



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE HIDALGO
LICENCIATURA EN INGENIERIA
INDUSTRIAL**

**Desarrollo de un
prototipo para el
ajuste y colocación
eficiente de buriles
en el torno
convencional**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIATURA EN INGENIERIA
INDUSTRIAL
PRESENTA:**

JONATHAN BAÑOS RAMIREZ

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. CESAR ALFONSO ARROYO
BARRANCO**

PACHUCA DE SOTO, HGO 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 4 de febrero de 2026

Número de control: ICBI-D/162/2026
Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado al egresado de la Licenciatura en Ingeniería Industrial **Jonathan Baños Ramírez**, quien presenta el trabajo de titulación "**Desarrollo de un prototipo para el ajuste y colocación eficiente de buriles en el tomo convencional**", ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Ing. Roberto Pichardo Cabrera
Secretario: Dr. Iván Alonso Lira Hernández
Vocal: Dr. César Alfonso Arroyo Barranco
Suplente: Dr. Edmundo Roldan Contreras

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI

GVR/MMM

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



uaeh.edu.mx

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a **Dios**, por darme la fortaleza, la paciencia y la oportunidad de recorrer este camino lleno de altibajos. Su guía ha sido mi mayor sostén en cada desafío, dándome la fuerza para seguir adelante.

A mis **padres**, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la dedicación. Gracias por ser mi motor y por brindarme siempre su confianza. En especial, a mi **madre**, quien ha sido mi mayor motivo día a día. Hoy doy gracias a Dios por ella, porque con su amor, sacrificio y enseñanzas, me forjó en la persona que soy. Cada una de sus lecciones las llevo siempre conmigo.

A mi **abuelo Irineo**, quien, aunque no esté físicamente presente, sigue siendo una fuente inagotable de inspiración en mi vida. Su ejemplo de trabajo, esfuerzo y perseverancia me ha dado la fuerza para nunca rendirme.

A mi **segunda mamá, Katy**, quien desde pequeño me crio con amor y fue un pilar fundamental para que siguiera estudiando. Siempre estuvo al pendiente de mí, ayudándome con mis tareas y asegurándose de que me fuera lo mejor posible. Su cariño y apoyo han sido invaluable en mi vida.

A **Jenny**, por su paciencia, comprensión y motivación en los momentos más difíciles. Su apoyo inquebrantable y su compañía han sido fundamentales en este camino. Gracias por enseñarme a nunca rendirme y a dar siempre lo mejor de mí.

A mi **director de tesis, el Dr. César**, por su orientación, dedicación y valiosos consejos, que fueron clave en el desarrollo y culminación de este trabajo. Su apoyo constante y su compromiso con la enseñanza han hecho de él uno de los mejores profesores que tuve durante mi estancia en la carrera.

A los **profesores de la carrera**, quienes con su enseñanza y guía han contribuido a mi formación profesional y personal. Gracias por compartir sus conocimientos y por fomentar en mí la pasión por aprender.

A mis **compañeros y amigos**, por su apoyo incondicional, por compartir ideas y por hacer de este proceso una experiencia enriquecedora.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte de este logro. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo y cada enseñanza han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

¡Gracias infinitas a todos!

Presentación

La presente tesis se centra en el desarrollo de un prototipo digital de optimización para el ajuste y colocación de buriles en torno, con el objetivo de reducir los tiempos muertos y mejorar la eficiencia del proceso de mecanizado. Actualmente, el cambio y ajuste de herramientas en estas máquinas requiere detener la operación, lo que impacta negativamente en la productividad, incrementa los costos operativos y genera desperdicio de recursos.

El estudio aborda esta problemática desde una perspectiva de manufactura avanzada, explorando tecnologías de sujeción rápida, automatización y sistemas de precisión para minimizar las interrupciones durante el ajuste de herramientas. Para ello, se realizará un análisis de los métodos tradicionales y actuales de ajuste de buriles en torno, identificando sus principales limitaciones y oportunidades de mejora.

Además, se investigarán innovaciones recientes en sistemas de sujeción sin interrupciones, incluyendo mecanismos hidráulicos, neumáticos y magnéticos, así como el uso de sensores inteligentes y automatización para mejorar la precisión y reducir la dependencia del operador en el proceso de ajuste.

Como parte del desarrollo de esta investigación, se diseñará un prototipo digital de sujeción rápida que permita realizar los ajustes de herramientas de manera eficiente, minimizando los tiempos de inactividad de la máquina. Este prototipo digital será evaluado en términos de su impacto en la reducción de tiempos de ajuste, la mejora de la calidad del mecanizado y la optimización de los recursos en el proceso productivo.

El estudio no solo busca mejorar la eficiencia operativa en el mecanizado con torno, sino también contribuir a la modernización de los procesos industriales mediante la implementación de soluciones tecnológicas avanzadas. Los resultados obtenidos en esta investigación podrán servir de referencia para futuras innovaciones en manufactