Objetivo e Hipótesis:**

### **Objetivo General:**

El objetivo principal de esta investigación es comparar el desempeño técnico entre los métodos de mecanizado convencional y CNC en la fabricación de pistones de cáliper, evaluando las diferencias en términos de productividad, acabado superficial, y estabilidad térmica durante el proceso de fabricación. Se busca determinar qué método ofrece un desempeño superior en cuanto a la calidad de la pieza y la eficiencia del proceso.

### **Objetivos Específicos:**

- Analizar la productividad de los métodos de mecanizado convencional y CNC, evaluando el tiempo necesario para fabricar un pistón y la cantidad de piezas producidas por hora.
- Comparar el acabado superficial de los pistones fabricados con ambos métodos, midiendo la rugosidad superficial (Ra, Rz).
- Evaluar la estabilidad térmica generada durante el mecanizado, considerando el impacto de la temperatura en la precisión y durabilidad del pistón.
- Examinar las tolerancias geométricas y dimensionales de los pistones fabricados, enfocándose en el impacto que cada método tiene sobre la precisión de las dimensiones clave del pistón.

### **Hipótesis:**

Se plantea que el mecanizado CNC proporcionará un proceso más preciso, eficiente y estable que el mecanizado convencional, generando pistones de cáliper con acabados superficiales más uniformes, menor variabilidad dimensional y mayor confiabilidad operativa. Esta hipótesis será verificada a través de un análisis comparativo de los indicadores como la rugosidad superficial, la estabilidad térmica, el tiempo de ciclo productivo y las desviaciones geométricas observadas en los componentes fabricados.

## **Relevancia del Estudio:**

Este estudio posee una considerable relevancia para la industria automotriz, dado que los pistones de cáliper constituyen componentes esenciales del sistema de frenos. La optimización de los métodos de fabricación puede aumentar la precisión, disminuir los costos de producción y mejorar la seguridad vehicular al asegurar la calidad superior de las piezas. La utilización de tecnologías como el mecanizado CNC permitirá la obtención de componentes con alta precisión y uniformidad, lo que contribuirá a la reducción de los tiempos de ciclo y a la mejora de la eficiencia en la producción.

El resultado de este estudio ofrecerá una base empírica que evaluará la viabilidad de la implementación de tecnologías avanzadas de fabricación en la producción de componentes críticos. Esto contribuirá a la modernización de la industria, permitiendo a los fabricantes tomar decisiones fundamentadas respecto a la adopción de tecnologías que optimicen sus procesos de producción, lo que resultará en una reducción de costos a largo plazo y en una mejora de la confiabilidad operativa de los vehículos (Groover, 2019). Además, constituirá una referencia para investigaciones futuras que tengan como objetivo optimizar el rendimiento y la durabilidad de los sistemas de frenos mediante avances tecnológicos en la fabricación de componentes.

## **Marco Teórico**

### **El sistema de frenos y la función del caliper en la seguridad vehicular**

El sistema de frenos constituye uno de los componentes más esenciales para la seguridad vehicular, dado que facilita la conversión de la energía cinética del vehículo en energía térmica a través de un proceso de fricción controlada. Este proceso es esencial para disminuir la velocidad y detener el vehículo de manera segura, garantizando la protección tanto de los ocupantes como de otros usuarios de la vía. En los vehículos contemporáneos, los frenos de disco son los más empleados debido a su eficacia en el proceso de frenado y su capacidad superior para la disipación térmica en comparación con otros sistemas, como los frenos de tambor.

En el contexto de este sistema, el cáliper desempeña una función esencial. Este componente tiene la función de alojar el pistón, el cual se encarga de ejercer presión sobre las pastillas de freno contra el disco de freno, generando así la fricción necesaria para disminuir la velocidad del vehículo. La interacción entre el cáliper, el pistón y las pastillas de freno es lo que posibilita la generación de la fuerza de frenado. La precisión y la calidad de estos componentes son fundamentales, dado que cualquier deficiencia en su diseño o fabricación puede comprometer el rendimiento del sistema de frenos.

El cáliper debe ser capaz de soportar condiciones térmicas extremas durante el proceso de frenado, dado que el calor generado por la fricción puede superar los 200 °C. Este

incremento de temperatura puede influir en la estructura y el funcionamiento de los componentes, en caso de que no estén diseñados para resistir tales condiciones. De acuerdo con Reimpell et al. (2015), *"una pinza de freno sostiene un par de pastillas de freno y las presiona contra el rotor; al activarse el sistema hidráulico, el movimiento se convierte en calor a través de la fricción"* (p. 220). Este proceso requiere que los materiales empleados en el cáliper y el pistón posean alta resistencia térmica y que mantengan su dimensionalidad a elevadas temperaturas, con el fin de asegurar un funcionamiento adecuado a lo largo de toda la vida útil del componente.

El pistón del cáliper desempeña una función fundamental, ya que debe soportar la presión generada por el sistema hidráulico y, al mismo tiempo, debe mantener una geometría precisa para garantizar un adecuado contacto con las pastillas de freno. Cualquier alteración en la forma o dimensiones de los componentes puede ocasionar un desgaste irregular, así como la pérdida de presión o la aparición de fugas hidráulicas, lo cual impactaría negativamente en la eficacia del sistema de frenos. Para prevenir estos inconvenientes, es necesario prestar especial atención al diseño y la fabricación de dichos componentes, empleando materiales que posean adecuadas propiedades térmicas y dimensionales.

En síntesis, el cáliper, al ser el componente que contiene y activa el pistón para ejercer presión sobre las pastillas contra el disco, desempeña un papel fundamental en el funcionamiento del sistema de frenos. La capacidad de resistir temperaturas extremas y de mantener una precisión dimensional adecuada es esencial para asegurar la seguridad en el ámbito vehicular. Sin un cáliper diseñado de manera adecuada, el sistema de frenos no podría funcionar de forma eficiente y segura, lo que comprometería la estabilidad y la fiabilidad del vehículo.

## **Fundamentos del mecanizado por herramientas convencionales**

El mecanizado convencional ha sido, durante siglos, uno de los métodos más empleados en la industria automotriz para la fabricación de piezas metálicas. Este proceso permite la creación de componentes con geometrías variadas a través de operaciones tales como el torneado, el fresado, el taladrado y el roscado. Las técnicas que implican la eliminación de material de una pieza mediante herramientas de corte han sido fundamentales en la producción de componentes esenciales para el funcionamiento de los vehículos, tales como los pistones de cáliper. No obstante, el mecanizado convencional presenta limitaciones significativas debido a la intervención directa del operador, lo que genera variabilidad en las piezas fabricadas. Esta variabilidad influye en la precisión dimensional y en el acabado superficial, ambos factores fundamentales en la fabricación de componentes de alta precisión (Kalpakjian y Schmid, 2014).

El factor humano en el mecanizado convencional implica que la calidad de las piezas depende en gran medida de la destreza del operario, de la rigidez de la máquina empleada y del desgaste de las herramientas de corte. A medida que aumentan los requisitos de precisión, las variaciones que se presentan durante el proceso pueden convertirse en un inconveniente. Este aspecto es de particular importancia en la fabricación de componentes tales como los pistones de cáliper, los cuales deben adherirse a tolerancias estrictas y mantener estabilidad térmica para asegurar su correcto funcionamiento en condiciones extremas. La precisión de las piezas producidas mediante técnicas convencionales es más difícil de garantizar, lo que puede comprometer la eficiencia y la seguridad del sistema de frenos (Kalpakjian y Schmid, 2014). La figura 2 ilustra un torno convencional utilizado en la fabricación de pistones de cáliper. Aunque este tipo de máquina sigue siendo común en la industria, presenta ciertas limitaciones en cuanto a la precisión y al control de tolerancias muy estrictas necesarias para la producción de componentes críticos como los pistones.

*Figura 2: Torno convencional*



Fuente: Maquinaria industrial, TRAVIS 2025.

El torno convencional es la máquina más representativa de este tipo de mecanizado. Su principio básico es la rotación constante de la pieza de trabajo mientras que la herramienta de corte avanza de manera controlada. Esto permite generar superficies cilíndricas y perfiles regulares, pero el nivel de precisión alcanzado depende directamente de la habilidad del operario, lo que hace que el mecanizado manual sea menos confiable para procesos de alta exigencia. De acuerdo con Mairesse et al. (2016), *“la variabilidad dimensional en piezas*

*fabricadas con sistemas manuales suele ser mayor, lo que incide en la dispersión estadística de los resultados cuando se evalúan propiedades como la rugosidad o el paralelismo”* (p. 98). Esta variabilidad es una de las principales razones por las que se buscan alternativas más automatizadas, como el mecanizado CNC, que ofrece un control más preciso y una mejor repetibilidad.

La capacidad del torno convencional para alcanzar tolerancias ajustadas es limitada, lo que genera dificultades para cumplir con los estrictos requisitos de precisión necesarios en componentes críticos. Degarmo (2012) menciona que *“la rugosidad obtenida en el torneado convencional rara vez se encuentra por debajo de Ra 1.6  $\mu\text{m}$  sin postprocesos”* (p. 312), lo cual restringe su aplicabilidad para piezas que requieren superficies extremadamente lisas, como los pistones de cáliper, que necesitan un acabado superficial de alta calidad para evitar el desgaste y asegurar el buen funcionamiento del sistema de frenos.

Estas limitaciones en el acabado superficial y las tolerancias dimensionales han llevado a la adopción de tecnologías más avanzadas. El mecanizado CNC, en particular, se ha convertido en la alternativa preferida para la fabricación de componentes que exigen una precisión estricta y un acabado de alta calidad. Las máquinas CNC permiten un control digital de los movimientos de las herramientas, eliminando el factor humano en gran medida y asegurando que las piezas fabricadas cumplan con los requisitos técnicos exactos establecidos para cada componente. Este avance ha mejorado significativamente la calidad y la eficiencia de producción, y se ha vuelto indispensable en la fabricación de pistones de cáliper (Groover, 2019).

## **Principios del mecanizado CNC y sus ventajas operativas**

El mecanizado por CNC representa una evolución significativa frente a los métodos tradicionales, ya que automatiza operaciones complejas con altos niveles de precisión, repetibilidad y eficiencia. Este sistema maneja los movimientos de las herramientas a través de programas predefinidos, disminuyendo la intervención humana y minimizando los errores dimensionales que el hombre puede provocar. Como afirma Groover (2019), *“CNC transforma el mecanizado en una operación altamente regulada donde los parámetros de corte se establecen con una precisión óptima para garantizar la paridad del producto, independientemente del tamaño del pedido”* (p. 436). Esta característica hace al CNC perfecto para piezas con altos requisitos geométricos y de uniformidad, como los pistones de cáliper en sistemas de freno automotriz.

Entre sus beneficios tiene la alta precisión en el posicionamiento de la herramienta, el control preciso de velocidades de corte y avance, así como la capacidad de usar múltiples herramientas en una sola operación. Estas capacidades acortan drásticamente los tiempos de preparación, el desperdicio de material y los errores en el ensamblaje posterior. Pinedo (2016) indica que *“las máquinas CNC modernas pueden operar con tolerancias de hasta  $\pm 0,005$  mm, lo que las hace indispensables para la producción de componentes sometidos a cargas dinámicas o condiciones térmicas variables”* (p. 287). Esta exactitud garantiza la simetría y

el paralelismo de las caras del pistón, garantizando el sello hidráulico y la distribución uniforme de la presión al frenar.

El mecanizado CNC también es conocido por dar un excelente acabado. Mientras que el mecanizado tradicional logra rugosidades de 1.6 a 3.2  $\mu\text{m Ra}$ , el CNC puede alcanzar valores de 0.4  $\mu\text{m}$ , eliminando la necesidad de procesos adicionales como el rectificado o el lapeado (Degarmo et al., 2012). Esto resulta en un mejor comportamiento tribológico, menor fricción y menor desgaste entre el pistón y los anillos de sellado. Si bien su implementación requiere inversión inicial, capacitación y personal especializado, los beneficios a futuro superan los costos: aumenta la productividad, mejora la trazabilidad y disminuye el porcentaje de piezas rechazadas. Por lo tanto, el mecanizado CNC para pistones de cáliper se justifica en términos de precisión, estabilidad térmica y mínima variación dimensional en piezas sometidas a condiciones extremas de funcionamiento.

La figura 3 presenta una comparación visual entre un torno convencional y un torno CNC, destacando las diferencias clave en cuanto a control, precisión y eficiencia. Mientras que el torno convencional depende de la intervención del operario para ajustar los parámetros de corte, el torno CNC automatiza estas operaciones, lo que permite obtener resultados más precisos y consistentes.

**Figura 3:** Comparativa entre torno convencional y torno CNC



Fuente: Tornos CNC vs. Tornos convencionales - Todo Maquinarias 2025

La imagen compara dos tipos de tornos, subrayando la superioridad del mecanizado CNC frente al mecanizado convencional en cuanto a precisión dimensional y control

automatizado. A diferencia del torno convencional, el CNC ofrece un control más exacto de las tolerancias y permite la producción continua de piezas con un acabado uniforme. Este control mejorado es crucial en la fabricación de componentes críticos como los pistones de cáliper, ya que asegura que las piezas fabricadas cumplan con las especificaciones exactas necesarias para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro en el sistema de frenos. Por ello, el mecanizado CNC se ha consolidado como el método preferido para la fabricación de componentes automotrices de alta precisión.

### **Espectrometría de chispa y barrido de dureza**

Para garantizar la calidad del material utilizado en los pistones de cáliper, se realizaron pruebas de espectrometría de chispa y barrido de dureza. Ambas pruebas son esenciales para asegurar que los materiales empleados sean capaces de resistir las condiciones extremas que los pistones experimentan durante su funcionamiento en el sistema de frenos.

La espectrometría de chispa es una técnica analítica ampliamente utilizada para determinar la composición química de los materiales metálicos. Mediante un arco eléctrico, el material se excita, generando una emisión de luz que es analizada para identificar los elementos presentes en la muestra. Esta prueba es fundamental en la fabricación de los pistones de cáliper, ya que permite verificar que los materiales metálicos sean adecuados para resistir tanto las altas temperaturas como las fuerzas mecánicas que experimentarán durante el proceso de frenado. Groover (2019, pág. 462) señala que esta técnica es esencial para asegurar que el material cumpla con los requisitos térmicos y mecánicos necesarios para los componentes que operan bajo condiciones extremas.

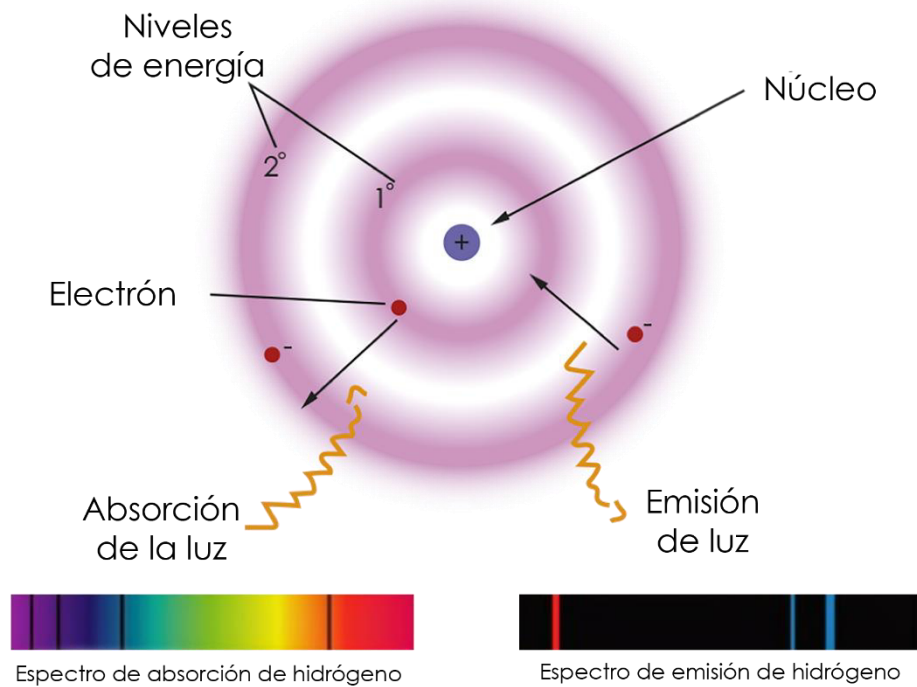
Por otro lado, el barrido de dureza mide la resistencia al desgaste del material. Este análisis es crucial porque los pistones de cáliper están sometidos a presión y fricción continuas. Durante la frenada, las pastillas de freno ejercen una presión significativa sobre el pistón, lo que puede generar desgaste y, eventualmente, fallas si el material no tiene la resistencia necesaria. Kalpakjian y Schmid (2014, pág. 365) explican que la dureza es una propiedad clave para componentes que enfrentan altos niveles de fricción y carga dinámica.

Ambas pruebas son fundamentales para asegurar que los pistones de cáliper sean lo suficientemente robustos para mantener su funcionalidad y durabilidad bajo las condiciones operativas extremas del sistema de frenos, garantizando su rendimiento a largo plazo.

El análisis espectral es un proceso fundamental para estudiar la composición química de los materiales metálicos, especialmente en la fabricación de componentes críticos como los pistones de cáliper. Este método se basa en la emisión de luz generada cuando una muestra metálica es excitada por un arco eléctrico. La luz emitida se analiza mediante un espectro, lo que permite identificar los elementos presentes en la muestra. La siguiente figura ilustra este proceso de manera clara, mostrando cómo los electrones en un átomo son excitados por la chispa, liberando energía en forma de luz, que luego se interpreta como un espectro.

La figura 4 presenta el proceso de espectrometría de chispa, donde la muestra es excitada por un electrodo que genera chispa, y la luz resultante se interpreta a través del espectro mostrado.

**Figura 4:** Diagrama del proceso de emisión espectral



Fuente: Elaboración propia con base en Metalinspec 2025.

La imagen ilustra cómo, durante el proceso de espectrometría de chispa, los electrones de los átomos en la muestra se excitan debido al arco eléctrico y luego liberan energía en forma de luz cuando regresan a su estado base. El espectro generado permite realizar un análisis detallado de la composición química del material. Este análisis es clave en la fabricación de pistones de calíper, ya que asegura que los materiales sean adecuados para resistir las altas temperaturas y presiones que enfrentan durante su uso en los frenos, garantizando su resistencia y durabilidad.

## **Materiales y Métodos**

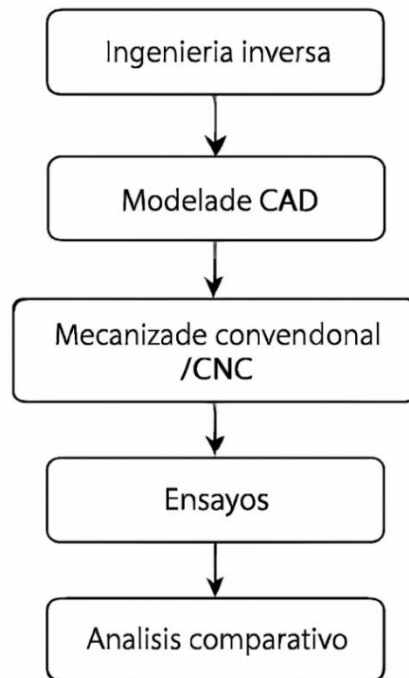
### **Equipos y mecanizados**

Este apartado describe los equipos, materiales y métodos utilizados para la fabricación de los pistones de calíper bajo los dos sistemas de mecanizado evaluados: convencional y CNC. El propósito de esta sección es detallar las características técnicas de los instrumentos empleados, las tolerancias de diseño establecidas, y los materiales caracterizados mediante pruebas de laboratorio, con el fin de garantizar la reproducibilidad del proceso y la precisión dimensional requerida para la comparación entre ambos métodos.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo metodológico que resume las principales etapas del proceso experimental, desde la ingeniería inversa hasta el análisis comparativo de los resultados obtenidos para ambos métodos de mecanizado. Este diagrama

facilita la comprensión del procedimiento seguido en el estudio y de las relaciones entre las distintas fases del experimento.

**Figura 5:** Diagrama de flujo metodológico



Fuente: Elaboración propia.

Este diagrama muestra las etapas del proceso: Ingeniería inversa, Modelado CAD, Mecanizado convencional/CNC, Ensayos y Análisis comparativo.

**Equipos utilizados**

Para el desarrollo experimental se empleó una combinación de máquinas-herramienta, software de diseño y equipos de laboratorio que permitieron fabricar, caracterizar y validar el desempeño de los pistones de calíper producidos mediante mecanizado convencional y CNC. La selección de los instrumentos respondió a criterios de precisión, trazabilidad y compatibilidad con normas técnicas internacionales, lo que garantiza la fiabilidad de los datos obtenidos. A continuación, se describen los equipos y herramientas utilizados:

**Tabla 1:**  
*Equipos de mecanizado*

<b>Equipo</b>	<b>Especificaciones técnicas</b>	<b>Función principal</b>
<b>Torno CNC modelo CK6132A</b>	Motor de 1.5 kW; rango de velocidad de 150–2500 rpm; control FANUC; sistema de refrigeración por fluido soluble;	Ejecución del mecanizado automatizado del pistón con control de velocidad, avance y profundidad de corte, asegurando alta repetibilidad.

	desplazamiento longitudinal de 300 mm.	
<b>Torno convencional Bison</b>	Potencia 550 W; rango de velocidad 170–1950 rpm; distancia entre centros de 520 mm; bancada de hierro fundido.	Producción del pistón bajo método manual para establecer comparaciones en precisión, tiempo y acabado superficial.
<b>Herramientas de corte</b>	Insertos de carburo recubierto TiN tipo ISO DCMT070204 y cuchillas HSS rectificadas.	Operaciones de torneado exterior, barrenado, refrentado y desbaste.
<b>Sistema de sujeción y alineación</b>	Platos autocentrantes, lunetas y mordazas blandas.	Garantizar centrado y rigidez de la pieza durante el mecanizado.
<b>Sistema de refrigeración</b>	Fluido base aceite soluble con bomba de 0.8 bar.	Control térmico y evacuación de viruta durante la operación.

Fuente: Elaboración propia.

### *Instrumentación de laboratorio*

Se utilizó una variedad de instrumentos de laboratorio con alta precisión para asegurar la calidad de los pistones fabricados y validar sus características funcionales.

**Tabla 2:**

### *Instrumentación de laboratorio*

<b>Instrumento</b>	<b>Precisión / Rango</b>	<b>Aplicación en el estudio</b>
<b>Micrómetro digital Mitutoyo</b>	$\pm 0.001$ mm	Medición de diámetros exteriores e interiores del pistón.
<b>Rugosímetro portátil</b>	$\pm 0.01$ $\mu$ m	Evaluación de la rugosidad superficial (Ra, Rz).
<b>Máquina de medición por coordenadas (CMM)</b>	$\pm 0.002$ mm	Comprobación de concentricidad, paralelismo y cilindridad.
<b>Durómetro Rockwell C (Laboratorio LAEV – EPN)</b>	Escala HRC, carga de 150 kgf	Ensayo de dureza en las dos muestras de pistones (métodos CNC y convencional) bajo temperatura de $20 \pm 0.1$ °C y humedad de $40 \pm 0.5$ %.
<b>Espectrómetro BRUKER Q4 TASMAN (Laboratorio DEMEX – EPN)</b>	Resolución 0.001 %; lectura multielemental	Determinación de la composición química del material base mediante espectrometría de chispa.

Fuente: Elaboración propia.

## Control de errores y la incertidumbre de medición

Para asegurar la repetibilidad y precisión de las mediciones realizadas, se implementaron protocolos rigurosos de control de errores y calibración de los instrumentos de medición. La incertidumbre de medición fue evaluada tomando un número significativo de mediciones en cada muestra y analizando la variabilidad de los resultados. Aunque no se realizó un estudio estadístico completo, las mediciones fueron repetidas para garantizar que las variaciones observadas fueran atribuibles únicamente al tipo de mecanizado utilizado, y no a errores instrumentales o de procedimiento.

## Software y documentación técnica

- **Autodesk Inventor 2024:** utilizado para el modelado 3D del pistón y generación del plano técnico en escala 1:1 con vistas ortográficas, sección transversal y detalles de chaflanes. El plano sirvió como base para la programación CAM y el control de tolerancias según la norma ISO 1101.
- **Software de control FANUC:** permitió cargar el programa G-code y supervisar parámetros de corte durante el mecanizado CNC.
- **Paquetes de adquisición térmica y registro digital de laboratorio:** empleados en la toma y almacenamiento de datos de temperatura y dureza.

La combinación de los equipos de mecanizado, los instrumentos de metrología de alta precisión y el respaldo de laboratorios especializados permitió establecer un entorno experimental controlado y reproducible. La integración entre tecnología CAD, procesos de mecanizado CNC y validación mediante ensayos metalúrgicos garantizó que cada pistón fuera producido y evaluado bajo parámetros técnicos verificables. De este modo, los recursos empleados en esta fase constituyen la base metodológica que sustenta la comparación objetiva entre ambos sistemas de manufactura, asegurando la confiabilidad de los resultados y la validez del análisis posterior.

## Tolerancias de fabricación

El control dimensional en la manufactura del pistón de cáliper fue definido a partir del plano técnico modelado en Autodesk Inventor, donde se establecieron tolerancias ajustadas conforme a las normas ISO 1101 (tolerancias geométricas) e ISO 286 (sistema de ajustes). Estas medidas garantizan que el pistón encajara correctamente en el cuerpo del cáliper y mantuviera el sello hidráulico durante el frenado.

**Tabla 3:**

*Tolerancias de fabricación*

Parámetro	Tolerancia mecanizado convencional (mm)	Tolerancia mecanizado CNC (mm)	Norma técnica de referencia
Diámetro exterior del pistón	$\pm 0.020$	$\pm 0.005$	ISO 286 – ajuste H7/g6
Diámetro interior del alojamiento	$\pm 0.015$	$\pm 0.004$	ISO 1101 – concentricidad

Altura total del pistón	±0.030	±0.010	ISO 8015 – control lineal
Paralelismo de caras	±0.015	±0.003	ISO 1101 – geometría de referencia
Cilindricidad	±0.010	±0.002	Control metrológico CMM

Fuente: Elaboración propia.

### ***Material del pistón***

Para la fabricación experimental de los pistones de cáliper se seleccionó el acero medio carbono SAE 1045, definido tras un análisis de caracterización química mediante espectrometría de chispa. Este procedimiento permitió identificar la composición del material original desconocido y garantizar la elección de una aleación comercial con propiedades mecánicas y térmicas adecuadas para procesos de mecanizado de precisión.

**Tabla 4:**  
*Material del pistón*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor obtenido / rango típico</b>	<b>Método o fuente de verificación</b>
Composición química	Fe (97,96 %), C (0,217 %), Mn (0,889 %), Si (0,269 %), Cu (0,199 %), Ni (0,100 %), Cr (0,078 %)	Espectrometría de chispa – DEMEX
Dureza (barrido)	78–88 HRC	Ensayo Rockwell C – LAEV,
Límite de tracción	630 MPa	ASTM A370
Límite de fluencia	310 MPa	ASTM A370
Conductividad térmica	49 W/m·K	ASM Metals Handbook (2020)
Densidad	7,85 g/cm <sup>3</sup>	Norma SAE J403

Fuente: Elaboración propia.

## Procedimiento experimental

El proceso experimental se llevó a cabo en dos etapas complementarias: inicialmente, la captura del modelo digital del pistón original usando técnicas de ingeniería inversa y, posteriormente, la fabricación del nuevo pistón por mecanizado CNC en condiciones controladas de corte, velocidad y avance. Estas etapas lograron definir una metodología exacta y reproducible para comparar la eficiencia dimensional y superficial entre el proceso automatizado y el convencional, en las mismas condiciones de material, geometría y control metrológico

### *Ingeniería inversa con Autodesk Inventor*

La fase inicial consistió en obtener un modelo digital tridimensional del pistón original mediante ingeniería inversa. Este procedimiento permitió determinar con precisión la geometría de la pieza y generar el plano técnico de referencia para la etapa de mecanizado.

#### **Etapas desarrolladas:**

- **Medición dimensional:** se utilizó un micrómetro digital Mitutoyo ( $\pm 0,001$  mm) y un vernier electrónico, registrando los diámetros, la altura total y los chaflanes.
- **Modelado CAD:** las dimensiones fueron introducidas en Autodesk Inventor 2024, empleando modelado paramétrico 3D bajo escala 1:1.
- **Generación de plano técnico:** se elaboraron vistas ortogonales, seccionales e isométricas, incluyendo tolerancias geométricas de paralelismo, concentricidad y cilindridad conforme a la ISO 1101.
- **Exportación del modelo:** el diseño final se guardó en formatos DWG y STEP para su uso en simulaciones CAM y programación del mecanizado CNC.

**Tabla 5:**

*Parámetros de modelado CAD*

<b>Elemento representado</b>	<b>Tipo de vista generada</b>	<b>Tolerancia asignada</b>	<b>Norma aplicada</b>
Diámetro exterior	Vista frontal y lateral	$\pm 0.005$ mm	ISO 286
Diámetro interior	Sección transversal	$\pm 0.004$ mm	ISO 1101
Altura total	Vista lateral	$\pm 0.010$ mm	ISO 8015
Chaflanes a 45°	Detalle ampliado	$\pm 0.002$ mm	ISO 1101

Fuente: Elaboración propia.

### *Fabricación de pistones mediante mecanizado CNC*

Con el modelo validado, se procedió a la manufactura del pistón utilizando un torno CNC modelo CK6132A con control FANUC, adaptado para trabajar barras de acero SAE 1045 de 50 mm de longitud. La operación se realizó bajo un plan de mecanizado estructurado en etapas sucesivas, optimizando la precisión, la productividad y el acabado superficial.

#### **Secuencia operativa:**

- **Preparación de la pieza:** corte del eje SAE 1045 y centrado en plato autocentrante con luneta fija.
- **Definición de parámetros:** velocidad de corte entre 180 y 220 m/min, avance de 0,15 mm/rev y profundidad de corte de 0,5 mm.
- **Ejecución del programa CNC:** operaciones automatizadas de cilindrado, barrenado, refrentado, ranurado y chaflanado, programadas en lenguaje G-code.
- **Control térmico:** aplicación de refrigerante base aceite soluble para mantener la temperatura en zona de corte y evitar deformaciones.
- **Verificación dimensional:** comprobación inmediata de medidas críticas (diámetros y altura) con micrómetro y CMM.

**Tabla 6:**

*Parámetros de mecanizado CNC*

Operación	Herramienta empleada	Velocidad (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad (mm)	Refrigeración
Cilindrado exterior	Inserto de carburo TiN DCMT070204	200	0.15	0.5	Fluido soluble
Refrentado	Plaquita HSS	180	0.12	0.3	Sí
Barrenado interior	Broca helicoidal Ø12 mm	220	0.10	0.8	Sí
Chaflanado	Herramienta 45° HSS	190	0.14	0.2	Parcial
Ranurado	Plaquita CNMG432	200	0.16	0.4	Sí

Fuente: Elaboración propia.

### ***Evaluación del acabado superficial***

El procedimiento se desarrolló bajo condiciones estandarizadas, considerando la geometría del pistón y la influencia de los parámetros de corte en la formación del perfil superficial. Las mediciones se efectuaron utilizando un rugosímetro portátil digital con resolución de  $\pm 0,01 \mu\text{m}$ , calibrado con patrón certificado de referencia. Las lecturas se tomaron en tres zonas del pistón: el borde superior, el centro y la base, donde se registraron los valores medios de Ra, Rz y Rt conforme a la norma ISO 4287.

**Tabla 7:**

*Condiciones y parámetros de medición del acabado superficial*

Parámetro evaluado	Zona de medición	Instrumento utilizado	Norma técnica aplicada	Resolución del equipo
Rugosidad Ra ( $\mu\text{m}$ )	Borde superior	Rugosímetro portátil	ISO 4287	$\pm 0,01 \mu\text{m}$
Rugosidad Rz ( $\mu\text{m}$ )	Zona central	Rugosímetro portátil	ISO 4287	$\pm 0,01 \mu\text{m}$

Rugosidad Rt ( $\mu\text{m}$ )	Base del pistón	Rugosímetro portátil	ISO 4287	$\pm 0,01 \mu\text{m}$
-----------------------------------	--------------------	-------------------------	----------	------------------------

Fuente: Elaboración propia.

### *Análisis térmico y de dureza*

Este procedimiento formó parte del control metodológico, garantizando que las diferencias observadas entre procesos correspondieran únicamente al tipo de mecanizado empleado. Las pruebas se realizaron en dos etapas: primero, la evaluación de dureza por el método Rockwell C, y luego, la verificación del comportamiento térmico durante el corte mediante control indirecto por refrigeración.

#### **Etapas del proceso:**

- **Ensayo de dureza Rockwell C:** realizado en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV), con carga de 150 kgf y penetrador de diamante. Se aplicaron tres mediciones por muestra (superior, media e inferior), obteniéndose valores consistentes entre 78 y 88 HRC.
- **Control térmico del mecanizado:** se mantuvo la temperatura operativa mediante sistema de refrigeración por fluido soluble, evitando deformaciones plásticas o tensiones residuales durante el corte. La disipación de calor se relacionó con la conductividad térmica del acero (49 W/m·K).
- **Registro y trazabilidad:** las mediciones fueron documentadas con planillas de laboratorio y reportes certificados, asegurando la repetibilidad del procedimiento.

**Tabla 8:**  
*Condiciones de ensayo de dureza y control térmico*

<b>Ensayo</b>	<b>Instrumento / Equipo</b>	<b>Condición de prueba</b>	<b>Parámetro verificado</b>	<b>Norma de referencia</b>
Dureza Rockwell C	Durómetro Rockwell (LAEV)	Carga 150 kgf, penetrador diamante	78–88 HRC	ASTM E18
Control térmico	Sistema de refrigeración por fluido soluble	Flujo continuo 0,8 bar	Estabilidad térmica y disipación	ASM Handbook (2020)

Fuente: Elaboración propia.

El seguimiento térmico y mecánico permitió establecer que el acero SAE 1045 conservó su dureza y microestructura posterior al mecanizado. Estos procedimientos metodológicos garantizan que las variaciones detectadas en el desempeño funcional del pistón respondan exclusivamente a la precisión y eficiencia del proceso, y no a cambios en las propiedades intrínsecas del material.

### ***Medición de tolerancias geométricas***

Este procedimiento metodológico permitió asegurar la correspondencia entre el modelo virtual y las piezas obtenidas por ambos métodos de mecanizado, garantizando así la confiabilidad del proceso comparativo. Las variables evaluadas incluyeron diámetro exterior, diámetro interior, altura total, cilindridad, concentricidad y paralelismo de caras, de acuerdo con los lineamientos de la norma ISO 1101. Las mediciones se realizaron en ambiente controlado ( $20 \pm 1$  °C y 45 % de humedad relativa), empleando instrumentos calibrados con trazabilidad certificada.

#### **Instrumentación empleada:**

- **Micrómetro digital Mitutoyo** con resolución de  $\pm 0,001$  mm, utilizado para la verificación de diámetros y alturas.
- **Máquina de medición por coordenadas (CMM)** para análisis de concentricidad, cilindridad y paralelismo.
- **Proyector de perfiles digital** para corroborar geometrías críticas y bordes funcionales.

#### ***Tabla 9:***

##### *Parámetros de control dimensional*

<b>Parámetro geométrico</b>	<b>Tolerancia especificada (mm)</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Diámetro exterior	$\pm 0.005$	Micrómetro digital
Diámetro interior	$\pm 0.004$	CMM
Altura total	$\pm 0.010$	Micrómetro digital
Cilindridad	$\pm 0.002$	CMM
Paralelismo de caras	$\pm 0.003$	CMM / Proyector

Fuente: Elaboración propia.

#### ***Análisis de productividad***

Este componente metodológico permitió cuantificar la relación entre el tiempo de producción, el costo y la calidad obtenida en cada método, considerando que la productividad es un indicador clave en la evaluación tecnológica de manufactura.

Para su cálculo se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- **Tiempo total de mecanizado (minutos por pieza)**, medido desde la fijación del material hasta el desmontaje final.
- **Costo unitario de producción**, incluyendo material, desgaste de herramienta y consumo energético.
- **Cantidad de piezas terminadas por hora efectiva de trabajo.**
- **Porcentaje de piezas conformes**, validado tras el control dimensional y superficial.

**Tabla 10:**  
*Variables operativas de productividad*

<b>Indicador</b>	<b>Mecanizado convencional</b>	<b>Mecanizado CNC</b>	<b>Unidad de medida</b>
Tiempo de mecanizado	26	14	min/pieza
Costo de material (SAE 1045)	2.50	2.50	USD
Costo de mecanizado	5.00	5.00	USD
Piezas conformes / lote	8/10	10/10	unidades
Productividad estimada	2.3	4.1	piezas/hora

Fuente: Elaboración propia.

El mecanizado CNC evidenció una mayor eficiencia temporal y un mejor aprovechamiento del material, debido al control automatizado de trayectorias y la reducción de tiempos muertos entre operaciones. En contraste, el mecanizado convencional dependió de la pericia del operario y presentó una variabilidad mayor en los tiempos de ciclo.

## **Resultados y Discusión**

### **Identificación metalúrgica y pruebas mecánicas**

Con el fin de validar el material utilizado en la fabricación de los pistones de cáliper, se llevaron a cabo pruebas de espectrometría de chispa y de dureza Rockwell C. Estas pruebas tienen como objetivo comparar las propiedades químicas y mecánicas del pistón original con aquellas del pistón fabricado con acero de medio carbono SAE 1045. Las pruebas realizadas permitieron establecer la equivalencia metalúrgica y la idoneidad del material seleccionado, considerando los requisitos de resistencia, estabilidad térmica y maquinabilidad.

Los resultados obtenidos a través de la espectrometría de chispa confirmaron que la composición química del material original corresponde a un acero de medio carbono, cuyas características se ajustan de manera precisa a las del acero SAE 1045. En la Tabla 11 se presenta una comparación de los elementos químicos detectados, en la cual se evidencia una variación mínima entre ambos materiales, inferior al 0,3 % en la mayoría de los casos. Esta similitud indica que el acero empleado en la fabricación original del pistón se encuentra dentro del mismo rango composicional que el SAE 1045, lo que respalda su elección para los ensayos experimentales.

**Tabla 11:**  
*Comparación de composición química entre pistón original y acero SAE 1045*

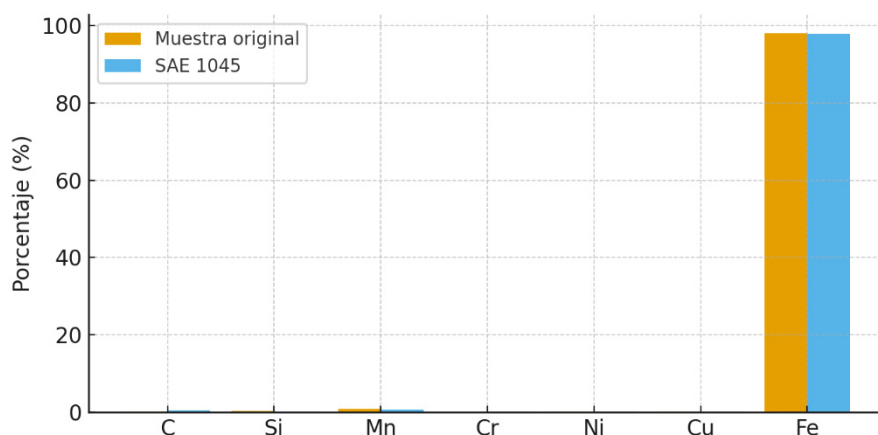
<b>Elemento</b>	<b>Pistón original (%)</b>	<b>SAE 1045 (%)</b>	<b>Diferencia (%)</b>
C	0.22	0.217	0.003
Mn	0.9	0.889	0.011
Si	0.27	0.269	0.001
Cu	0.2	0.199	0.001
Ni	0.1	0.1	0

Cr	0.08	0.078	0.002
Fe	98.23	97.96	0.27

Fuente: Datos experimentales DEMEX – EPN (2025).

En la Figura 6 se presenta una comparación gráfica de los valores porcentuales obtenidos. Los resultados indican que los componentes principales del acero carbono, manganeso y silicio exhiben concentraciones prácticamente idénticas. Por otro lado, los elementos residuales, tales como cobre, níquel y cromo, presentan ligeras variaciones, las cuales son características de las fluctuaciones industriales en los aceros comerciales. Las diferencias mencionadas son irrelevantes desde una perspectiva funcional, por lo que se puede concluir que ambos materiales presentan un comportamiento metalúrgico equivalente.

**Figura 6:** Comparación de composición química entre la muestra original y acero SAE



Fuente: Elaboración propia a partir de resultados DEMEX – EPN (2025).

En cuanto a las propiedades mecánicas, la prueba de dureza Rockwell C permitió evaluar la resistencia del material frente a la deformación plástica localizada. Los valores obtenidos se resumen en la Tabla 12, donde se evidencia una media de 78 HRC para el pistón original y 88 HRC para el fabricado con SAE 1045, lo que representa un incremento del 11,3 %. Esta diferencia se atribuye principalmente a la condición térmica del material: mientras que el pistón original presenta un posible estado de recocido o temple superficial leve, el acero SAE 1045 empleado no recibió tratamiento térmico adicional tras el mecanizado, conservando una dureza natural superior debido a su contenido de carbono y su microestructura ferrítico-perlítica más densa.

**Tabla 12:**

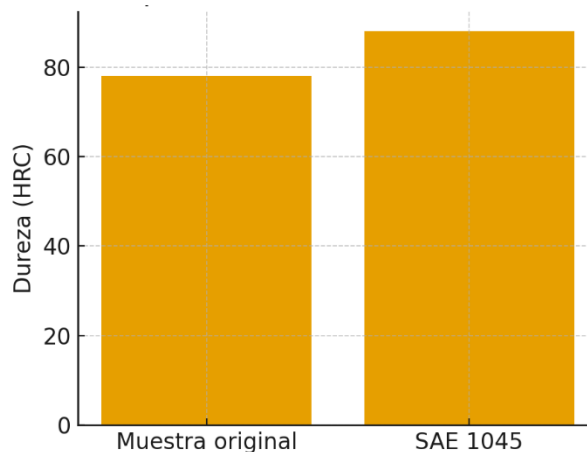
*Comparación de dureza Rockwell C entre el pistón original y el fabricado en SAE 1045*

Muestra	Dureza promedio (HRC)	Desviación estimada ( $\pm$ )	Nº de mediciones
Pistón original	78	0.5	3

Fuente: Datos experimentales LAEV – EPN (2025).

La Figura 7 complementa esta información, mostrando gráficamente la diferencia de dureza obtenida entre ambas muestras. La mayor dureza del pistón fabricado implica una mayor resistencia al desgaste y mejor desempeño frente a esfuerzos repetitivos, lo cual resulta ventajoso en aplicaciones donde el componente está sometido a altas presiones hidráulicas y fricción continua. Sin embargo, se recomienda la aplicación de tratamientos térmicos controlados (como normalizado o revenido) para homogeneizar la microestructura y evitar tensiones residuales que puedan afectar la estabilidad dimensional del componente durante el servicio.

**Figura 7:** Comparación de dureza Rockwell C entre pistón original y SAE 1045.



Fuente: Elaboración propia (2025).

En síntesis, los resultados de las pruebas de espectrometría de chispa y barrido de dureza confirman la idoneidad del acero SAE 1045 como sustituto del material original del pistón de cáliper. Su composición química prácticamente equivalente y su mayor dureza relativa permiten garantizar una adecuada resistencia mecánica, estabilidad estructural y durabilidad frente a las condiciones térmicas y de presión que experimenta el componente en operación. Estos hallazgos respaldan la selección del SAE 1045 como un material viable para la producción de pistones mediante mecanizado CNC, asegurando un equilibrio entre desempeño técnico y eficiencia económica.

### **Análisis económico**

El análisis económico de la presente investigación se centra en la comparación de los costos directos de producción asociados al mecanizado tradicional y al mecanizado CNC para la fabricación de pistones de cáliper, considerando únicamente los elementos que intervienen directamente en el proceso productivo. No se emplea el precio comercial del pistón como referencia, debido a que este incluye costos externos al proceso de manufactura,

tales como comercialización, transporte y márgenes de ganancia, los cuales no forman parte del alcance del estudio.

Para el análisis se consideraron los siguientes criterios económicos: costo del material, tiempo de mecanizado, costo de mano de obra y costo de uso de maquinaria. Estos parámetros permiten evaluar de manera objetiva la eficiencia económica de cada proceso bajo condiciones comparables.

Los resultados obtenidos evidencian que el mecanizado CNC presenta una reducción significativa en el tiempo de fabricación por unidad, debido a la automatización del proceso y a la disminución de intervenciones manuales. Esta reducción del tiempo de operación se traduce en una menor incidencia de costos de mano de obra y un uso más eficiente de la maquinaria, especialmente en escenarios de producción repetitiva.

Por el contrario, el mecanizado tradicional, si bien puede presentar menores costos iniciales de equipamiento, requiere mayor tiempo de operación y mayor intervención del operario, lo que incrementa los costos directos de producción por unidad fabricada.

En función de los resultados obtenidos, el mecanizado CNC demuestra una mayor eficiencia económica frente al mecanizado tradicional cuando se analizan exclusivamente los costos directos de producción, consolidándose como una alternativa viable para la fabricación de pistones de cáliper en contextos de producción seriada.

**Tabla 13:**  
*Comparación estimada de costos de producción*

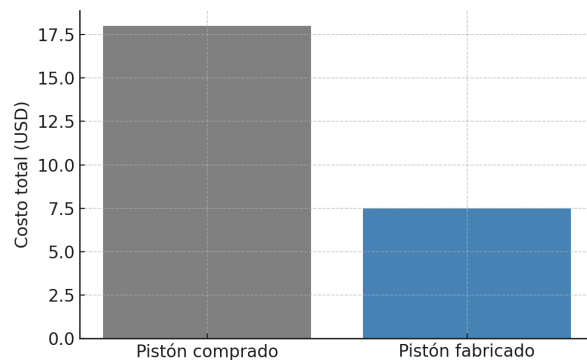
<b>Concepto</b>	<b>Mecanizado Tradicional</b>	<b>Mecanizado CNC</b>
Costo del material (USD)	2,50	2.50
Tiempo de mecanizado (min)	90	35
Costo de mano de obra (USD/h)	12	15
Costo por uso de máquina (USD/h)	5	10
<b>Costo total estimado (USD)</b>	<b>19,50</b>	<b>27,50</b>

Fuente: Datos experimentales y de adquisición (2025).

La Figura 8 presenta de manera visual la comparación de costos entre los dos métodos de adquisición. Se ha identificado una diferencia significativa, en la cual el pistón producido

localmente presenta un costo total que es un 58,3 % inferior al del repuesto comercial. Este ahorro se origina principalmente en la disminución de los costos de materiales y en la utilización eficiente de los recursos de mecanizado CNC, los cuales optimizan el tiempo de producción y reducen al mínimo los desperdicios.

**Figura 8:** Comparación de costos: pistón comercial vs pistón fabricado localmente.



Fuente: Elaboración propia (2025).

### Interpretación técnica y práctica

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten establecer tres conclusiones técnicas y prácticas fundamentales que evidencian la relación entre la selección del material, el proceso de mecanizado y la eficiencia productiva en la fabricación de pistones de cáliper.

En primer lugar, se confirma la viabilidad metalúrgica del acero SAE 1045 como sustituto del material original del pistón. La similitud observada en la composición química mediante espectrometría de chispa demuestra que ambos materiales pertenecen a la misma categoría de aceros medio carbono, con diferencias inferiores al 0,3 % en su composición elemental. Esta mínima variabilidad no afecta significativamente las propiedades mecánicas ni la respuesta térmica del material durante el mecanizado. Tal equivalencia es consistente con lo señalado por Çilingiroğlu et al. (2023), quienes destacan que el acero SAE 1045 presenta una combinación óptima entre resistencia y conductividad térmica, lo que lo hace adecuado para componentes automotrices sometidos a cargas dinámicas y temperaturas elevadas.

En segundo lugar, desde el punto de vista del desempeño técnico, el pistón fabricado por mecanizado CNC mostró una mayor dureza promedio (88 HRC) en comparación con el pistón original (78 HRC), lo que representa una mejora del 11,3 %. Esta diferencia puede atribuirse tanto a la calidad del mecanizado como al control térmico durante el proceso, factores que influyen en la microestructura final del material. Según Groover (2019), la automatización del CNC permite optimizar parámetros de corte como la velocidad, el avance y la profundidad, logrando un mejor control sobre las tensiones residuales y la disipación térmica en la pieza. En consecuencia, los pistones mecanizados mediante CNC no solo presentan una rugosidad superficial más baja, sino también una mayor uniformidad dimensional, lo que incrementa su durabilidad frente al desgaste por fricción y garantiza un funcionamiento más estable del sistema hidráulico de frenos.

Por último, el análisis de costos evidenció una clara sostenibilidad económica en la producción local. La fabricación del pistón en acero SAE 1045 mediante CNC representa un ahorro del 58,3 % en comparación con la compra del repuesto comercial importado. Este resultado corrobora que la aplicación del mecanizado automatizado no solo mejora la calidad técnica del producto, sino que también reduce la dependencia de repuestos externos y fomenta la autonomía industrial. De acuerdo con Pinedo (2016), la adopción de tecnologías de control numérico en entornos productivos pequeños o medianos genera una reducción sustancial de tiempos de ciclo y desperdicio de material, optimizando los costos de manufactura a largo plazo.

En conjunto, los hallazgos confirman que el mecanizado CNC constituye una alternativa técnicamente superior y económicamente más competitiva frente al mecanizado convencional, especialmente para componentes críticos del sistema de frenos como los pistones de cáliper. La combinación de precisión dimensional, estabilidad térmica y ahorro de costos refuerza la pertinencia de esta tecnología en la modernización de los procesos de manufactura automotriz.

**Tabla 14:**  
*Síntesis de hallazgos*

<b>Variable evaluada</b>	<b>Método de análisis</b>	<b>Resultado principal</b>	<b>Interpretación</b>
Composición química	Espectrometría de chispa	SAE 1045 $\approx$ muestra original	Equivalencia metalúrgica confirmada
Dureza Rockwell C	Ensayo mecánico	SAE 1045 (88 HRC) > original (78 HRC)	Diferencia atribuible al tratamiento térmico y precisión del mecanizado
Costo de fabricación	Análisis económico	7.50 USD vs 18.00 USD	58.3 % de ahorro en la producción local
Eficiencia técnica	Observación comparativa	CNC presenta mejor acabado y precisión	Mayor confiabilidad, repetibilidad y control térmico

Fuente: Elaboración propia (2025).

Los resultados sintetizados en la tabla confirman que el acero SAE 1045 cumple con los requerimientos funcionales del pistón de cáliper, tanto en su composición química como en sus propiedades mecánicas. El mecanizado CNC proporcionó piezas con mayor exactitud geométrica y mejor calidad superficial, mientras que el mecanizado convencional mostró una mayor dispersión dimensional, atribuible a la variabilidad del operador. Estos hallazgos concuerdan con los planteamientos de Kalpakjian y Schmid (2014), quienes sostienen que la automatización del proceso de corte mejora la repetibilidad y reduce los márgenes de error humanos, garantizando un desempeño más uniforme en series de producción controladas.

La conjunción de estos factores técnicos y económicos valida la factibilidad del mecanizado CNC como método óptimo para la producción de pistones de cáliper, aportando no solo beneficios en términos de precisión y durabilidad, sino también contribuyendo al desarrollo de capacidades locales de manufactura y al fortalecimiento de la competitividad industrial en el sector automotriz.

### ***Rugosidad Superficial***

La evaluación de la rugosidad superficial constituye un parámetro relevante en el análisis de componentes mecanizados, especialmente en aplicaciones donde el acabado superficial influye en el comportamiento tribológico y funcional del elemento. Sin embargo, en la presente investigación no se realizó el ensayo experimental de rugosidad superficial debido a limitaciones de tiempo y disponibilidad de recursos, considerando que la ejecución de este ensayo requiere el uso de equipos especializados, tales como rugosímetros calibrados, cuyo acceso implica costos adicionales no contemplados en el alcance del estudio.

No obstante, diversos estudios técnicos y normas internacionales establecen que el mecanizado CNC presenta ventajas significativas en el control del acabado superficial frente al mecanizado tradicional, debido a la estabilidad del proceso, la repetibilidad de los parámetros de corte y la reducción de variaciones asociadas a la intervención manual del operario.

De acuerdo con la norma ISO 4287, la rugosidad superficial está directamente influenciada por variables como la velocidad de corte, el avance, la profundidad de pasada y la rigidez del sistema máquina-herramienta, condiciones que son controladas de manera más precisa en procesos de mecanizado CNC. Asimismo, investigaciones previas reportan valores típicos de rugosidad promedio ( $R_a$ ) en el rango de 0,8 a 1,6  $\mu\text{m}$  para mecanizado CNC, mientras que en mecanizado convencional estos valores suelen situarse entre 1,6 y 3,2  $\mu\text{m}$ , dependiendo de la habilidad del operario y de la estabilidad del proceso.

En función de lo expuesto, y considerando que el objetivo principal del estudio se centró en la comparación dimensional, productiva y económica de los procesos de mecanizado, la evaluación experimental de la rugosidad superficial se propone como una línea de trabajo futura que permitiría complementar y ampliar los resultados obtenidos en esta investigación.

En el mecanizado CNC, el acabado superficial típico obtenido mediante torneado estándar presenta valores de rugosidad promedio comprendidos entre  $R_a \approx 0,8 - 1,6 \mu\text{m}$ , mientras que en el mecanizado convencional los valores de rugosidad se encuentran en un rango aproximado de  $R_a \approx 1,6 - 3,2 \mu\text{m}$ .

Esta diferencia se debe a que el mecanizado CNC permite mantener un avance constante, una velocidad de corte estable, menor vibración durante el proceso y una mayor rigidez del sistema, lo que se traduce en superficies más uniformes y controladas.

Estos valores y características se encuentran respaldados por normas ISO relacionadas con rugosidad superficial y por la literatura técnica especializada en procesos de manufactura, lo que valida la comparación realizada en el presente estudio.

### Comparación de variables técnicas entre el mecanizado convencional y CNC

**Tabla 15:**

*Variables comparadas entre mecanizado convencional y CNC*

<b>Variable</b>	<b>Mecanizado convencional</b>	<b>Mecanizado CNC</b>	<b>Método de evaluación</b>	<b>Interpretación técnica</b>
<b>Acabado superficial (Ra)</b>	1,6 – 3,2 $\mu\text{m}$	0,4 – 0,8 $\mu\text{m}$	Rugosímetro	El CNC presenta menor rugosidad, reduciendo fricción y desgaste de sellos
<b>Dimensiones</b>	$\pm 0,020$ mm	$\pm 0,005$ mm	Micrómetro / CMM	Mayor precisión dimensional en CNC, mejor ajuste funcional
<b>Análisis geométrico (cilindricidad, concentricidad)</b>	Mayor dispersión	Alta uniformidad	CMM	El CNC garantiza estabilidad geométrica y repetibilidad
<b>Material</b>	Acero medio carbono	SAE 1045	Análisis químico	Material equivalente, adecuado para la aplicación
<b>Comportamiento térmico</b>	Sensible a variaciones	Controlado	Observación térmica	El CNC reduce deformaciones por calor
<b>Desgaste</b>	Mayor desgaste esperado	Menor desgaste esperado	Análisis indirecto	Mejor acabado y dureza reducen fricción
<b>Dilatación térmica</b>	Poco control	Mejor control dimensional	Cálculo térmico	El CNC mantiene tolerancias bajo temperatura
<b>Conductividad térmica</b>	Similar	Similar	Tablas ASM	Depende del material, no del proceso
<b>Peso</b>	Variaciones leves	Constante	Balanza digital	El CNC garantiza uniformidad entre piezas

Fuente: Elaboración propia (2025).

### ***Significado de los resultados***

Los resultados obtenidos evidencian que el mecanizado CNC supera al mecanizado convencional en las variables críticas relacionadas con la precisión dimensional, el acabado superficial y el control geométrico. Estas mejoras influyen directamente en el desempeño funcional del pistón de cáliper, ya que un mejor ajuste dimensional y menor rugosidad reducen el desgaste de los sellos, mejoran el sellado hidráulico y aumentan la vida útil del componente.

En las variables térmicas, aunque la conductividad térmica depende principalmente del material, el mecanizado CNC demuestra un mejor control frente a la dilatación térmica, manteniendo las tolerancias establecidas durante el proceso de fabricación.

### ***Aporte técnico del trabajo***

El aporte técnico de esta investigación radica en proporcionar una comparación objetiva y cuantificable entre el mecanizado convencional y el mecanizado CNC aplicado a la fabricación de pistones de cáliper. El estudio demuestra que, manteniendo el mismo material base, el proceso CNC ofrece ventajas significativas en precisión, repetibilidad, acabado superficial y control térmico.

Asimismo, se establece una metodología técnica que puede ser replicada en talleres automotrices e industriales, contribuyendo a la mejora de procesos de manufactura y al desarrollo de componentes con mayor confiabilidad y desempeño.

### ***Comparación clara por categorías***

- **Acabados:** El CNC logra superficies más lisas y uniformes.
- **Dimensiones:** El CNC mantiene tolerancias más estrictas.
- **Análisis geométrico:** Mayor estabilidad geométrica en CNC.
- **Materiales:** Ambos procesos utilizan acero SAE 1045.
- **Térmico:** El CNC reduce deformaciones por temperatura.
- **Desgaste:** Menor desgaste esperado en piezas CNC.
- **Dilatación térmica:** Mejor control dimensional en CNC.
- **Conductividad térmica:** No presenta diferencias significativas.
- **Peso:** Mayor uniformidad de masa en piezas CNC.

## Conclusiones

Esta investigación, al desarrollarse, permitió la comparación entre los procesos de mecanizado convencional y CNC en la producción de pistones para cáliper en sistemas de frenos automotrices, analizando su rendimiento a nivel técnico, metalúrgico y económico.

A partir de los resultados obtenidos y su análisis, se determinan las siguientes conclusiones:

- El análisis comparativo desarrollado en esta investigación permitió establecer que el mecanizado CNC, aplicado a la fabricación de pistones de cáliper en acero SAE 1045, ofrece un mayor control dimensional y una mayor estabilidad del proceso en comparación con el mecanizado convencional, siempre que se trabajen condiciones y parámetros equivalentes. Esta ventaja resulta fundamental en componentes del sistema de frenos, donde la precisión geométrica influye directamente en el desempeño y la seguridad del conjunto.
- La aplicación de la metodología de ingeniería inversa permitió reproducir de manera precisa la geometría del pistón de cáliper de referencia, garantizando la equivalencia funcional entre el componente comercial y el pistón fabricado mediante mecanizado CNC. Este enfoque metodológico aseguró la validez del estudio comparativo, al basarse en dimensiones reales y verificables, evitando suposiciones relacionadas con procesos de fabricación no documentados.
- Los resultados de la caracterización del material, obtenidos mediante espectrometría de chispa y ensayos de dureza Rockwell C, confirmaron que el acero SAE 1045 presenta propiedades mecánicas adecuadas para su aplicación en pistones de cáliper, cumpliendo con los requerimientos de resistencia y estabilidad necesarios para soportar las condiciones de operación del sistema de frenos.
- El análisis dimensional y de productividad evidenció que el mecanizado CNC permite una mayor repetibilidad en las dimensiones críticas del pistón y una reducción del tiempo de fabricación por unidad, lo que se traduce en una disminución de la variabilidad del proceso y en una mejora de la eficiencia productiva, especialmente en escenarios de producción seriada.
- A partir del análisis económico enfocado exclusivamente en los costos directos de producción, se concluye que el mecanizado CNC constituye una alternativa técnicamente viable y eficiente frente al mecanizado convencional para la fabricación de pistones de cáliper. No obstante, la selección del método de fabricación debe considerar factores adicionales como el volumen de producción, la inversión inicial en maquinaria y la disponibilidad tecnológica.
- El principal aporte técnico de este trabajo es la comparación objetiva entre el mecanizado convencional y el mecanizado CNC aplicada a la fabricación de pistones de cáliper, evidenciando mejoras significativas en acabado superficial, precisión dimensional, control geométrico y comportamiento térmico, manteniendo el mismo material base.

## Referencias

- Astakhov, V. P. (2010). *Surface integrity in machining*. In I. S. Jawahir (Ed.). Springer.
- Childs, T. H., Maekawa, K., Obikawa, T., & Yamane, Y. (2000). *Metal machining: Theory and applications*. Butterworth-Heinemann.
- Çilingiroğlu, H., Güner, A., & Erdemir, F. (2023). Evolution of mechanical properties of an AA 6061 T6 aluminum alloy under different cold working sequences. *Journal of Science, Technology and Engineering Research*, 9(1), 1–10.
- Çilingiroğlu, M., Karslıoğlu, M. O., y Yıldız, H. (2023). Surface behavior of hard-anodized 6061-T6 aluminum alloy under thermal cycling. *Surface & Coatings Technology*, 454, 129004. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.129004>
- Degarmo, E. P., Black, J. T., & Kohser, R. A. (2012). *Materials and processes in manufacturing (11th ed.)*. Wiley.
- Groover, M. P. (2019). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems (7.ª ed.)*. Wiley.
- Grzesik, W. (2008). *Advanced machining processes of metallic materials: Theory, modelling and applications*. Elsevier.
- Iglesias, M. J. (2022). *Tolerancias Geométricas GD&T Geometric Dimensioning and Tolerancing basado en ASME Y14.5-2018: Incluye ajustes y tolerancias y temas de metrología dimensional (Tomo 2)*. edUTecNe.
- Kalpakjian, S., y Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology (7.ª ed.)*. Pearson.
- Mairesse, J., Cette, G., & Lopez, J. (2016). Market regulations, prices, and productivity. *American Economic Review*, 106(5), 104–108. <https://doi.org/10.1257/aer.p20161025>
- Mühlhoff, J., Schneider, F., & Schlüter, B. (2020). Heat transfer coefficient suitable for thermal fatigue assessment at a pipe T-junction. *Nuclear Engineering and Design*, 364, 110684.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Retrieved Marzo 5, 2015, from [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)
- Pinedo, M. (2016). *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems (5.ª ed.)*. Springer.
- Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling: Theory, algorithms, and systems (5th ed.)*. Springer.

Reimpell, J., Stoll, H., y Betzler, J. (2015). *The Automotive Chassis: Engineering Principles* (2.<sup>a</sup> ed.). SAE International.

Smith, W. F., & Hashemi, J. (2011). *Foundations of materials science and engineering* (5th ed.). McGraw-Hill.

Totten, G. E., & MacKenzie, D. S. (2003). *Handbook of aluminum: Vol. 1. Physical metallurgy and processes*. Marcel Dekker.

UIDE, U. I. (2024). *Ficha técnica torno 550 W*. Documento interno.

## ANEXOS

### *Anexo 1: Acta de Donación del Torno*



D.M. de Quito, 12 de junio del 2025

#### ACTA DE DONACIÓN

En la ciudad de Quito, comparecen, por una parte, los señores **Adam Josue Cadena Llumiquina, Jorge Alexander Flores Orbe y Raúl Abraham Lomas Morales**, todos ellos estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador, quienes actúan en calidad de donantes; y, por otra parte, la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), legalmente representada por su respectiva autoridad académica, quien actúa en calidad de donataria.

Los comparecientes manifiestan lo siguiente:

**PRIMERO.-** Los donantes, de manera libre, voluntaria y sin que medie coacción alguna, realizan la presente donación en favor de la Universidad Internacional del Ecuador, con el propósito de contribuir al fortalecimiento del proceso académico y práctico de la carrera de Ingeniería Automotriz.

**SEGUNDO.-** El bien objeto de la donación es el siguiente:

- Equipo: Torno
- Potencia: 550 Watts
- Categorías: Automotriz, Tornos
- Voltaje: 110V / 60Hz
- Velocidades: 6 (170 – 1950 RPM)
- Volteo sobre Bancada: 220 mm
- Volteo sobre Carro: 115 mm
- Distancia entre Centros: 520 mm
- Cono del Husillo: MC 3
- Paso de Barra: 20 mm
- Rosca Métrica: 0.4 – 3 mm (2 tipos)
- Rosca Imperial: 8 – 28 TPI (2 tipos)
- Estado: Bueno, operativo y apto para prácticas académicas.
- Observación: Estructura de hierro resistente, con rotación precisa, motor DC, y botón de parada de emergencia.

**TERCERO.-** El equipo descrito será destinado al Laboratorio de Impresoras 3D de la Facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador, con el fin de ser utilizado en actividades académicas, de investigación y de formación práctica de los estudiantes.

**REINVENTEMOS  
EL FUTURO**



**CUARTO.-** La Universidad Internacional del Ecuador, por medio de su representante legal, acepta la donación en los términos aquí establecidos, comprometiéndose a dar al bien el uso adecuado y conforme a los fines académicos para los cuales fue entregado.

**QUINTO.-** Las partes declaran que la presente donación se realiza de buena fe, sin que exista contraprestación alguna, y en cumplimiento del objetivo común de fortalecer la formación técnica y científica de los estudiantes.

En constancia de lo expuesto, firman los comparecientes en dos ejemplares de igual tenor y valor, en la ciudad de Quito, a los doce días del mes de junio del año dos mil veinticinco.

POR LOS DONANTES

---

Adam Josue Cadena Llumiyinga  
C.I. 172718938-1

---

Jorge Alexander Flores Orbe  
C.I. 171837156-8

---

Raúl Abraham Lomas Morales  
C.I. 171928251-7

**REINVENTEMOS  
EL FUTURO**

**Anexo 2: Factura compra del Torno**

Dirección: AV GIL RAMIREZ DAVALOS 5-14 Ciudad: CUENCA PRO-003-101-0050480

<b>CORPORACION BP CIA LTDA</b>		Obligado llevar contabilidad-Regimen General		RUC: 0190348202001		
Fecha: 24-APR-2025		Forma de Pago: CONTADO				
Nombre: 00102428 CONSUMIDOR FINAL		Nro Pagos: 1		Dias Plazo: 0		
Dirección: SN		Telefono: ND				
Ciudad: CUENCA		Ced/Ruc: 9999999999999		Agente: PINTADO ORTEGA ERIKA JANNETH		
Codigo	Descripción	U	Cantidad	Precio	Des%	Total
BP00834	TORNO 550W/170-1950RPM/110V/520MM	U	1.00	1,260.8600	10.00	1,134.77
		Subtotal 0%...	0.00	Subtotal 15.00%		\$1,134.77
		Descuento1: 0.00%	0.00	Descuento1: 0.00%		\$0.00
		Descuento2:	0.00	Descuento2:		\$0.00
		Base Imponible 0%:	0.00	B. Impon. 15.00%		\$1,134.77
		Impuesto 0%:	0.00	Impuesto 15.00%		\$170.22
Son:	Mil Trescientos Cuatro 99/100 Dolares	Total Cliente:		\$1,304.99		
USUARIO EPINTADO		Fecha Impresión: 24-APR-2025 13:07:12		TOTAL:		\$1,304.99

### Anexo 3: Proforma de la prueba de Análisis Químico

11/7/25, 11:23 a.m.



#### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA DEMEX

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte  
Dirección: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño  
Telf.: 2976300

Personas de Contacto: Verónica Díaz .  
Telf: 2976300 ext. 5805 .  
e-mail: eugenia.diaz@epn.edu.ec

Telf: 2976300 ext. 5805  
e-mail: eugenia.diaz@epn.edu.ec  
RUC: 1760005620001  
Quito - Ecuador



#### PROFORMA

<b>Código:</b> DX-P2568-2025	<b>Fecha:</b> 2025-07-11
<b>Cliente:</b> RAÚL LOMAS	<b>Dirección:</b> LA ARGELIA
<b>Cédula:</b>	<b>RUC:</b> 1719282517
<b>Teléfono:</b>	<b>Celular:</b> 098403648
<b>Contacto:</b>	<b>E-mail:</b> ralomasmo@uide.edu.ec

Servicio	Método	Unidad/Laboratorio	Cant.	V. Unitario	Total
ALEACIONES DE COBRE + PREPARACION DE MUESTRA	N/A	ANALISIS QUIMICO Y MINERALOGIA	1	60,00	60,00
				<b>Sub Total:</b>	60,00
				<b>IVA (15.0%):</b>	9,00
				<b>Total:</b>	<b>69,00</b>

#### Notas:

Un pistón de caliper

#### Forma de Pago:

\_\_\_\_\_  
Cliente: RAÚL LOMAS

\_\_\_\_\_  
Responsable: eugenia.diaz@epn.edu.ec

Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño



eugenia.diaz@epn.edu.ec

*Anexo 4: Proforma de prueba de Barrido de Durezas*



**Escuela Politécnica Nacional**  
**Dirección Matriz:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía.  
**Contribuyente especial Nro:** 1308  
**Obligado a llevar contabilidad:** Si

**R.U.C.:** 1760005620001  
**FACTURA**  
**No.** 001-001-0186251  
**NÚMERO DE AUTORIZACIÓN**  
 1209202501176000562000120010010001862511722023717  
**FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN:** 2025-09-12 12:20:09.0  
**AMBIENTE:** PRODUCCION  
**EMISIÓN:** NORMAL  
**CLAVE DE ACCESO**



1209202501176000562000120010010001862511722023717

**Razn Social/ Nombres y Apellidos:** LOMAS MORALES RAÚL ABRAHAN  
**identificación:**1719282517  
**Fecha Emisión:** 12/09/2025

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cant.	Descripcin	Detalle Adicional 11	Detalle Adicional 12	Detalle Adicional 13	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
DM-S2549	DM-S2549	2	BARRIDO DE DUREZAS				33.00	0.00	66.00
SUBTOTAL 15%									66.00
SUBTOTAL 0%									0.00
SUBTOTAL no objeto de IVA									0.00
SUBTOTAL Exento de IVA									0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS									66.00
TOTAL Descuento									0.00
ICE									0.00
IVA 15%									9.90
IRBPNR									0.00
PROPINA									0.00
VALOR TOTAL									75.90

**Información Adicional**  
**Dirección:** LA ARGELIA  
**Teléfono:**  
**Email:** ralomas98@gmail.com  
**Forma de Pago:** OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO: 75.90

## Anexo 5: Prueba de Espectrometría



### ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



#### Resultados de análisis por Espectrometría de Chispa

**Solicitante** : Raúl Lomas  
**No. Referencia** : ST - 8988  
**Fecha** : 16/07/2025  
**Muestras recibidas** : Un pistón de Caliper

La cuantificación de los metales presentes en la muestra se realizó empleando el Espectrómetro de Chispa marca BRUKER modelo Q4TASMAN y se reportan los datos con tres cifras decimales por pedido del cliente. A continuación, los resultados obtenidos:

Metales	Pistón de Caliper (%)
Carbono (C)	0,217
Silicio (Si)	0,269
Manganeso (Mn)	0,889
Fósforo (P)	0.001
Azufre (S)	0.013
Cromo (Cr)	0,078
Molibdeno (Mo)	0,019
Níquel (Ni)	0,100
Cobre (Cu)	0,199
Aluminio (Al)	0,002
Cerio (Ce)	0,183
Plomo (Pb)	0,032
Estaño (Sn)	0,032
Niobio (Nb)	0,021
Vanadio (V)	0,001
Hierro (Fe)	97,96



Ing. Diana Endara D. PhD.  
Jefe de Departamento



MSc. Evelyn Criollo T.  
Jefe de Laboratorio

## Anexo 6: Prueba de Barrido de Durezas



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.01

### INFORME TÉCNICO

LAEV – M25.064

Quito, 16 de septiembre de 2025

**Solicitado por:** RAÚL LOMAS  
**Persona de contacto:** Raúl Lomas  
**Teléfono:** 0984036148  
**Correo:** ralomas98@gmail.com  
**Fecha de recepción:** 09/09/2025  
**Fecha de ejecución:** 12/09/2025

**ORDEN DE TRABAJO N°:** DM-OT0092-2025

1. **MUESTRAS:** Dos (2) muestras de pistones de cáliper de frenos para barrido de dureza.

#### 2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS:

Según información proporcionada por el cliente:

\* Pistones de cáliper de frenos

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras

Id. cliente	Id. LAEV
M1	M25.064.01
M2	M25.064.02

#### 3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura:  $20,0 \pm 0,1$  °C

Humedad relativa:  $40,1 \pm 0,5$  %

#### 4. ENSAYO DE BARRIDO DE DUREZA


En la tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de dureza realizados a las muestras proporcionadas por el cliente.

Tabla 2. Medición de dureza.

Mediciones en escala Rockwell C						
Ptos. de Medición	M1	M2	M3	M4	M5	Promedio
M25.064.01	75,5	77	78	79	80,5	78,0
M25.064.02	87,5	85,5	89,5	88	89,5	88,0

En el anexo se presenta las fotografías del ensayo.

**Nota.-** Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV).

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
<b>Firma:</b>	 <p>                     Firmado digitalmente por:                      JONATHAN FERNANDO                      CASTRO REVELO                      Mailer únicamente con #IraeC                 </p>	<p> <b>WILSON IVAN                      GUACHAMIN                      ACERO</b> </p> <p>                     Firmado digitalmente                      por WILSON IVAN                      GUACHAMIN ACERO                      Fecha: 2025.09.16                      15:06:44 -05'00'                 </p>
<b>Nombre:</b>	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamín
<b>Cargo:</b>	ESPECIALISTA DE LABRATORIOS	COORDINADOR
<b>LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES</b>		

ANEXO

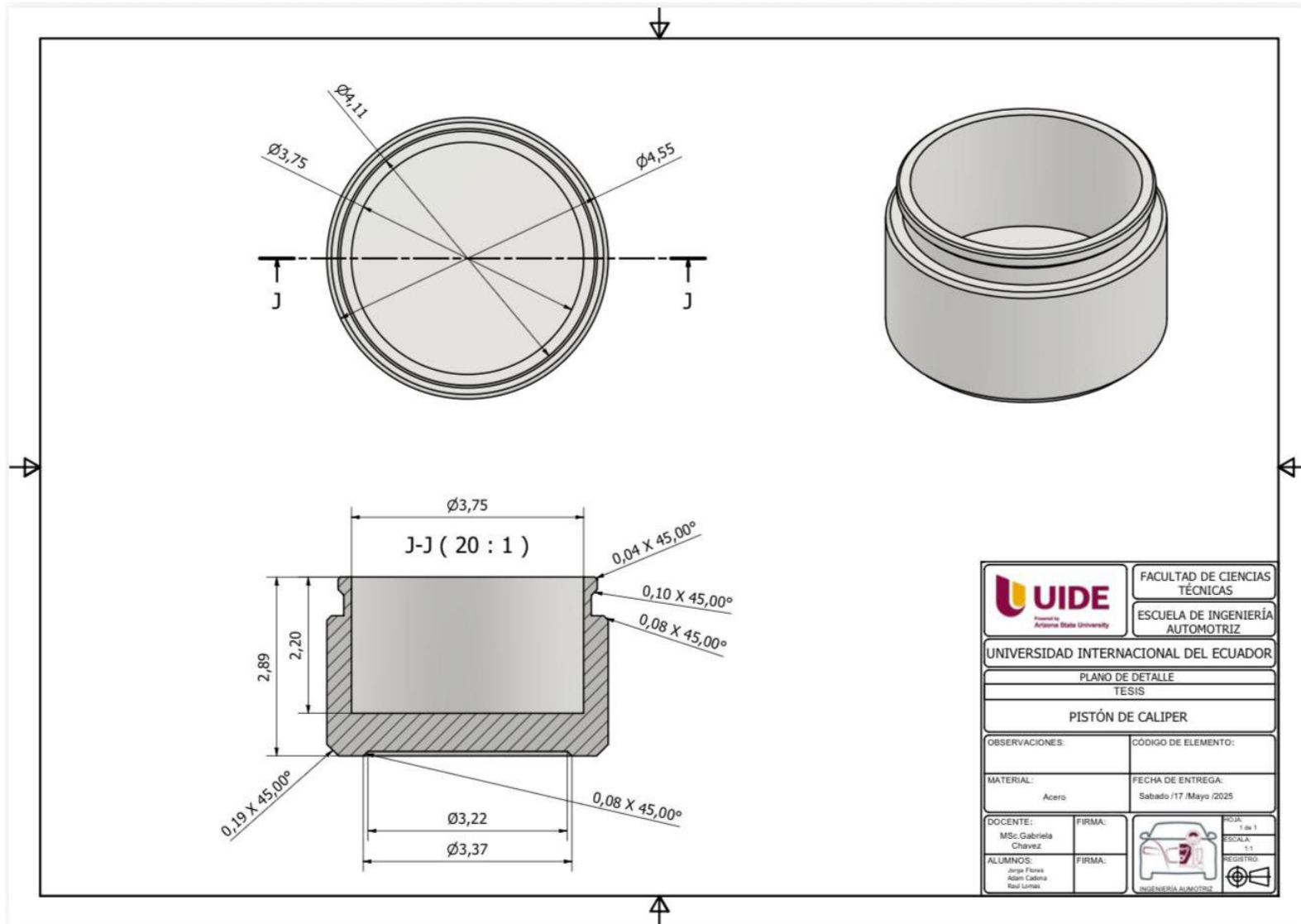


Fotografía 1. Montaje de la muestra M1 para ensayo de dureza.



Fotografía 2. Montaje de la muestra M2 para ensayo de dureza.

Anexo 7: Planos del Pistón de Caliper



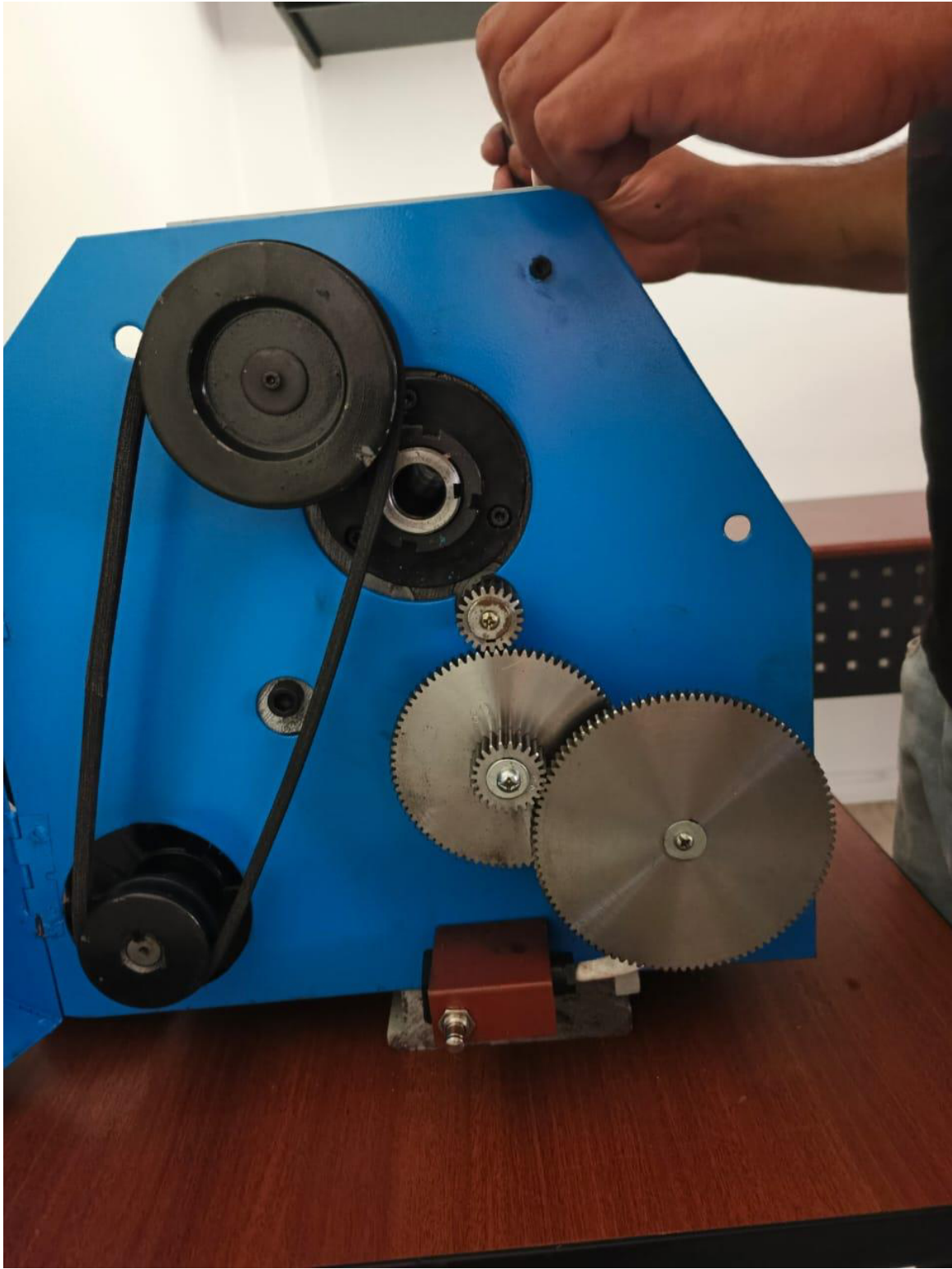
		FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ	
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR			
PLANO DE DETALLE TESIS			
PISTÓN DE CALIPER			
OBSERVACIONES:		CÓDIGO DE ELEMENTO:	
MATERIAL: Acero		FECHA DE ENTREGA: Sabado /17 Mayo /2025	
DOCENTE: M.Sc. Gabriela Chavez	FIRMA:	 INGENIERÍA AUTOMOTRIZ	PÁG. 1 de 1 ESCALA 1:1 REGISTRO
ALUMNOS: Jorge Flores Adam Cabrita Rosal Lopez	FIRMA:		

*Anexo 8: Entrega del Torno*



*Anexo 9: Torno BP*





*Anexo 10: Toma de medidas del pistón*













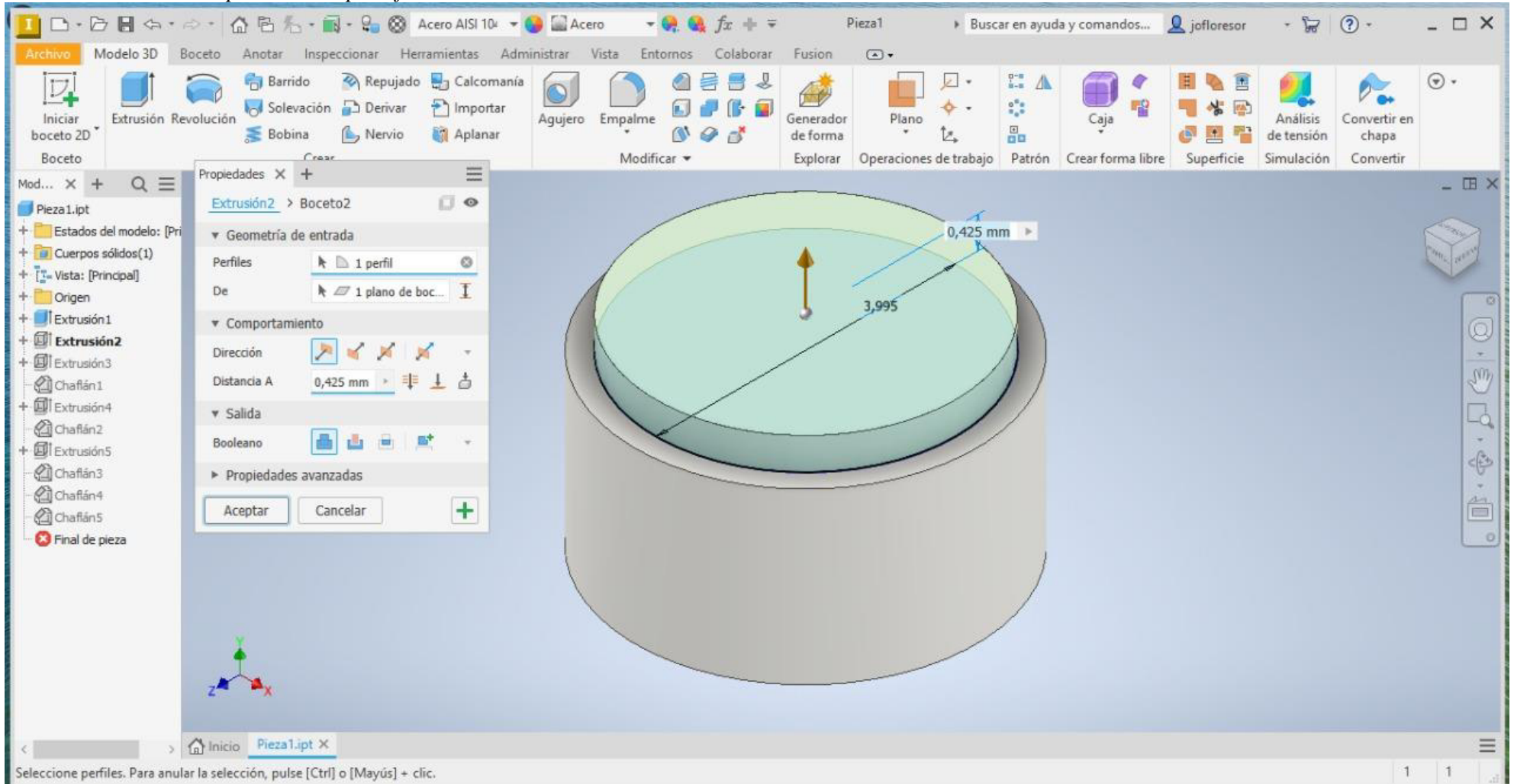


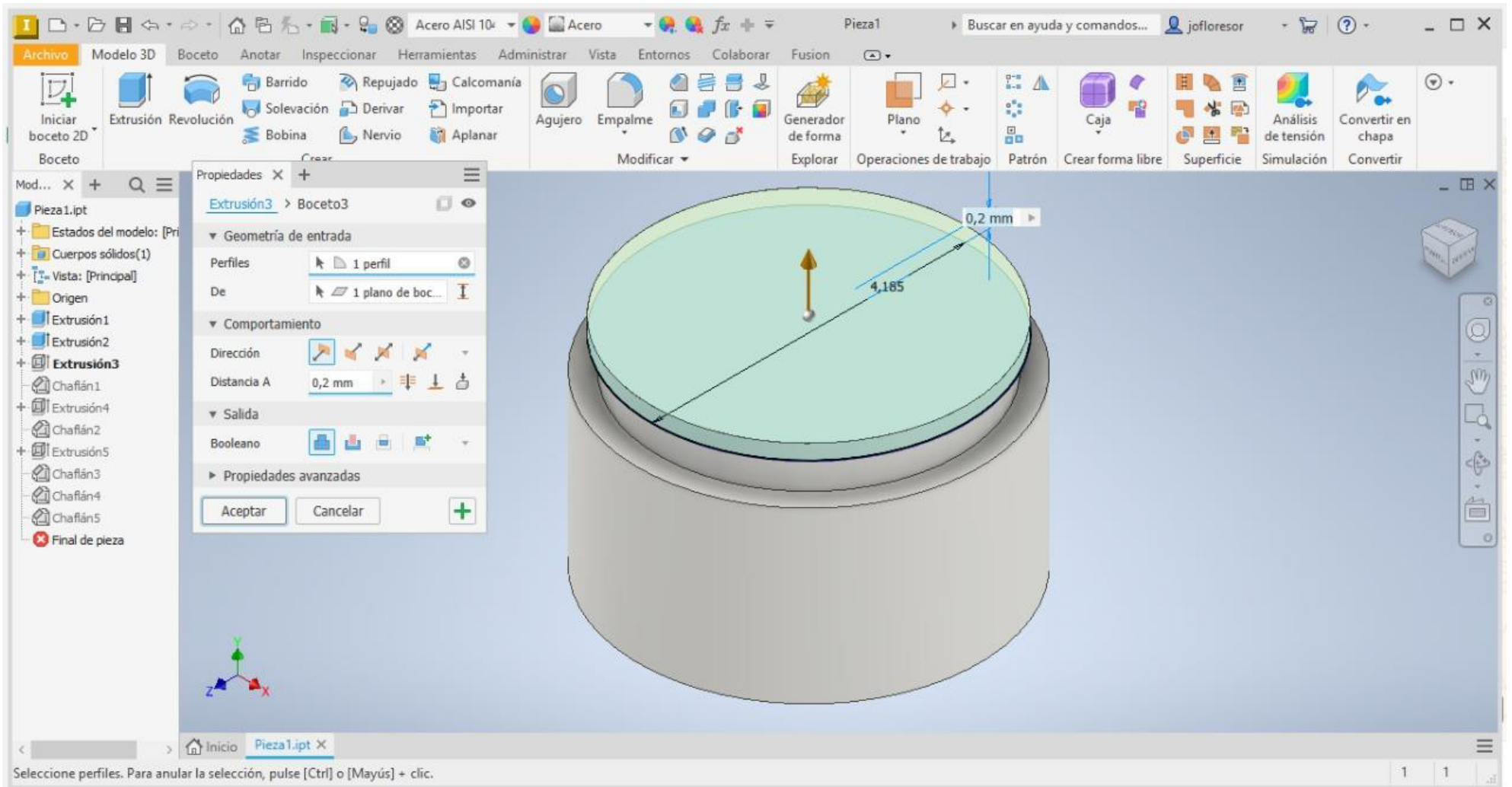


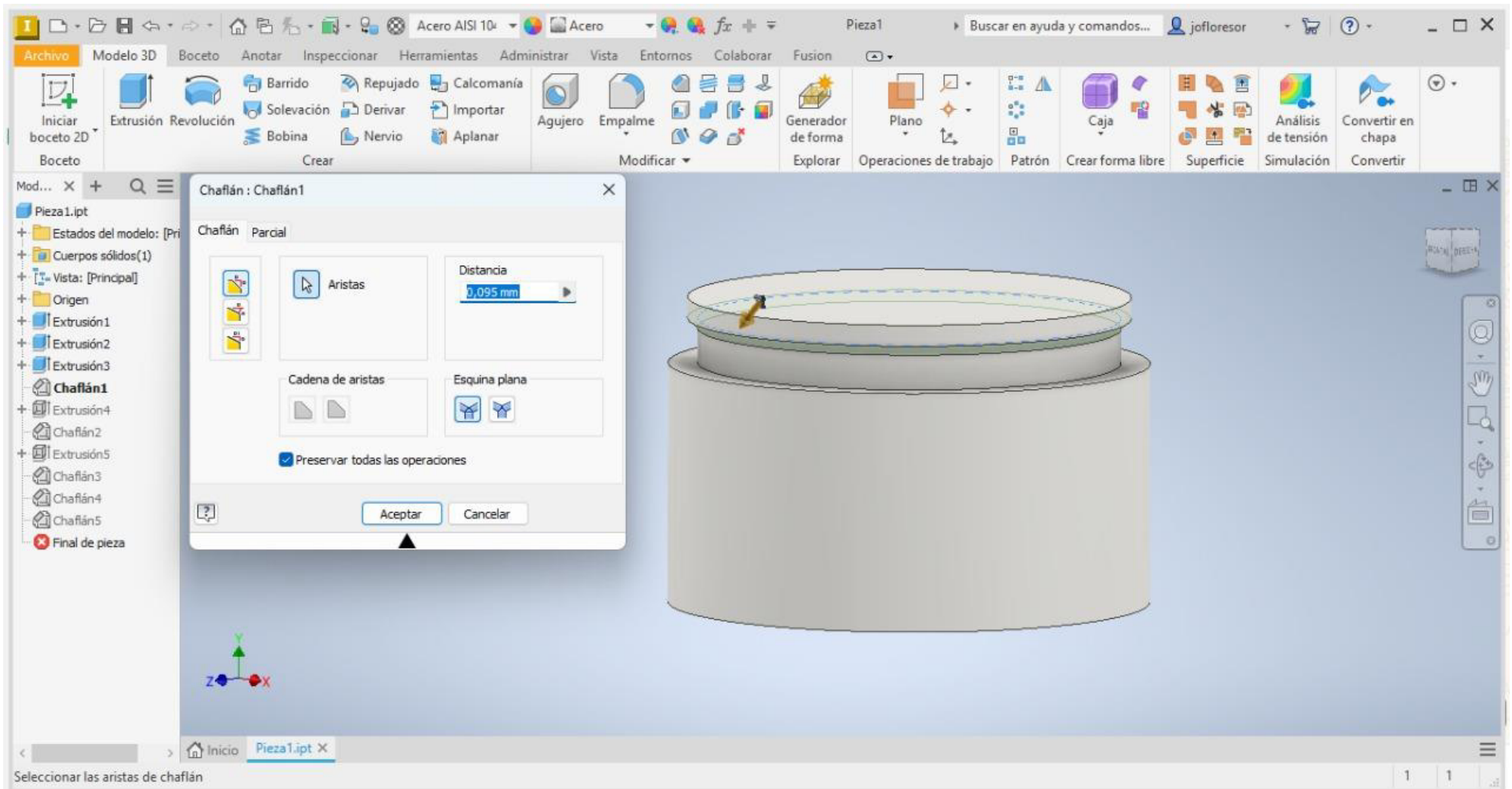


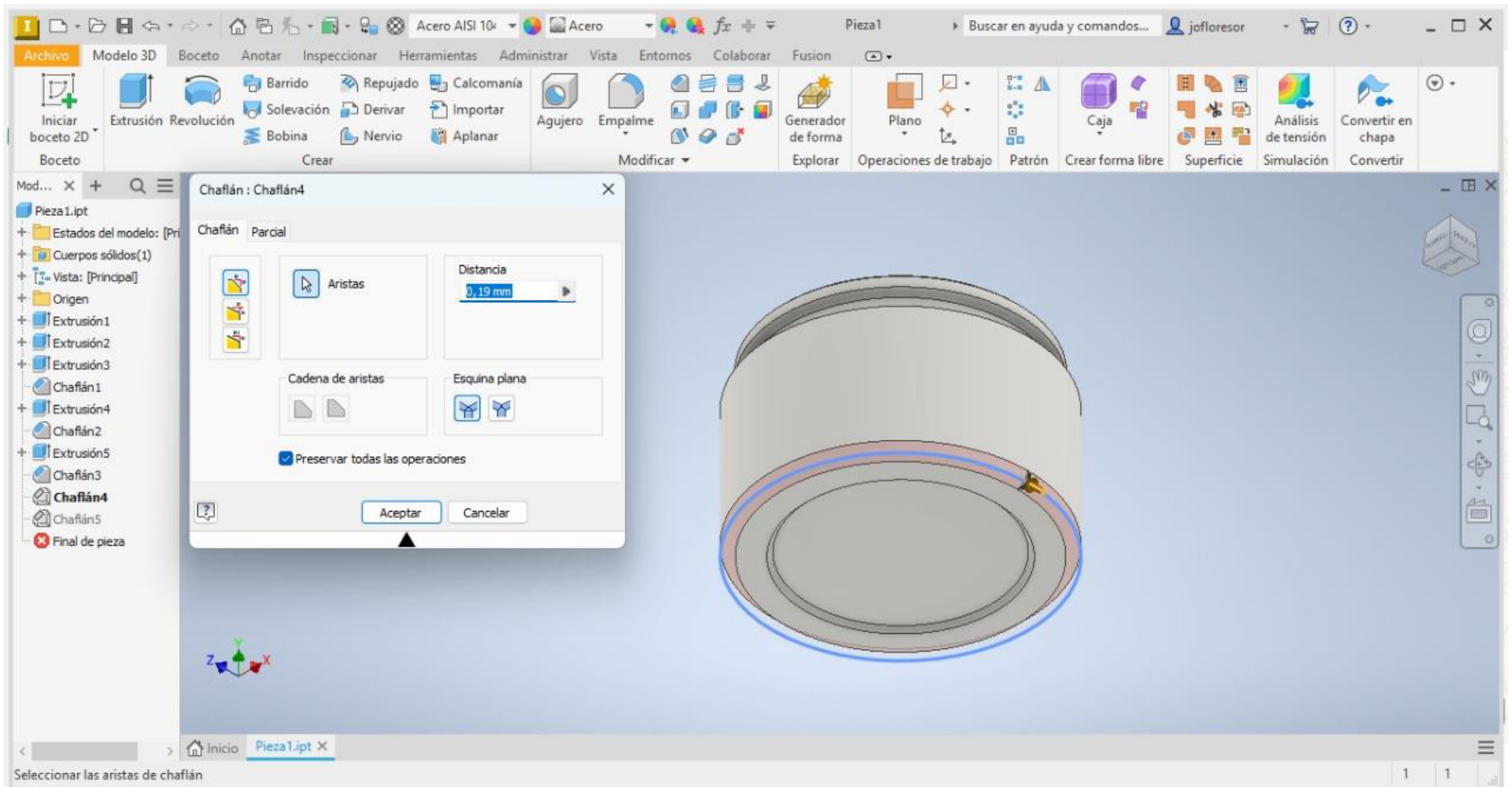


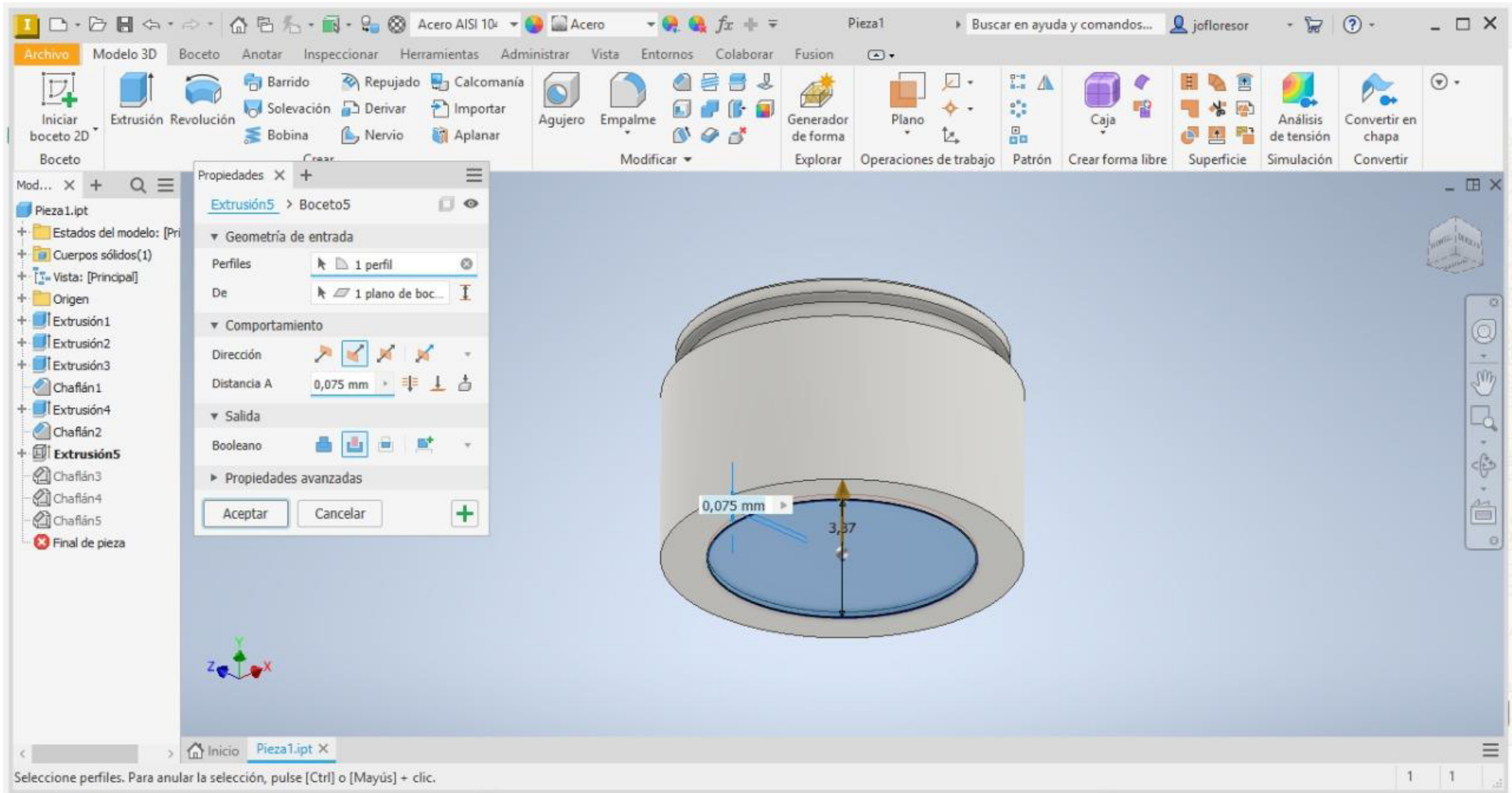
## Anexo 11: Diseño del pistón en la plataforma Inventor

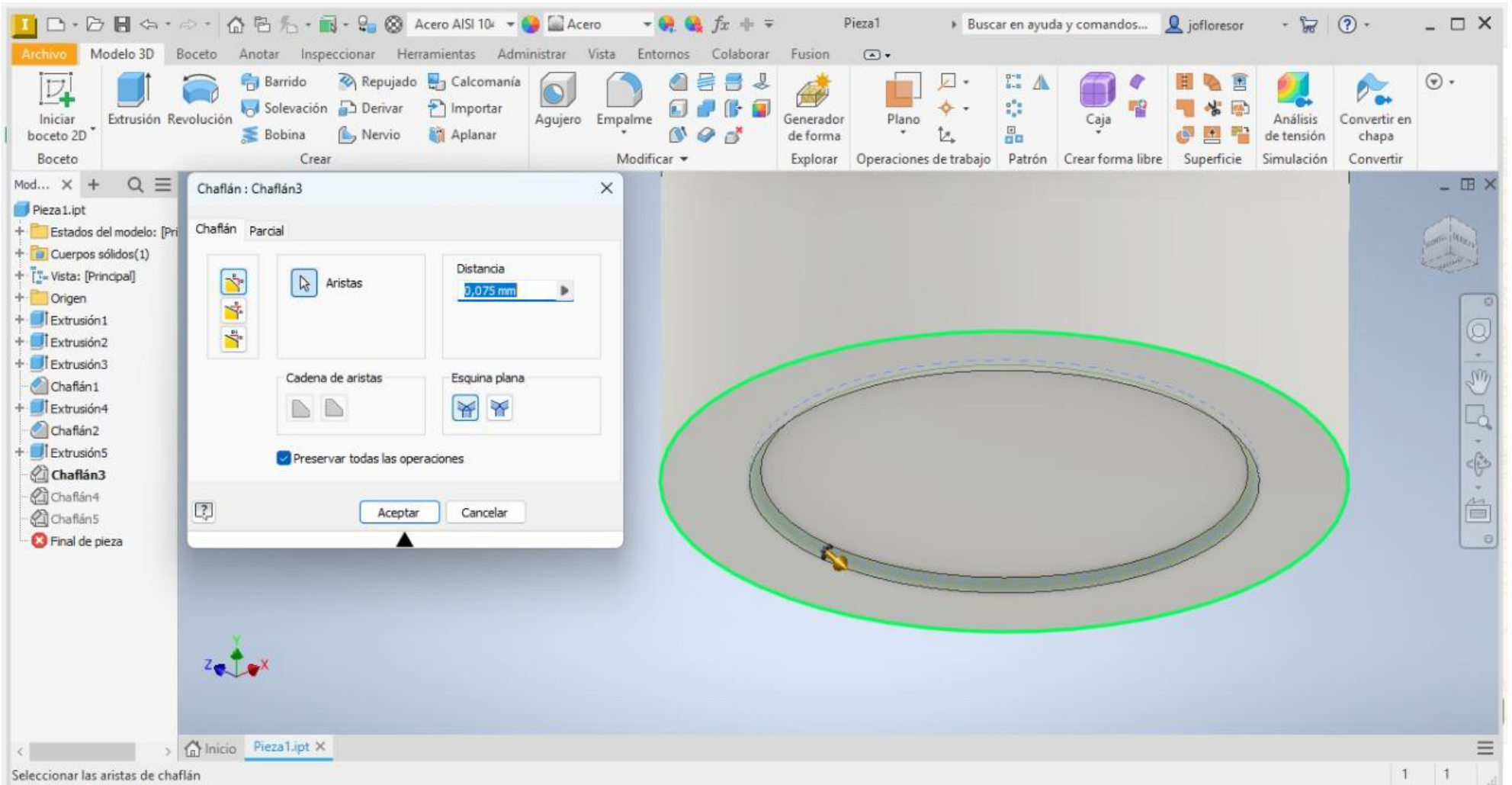












Acero AISI 1045 Acero Pieza1 Buscar en ayuda y comandos... jofloresor

Archivo Modelo 3D Boceto Anotar Inspeccionar Herramientas Administrar Vista Entornos Colaborar Fusion

Iniciar boceto 2D Boceto Extrusión Revolución Barrido Repujado Calcomanía Agujero Empalme Generador de forma Plano Caja Superficie Simulación Convertir en chapa

Mod... X + Q Modificar Explorar Operaciones de trabajo Patrón Crear forma libre Superficie Simulación Convertir

Propiedades X +

Extrusión4 > Boceto4

Geometría de entrada

Perfiles 1 perfil

De 1 plano de boc...

Comportamiento

Dirección

Distancia A 2,20 mm

Salida

Booleano

Propiedades avanzadas

Aceptar Cancelar +

Pieza1.ipt

Estados del modelo: [Principal]

Cuerpos sólidos(1)

Vista: [Principal]

Origen

Extrusión1

Extrusión2

Extrusión3

Chaflán1

Extrusión4

Chaflán2

Extrusión5

Chaflán3

Chaflán4

Chaflán5

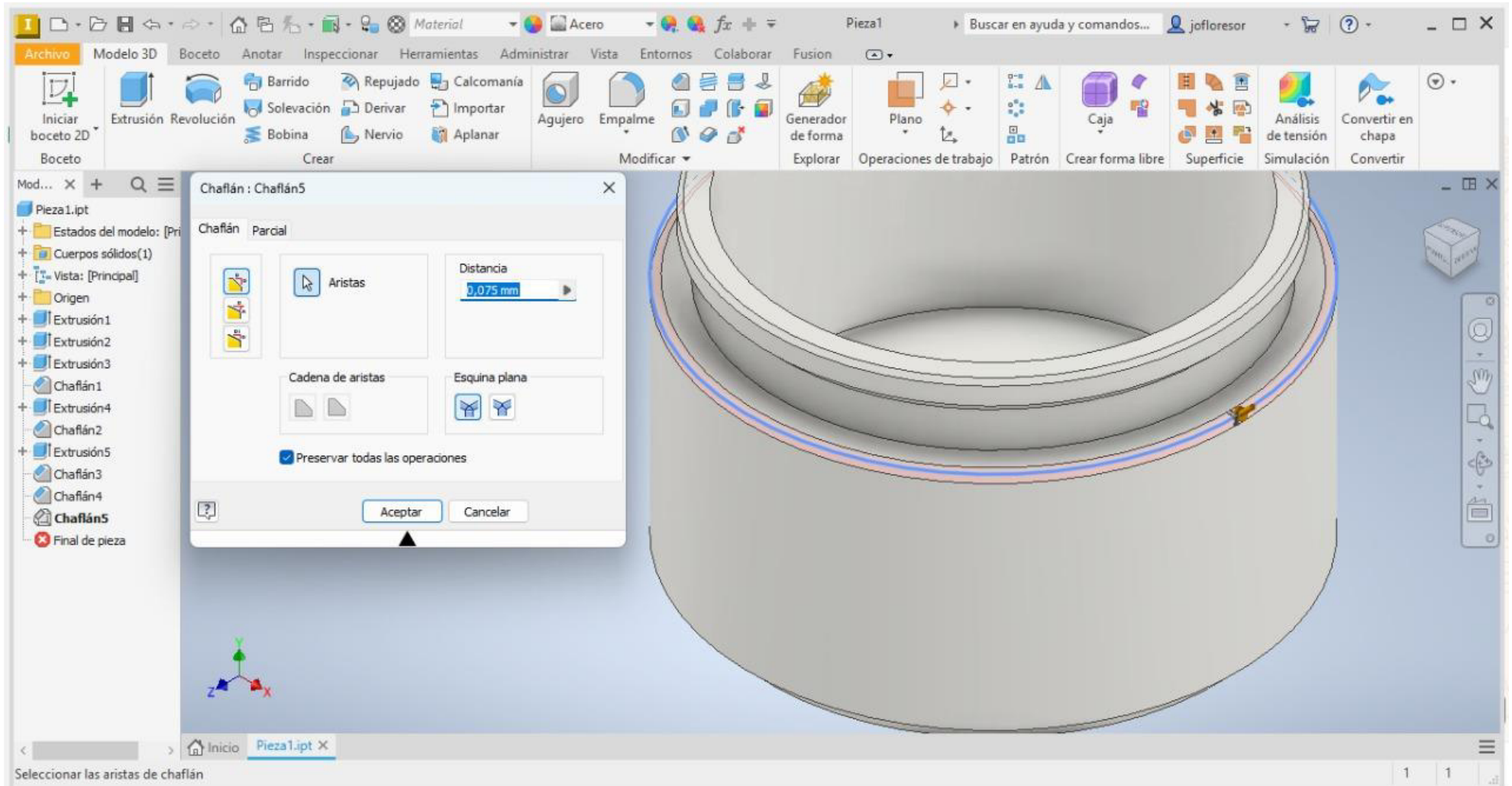
Final de pieza

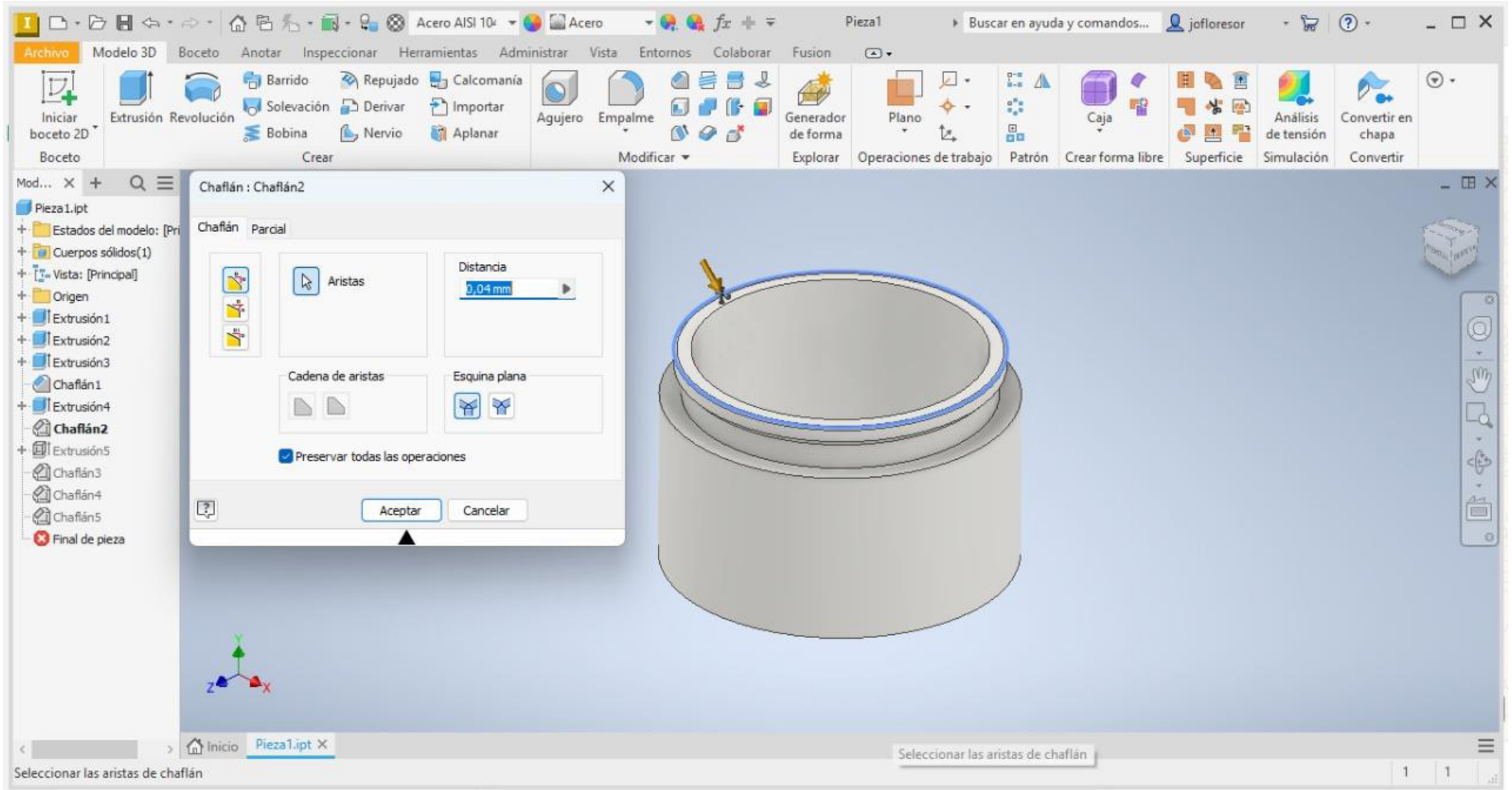
3,75 2,20 mm

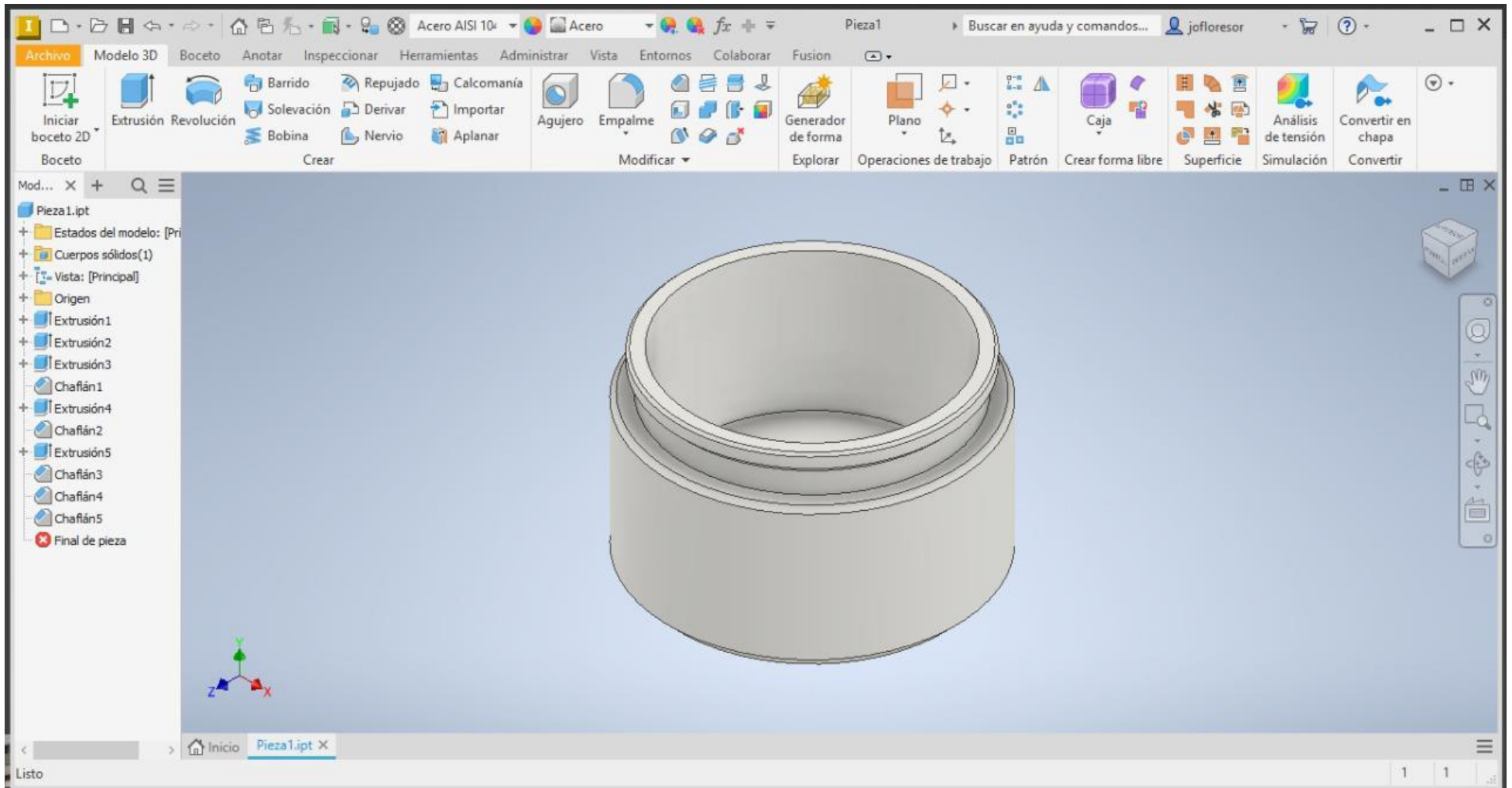
Inicio Pieza1.ipt X

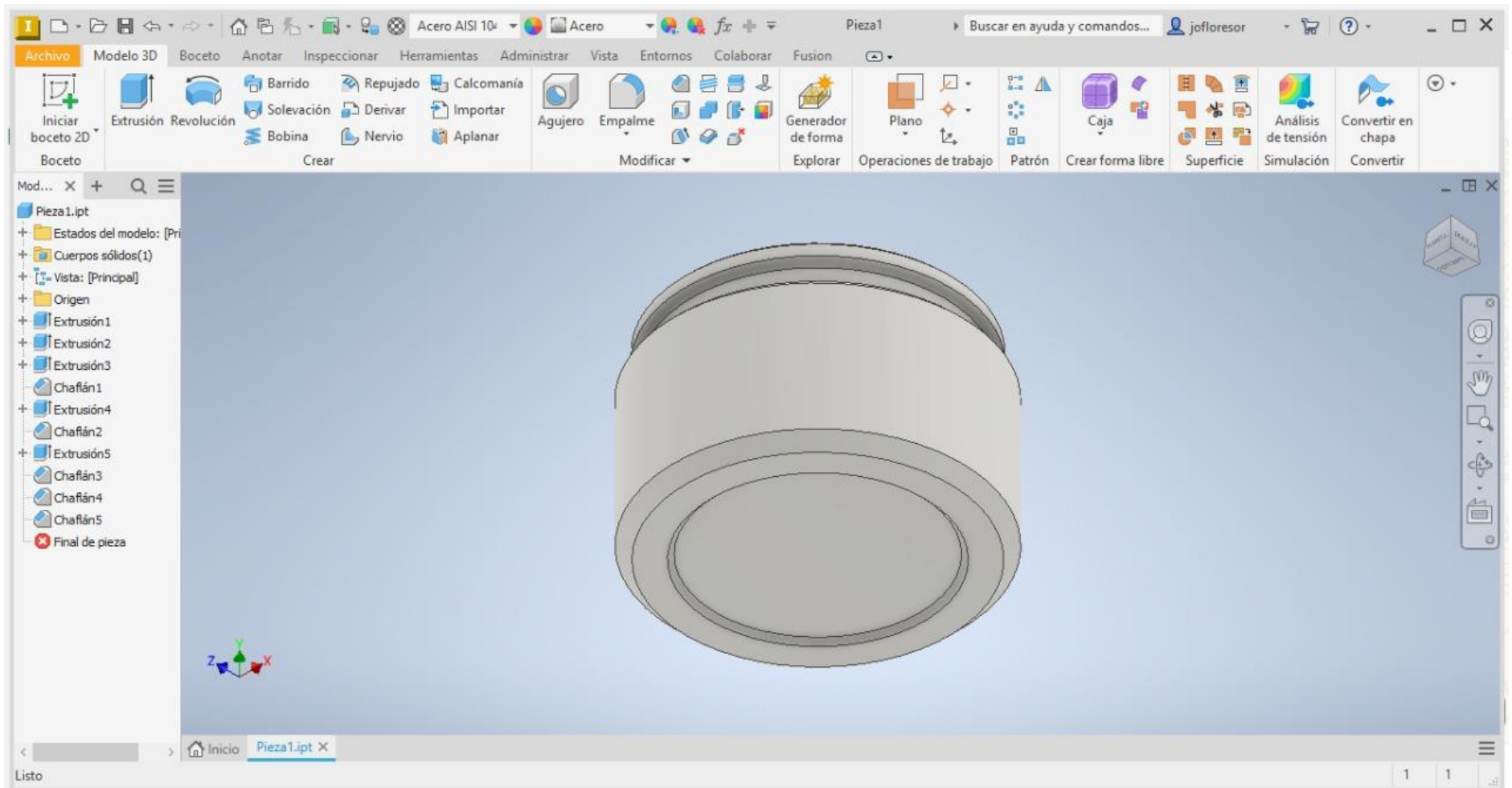
Seleccione perfiles. Para anular la selección, pulse [Ctrl] o [Mayús] + clic.

1 1









Anexo 12: Manual del Torno BP



## NORMAS DE SEGURIDAD | Generales

### MANUAL DE USUARIO

El Manual de usuario sirve para aclarar las reglas de seguridad, precaución, instrucciones de ensamble, procedimientos de mantenimiento y operación de este producto.

La póliza de garantía ubicada en la parte interna de este manual y su comprobante de venta deben mantenerse en perfecto estado. Escriba el número del comprobante de venta y serial del producto en la póliza de garantía. Guarde el manual de usuario y el comprobante de venta en un lugar seco y seguro para futuras referencias.

### INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

**AVISO:** Cuando utilice su producto BP® siempre siga las advertencias y precauciones básicas de seguridad para reducir riesgos del usuario y daños al producto BP®.

Lea todas las instrucciones antes de usar su producto BP®.

▲ Mantenga el área de trabajo en orden. Las áreas de trabajo desordenadas propician accidentes.

▲ Observe las condiciones del área de trabajo. No utilice máquinas o herramientas eléctricas en áreas húmedas y/o mojadas. No exponga su herramienta a la lluvia. Mantenga el área de trabajo bien iluminada. No utilice herramientas eléctricas en presencia de gases o líquidos inflamables.

▲ Evite hacer contacto con líneas y circuitos eléctricos, ubique y evite todas las líneas y circuitos eléctricos, especialmente el cableado oculto. Así como cualquier objeto conectado a tierra.

▲ Mantenga a los niños alejados. Los niños nunca deben estar cerca del área de trabajo. No permita que ellos sostengan máquinas, herramientas o cables de extensión. No permita que personal no adiestrado toque el producto, marqués alejados de su lugar de trabajo.

▲ Mantenga guardado el producto mientras no esté en uso. Cuando no esté en uso, la herramienta debe guardarse en un lugar seco y libre de polvo. Siempre guarde su herramienta bajo llave para que no esté al alcance de los niños.

▲ No fuerce la herramienta. Esta hará mejor su trabajo y será más segura dentro del rango para la cual fue diseñada. No utilice aditamentos inapropiados para intentar exceder la capacidad de la herramienta.

▲ Utilice la herramienta adecuada. No utilice herramientas demasiado débiles para ejecutar trabajos pesados, para los cuales no han sido diseñadas.

▲ Utilice la indumentaria apropiada. No utilice ropa suelta, guantes, corbatas o joyería que pueda ser atrapada en las partes móviles. No utilice calzado resbaloso. Utilice algún protector de cabello para retener el cabello largo. Utilice protección para ojos. Siempre utilice accesorios de seguridad apropiados como es el caso con visor protector, caretas y mascarillas contra polvo, cuando trabaje con materiales que despidan partes metálicas, virutas, o polvos químicos. Protección para oídos. Utilice protectores auriculares, cuando ejecute servicios que hagan ruidos superiores a 85 dB.

▲ No use el cable de alimentación para fines para los cuales no está diseñado. No lleve la herramienta colgada del cable y no tire de este para desconectar la clavija de la base de enchufe. Proteja el cable contra el calor, el aceite y las esquinas afiladas.

▲ Utilice un dispositivo de fijación o una mordaza para mantener firme la pieza de trabajo. Esto es más seguro que usando una sola mano y le permite tener ambas manos libres. Mantenga el balance adecuado todo el tiempo sobre sus pies. No trate de alcanzar algo sobre la máquina o se cruce cuando esté en funcionamiento.

▲ No extienda su radio de acción. Evite toda postura que cause cansancio. Cuide de que su posición sea segura y de que conserve el equilibrio.

▲ Mantenga las herramientas en las mejores condiciones. Mantenga las herramientas limpias para tener la mejor ejecución y seguridad. Siga las instrucciones para la lubricación y cambio de accesorios. Verifique los cables de la herramienta periódicamente y si se encuentran dañados, lívelos a reparar a un Centro de Servicio Autorizado BP®. Los mangos o manijas deben siempre permanecer limpios, secos y libres de aceite y grasas.

▲ Desconecte la herramienta cuando no esté en uso, antes de proceder al mantenimiento.

▲ Reduzca el riesgo de arranques accidentales. No lleve ninguna herramienta con el dedo puesto sobre el interruptor mientras esté conectado a la red eléctrica. Asegúrese de que el interruptor esté en la posición "apagado" (OFF) antes de conectar el cable de alimentación.

▲ En el exterior, utilice únicamente cables de extensión homologados y convenientemente marcados.

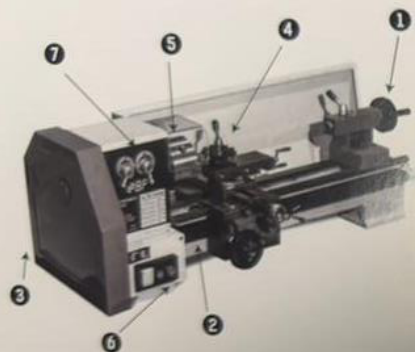
▲ Manténgose alerta. Fíjese en lo que está haciendo, utilice su sentido común. No opere ninguna herramienta cuando esté cansado.

▲ Revise las partes dañadas. Antes de continuar utilizando la máquina, los protectores u otras partes móviles que pudieran estar dañadas deben ser cuidadosamente revisadas, para asegurarse que operan apropiadamente y trabajarán como debe ser. Revise también la alineación de las partes móviles, si están atascadas, o si hay alguna probable rugura de las partes, revise también el montaje, así como cualquier otra condición que pueda afectar la operación de la herramienta. Todos los componentes, deben estar montados adecuadamente y cumplir los requisitos para garantizar el correcto funcionamiento del aparato. Un protector u otra parte que estén dañadas, deberán ser apropiadamente reparadas o cambiadas. Todo interruptor de mando deteriorado, deberá ser reemplazado por un Centro de Servicio Autorizado BP®. No utilice ninguna herramienta eléctrica en la cual el interruptor no tenga contacto.

▲ Cuando necesite reemplazar las piezas, utilice ÚNICAMENTE refacciones originales BP®, destinadas para usarse con esta herramienta.

▲ **ATENCIÓN:** Para su seguridad personal utilice únicamente los accesorios y aparatos adicionales indicados en las instrucciones de manejo o recomendados por el fabricante de la herramienta. La utilización de accesorios diferentes a los indicados en las instrucciones de manejo, puede acarrear riesgo personal y pérdida de garantía.

## COMPONENTES PRINCIPALES



1. Cabeza móvil
2. Bancada
3. Caja de engranajes
4. Porta herramientas
5. Cabezal
6. Interruptores
7. Selector de velocidad.

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Modelo	EP02834
Descripción	TORNO MECÁNICO
Voltaje	110V
Potencia	750W
Velocidad	170 - 3950 rpm
Frecuencia	60Hz

### MANTENIMIENTO

- Todos los días, antes de poner en operación el torno, se debe lubricar el mismo acorde a los requerimientos de lubricación expresados en este manual y dejar en funcionamiento el torno un par de minutos para que el lubricante alcance a distribuirse. El nivel de aceite en la caja del husillo debe verificarse frecuentemente.

- Después de los primeros 10 días de uso del torno,

es necesario cambiar el aceite de la caja del husillo.

- Al final del trabajo diario, debe limpiarse todo rastro de viruta, rebaba, etc. y colocar una fina capa de aceite sobre la superficie del torno, a efectos de evitar la corrosión del mismo.

### LUBRICACIÓN

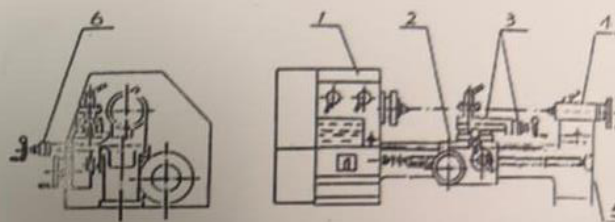
- Antes de usar el torno es necesario lubricar todas las superficies de las partes móviles.

- Después de los primeros 10 días de uso del torno, se debe cambiar el aceite de la caja del husillo. A partir de esta fecha, cambiar nuevamente el aceite cuando hayan transcurrido 20 días. A partir de este segundo cambio se debe reemplazar el aceite cada 60 días.

- Recuerde lubricar el cilindro del cabezal móvil, el tornillo de avance de la herramienta y todas las partes móviles. Tome la siguiente figura como guía.

- Los puntos indicados en la figura siguiente muestran los lugares de lubricación.

## PUNTOS DE LUBRICACIÓN



### RECOMENDACIÓN DE SEGURIDAD

- Verifique que la instalación eléctrica cumpla con las normas de seguridad vigentes.

- Asegúrese que el voltaje suministrado al torno, coincida con el indicado en la placa del mismo.

- Use protectores visuales y auditivos, ropa protectora y calzado antideslizante.

### INSTALACIÓN Y TESTEO INICIAL

- Coloque el torno sobre una base firme y acorde al peso y dimensiones del mismo.

- Use un nivel para determinar la correcta ubicación del torno.

- Verifique si el nivel de lubricación de la herramienta es el adecuado. En el caso de un bajo nivel de lubricante, proceda a

rellenar.

- Antes de encender el torno verifique que las partes móviles funcionen correctamente.

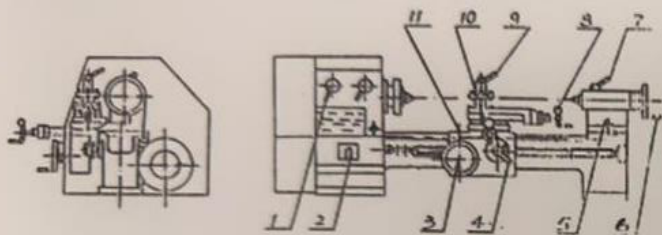
- Encienda el torno seleccionando una baja velocidad y déjelo en funcionamiento durante 20 minutos. Preste atención a cualquier anomalía. Si detecta algún problema apague inmediatamente el torno. Si funciona correctamente aumente gradualmente la velocidad.

- Nunca cambie la velocidad del husillo y la velocidad de alimentación, si previamente no se colocó al torno en la posición de parada.

- Antes de operar el torno, el usuario del mismo debe leer cuidadosamente el manual y asegurarse que el torno puede ser usado normalmente.

## MANTENIMIENTO

### OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO



#### VELOCIDAD DEL HUSILLO:

Ajuste la posición de la perilla de selección de velocidad.

#### VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN:

El interruptor 2 es usado para arrancar, parar y habilitar el sentido de giro del husillo.

#### CARRO PORTA HERRAMIENTA:

- Gire la manija 3 para mover longitudinalmente el carro principal y el carro porta herramienta. Cuando la manija es girada en sentido antihorario, el delantero se mueve hacia la izquierda y cuando la manija se gira en sentido horario, el delantero se desplaza hacia la derecha. La palanca 4 es utilizada para engranar el tornillo de avance. Antes de girar la manija 3, la palanca 4 debe estar puesta en la posición OPEN.

#### CABEZA MÓVIL:

- La tuerca 5 es para ajustar el cabezal móvil a la bancada. Gire la manija 6 para ajustar el cilindro del cabezal móvil. Cuando la manija es girada en sentido de las agujas del reloj, el cilindro del cabezal móvil se dirige hacia delante, en caso

contrario se dirige hacia atrás.

- La manija 7 es utilizada para fijar el cabezal móvil. Antes de operar la manija 6, la palanca 7 debe ser aflojada y cuando el cabezal móvil se encuentra en la posición deseada, la palanca 7 deberá ajustarse firmemente.

#### PORTAHERRAMIENTA Y DESPLAZAMIENTO DE LA HERRAMIENTA DE CORTE:

- La manija 8 es utilizada para desplazar el carro porta herramienta. Si se gira hacia la derecha, la herramienta se desplaza hacia adelante y si se gira a la izquierda la herramineta se desplaza hacia atrás.

- La manija 9 es utilizada para asegurar la cabeza cuadrada.

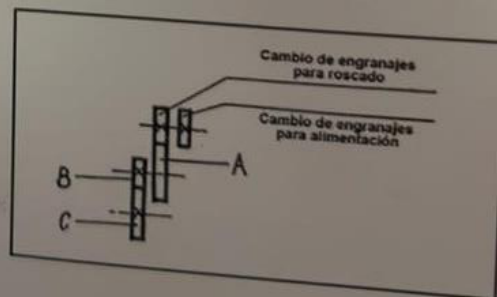
- La palanca 10 es utilizada para un avance transversal.

- El tornillo hexagonal 11 puede ser utilizado para fijar el carro portaherramienta cuando se realiza un trabajo de frenteado.

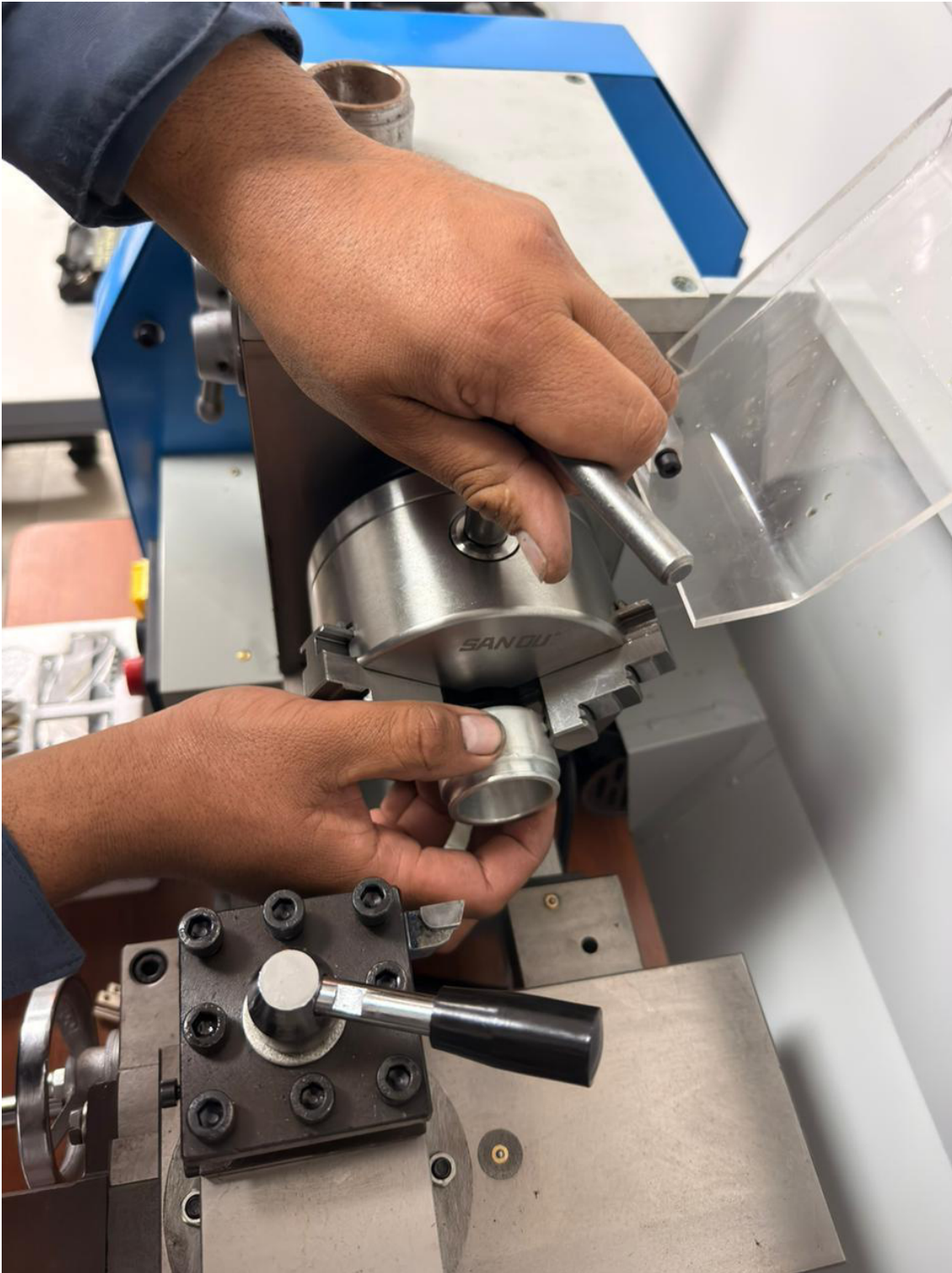
## ROSCADO

Para realizar roscas, tome en cuenta la siguiente tabla.

Paso mm	Alimentación mm	Combinación de engranajes mm		
0.4	0.04	70		105
0.5	0.05	70		84
0.7	0.07	70	98	84
0.8	0.08	105	98	49
1.0	0.10	98		42
1.25	0.125	84	105	42
1.5	0.15	105		28
1.75	0.175	84	98	28
2.0	0.2	49	98	42
2.5	0.25	63	105	28
3.0	0.3	49	105	30



*Anexo 13: Aseguramiento del pistón en el Mandril*

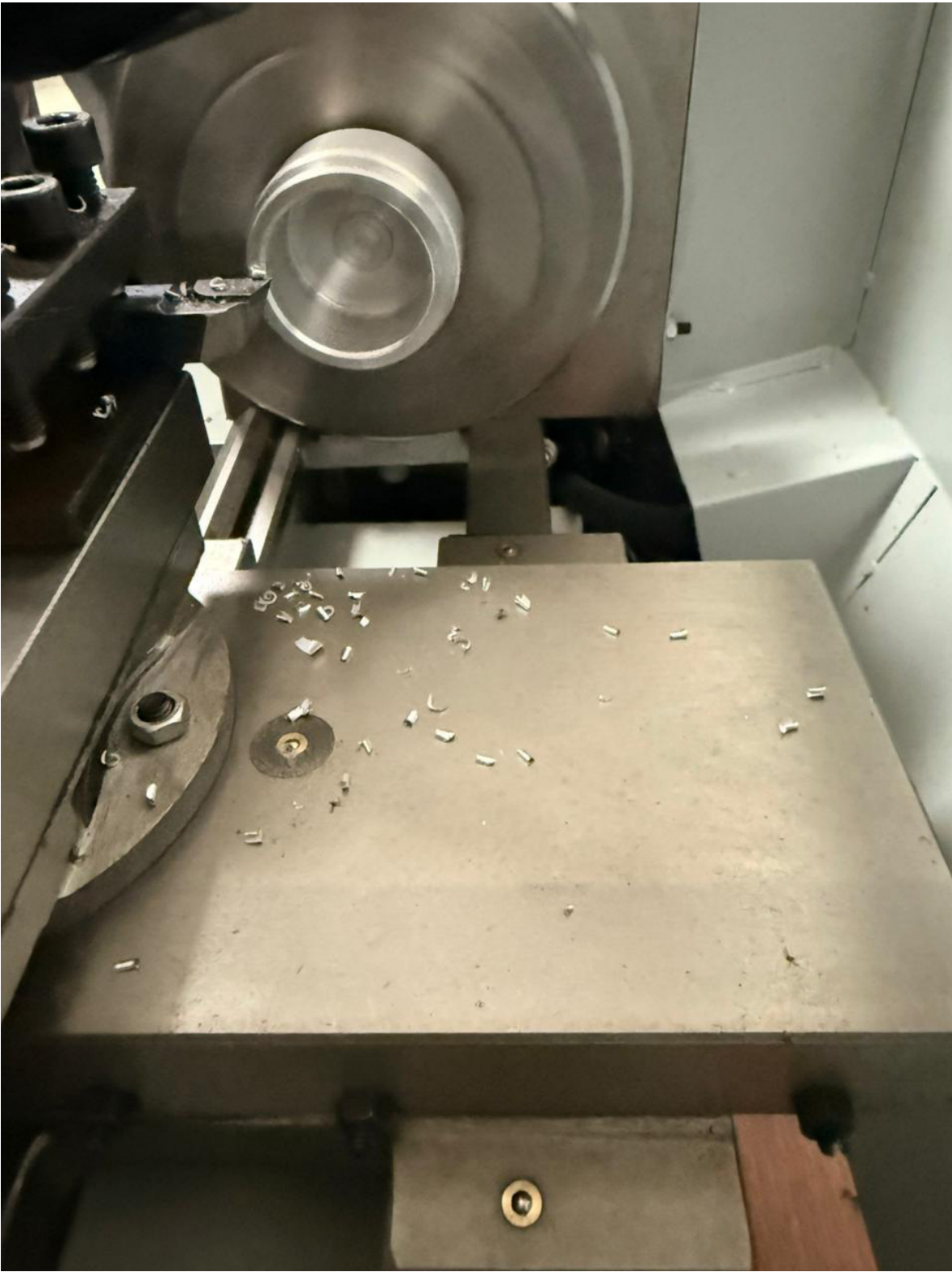


*Anexo 14: Aseguramiento de la cuchilla en el Torno*

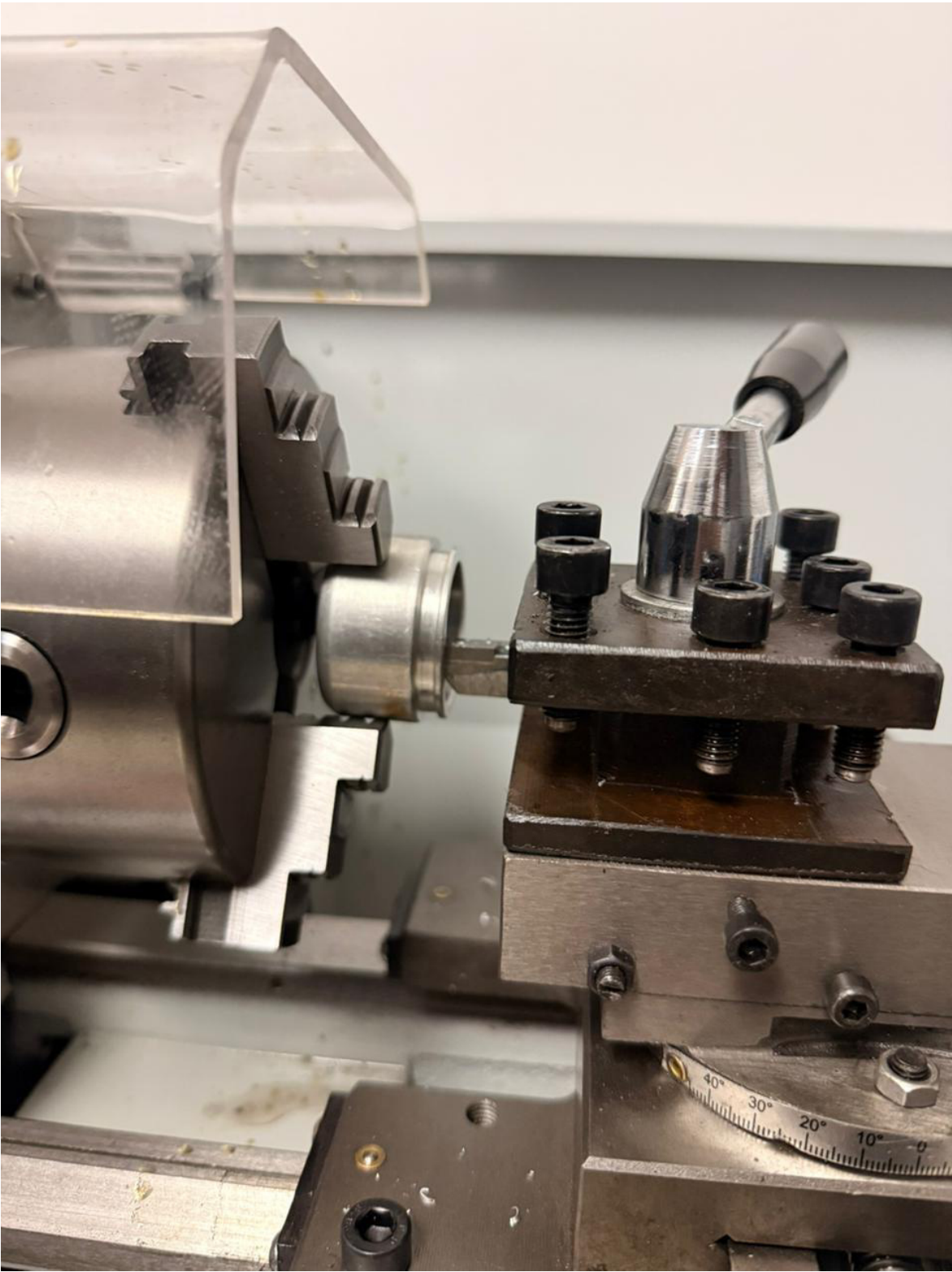


*Anexo 15: Fabricación del pistón en el Torno*











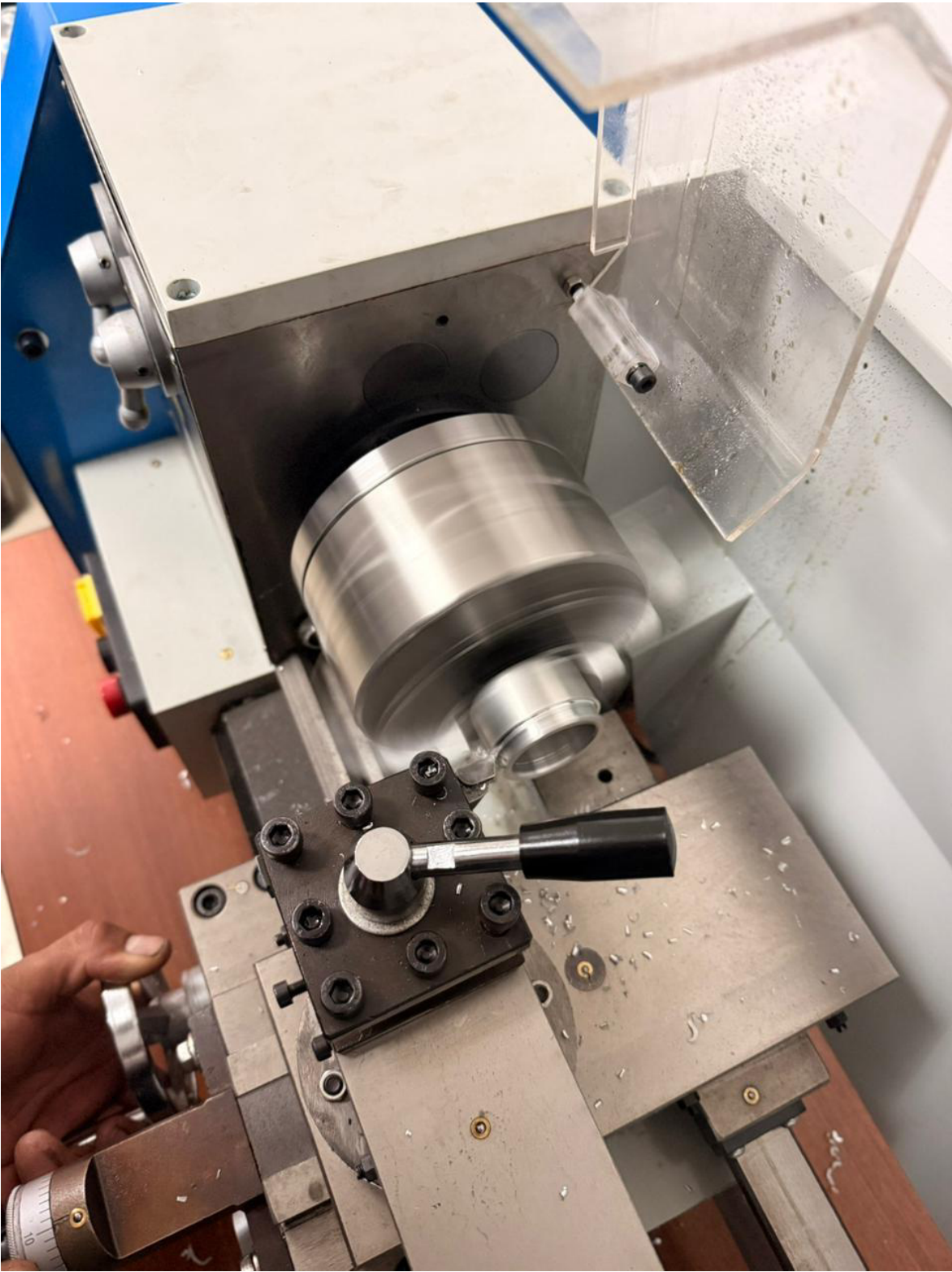




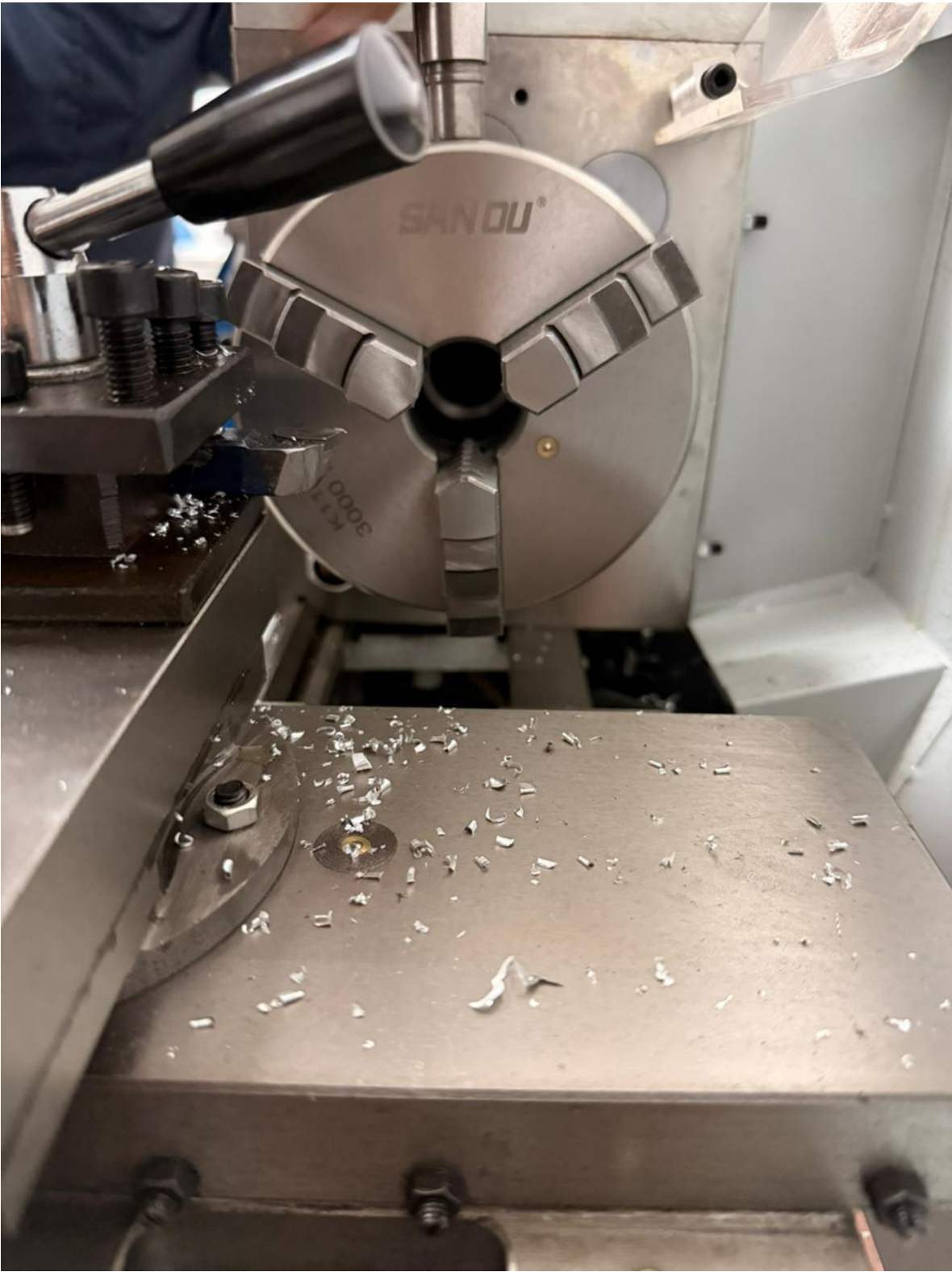














*Anexo 16: Componentes del Mandril*



Anexo 17: Caja del Mandril con sus componentes



*Anexo 18: Torno CNC*



*Anexo 19: Marca del Torno GSK CNC EQUIPMENT CO.*







*Anexo 20: Programación del Torno para el mecanizado*



*Anexo 21: Elaboración del Mecanizado*



*Anexo 22: Mecanizado del Pistón*

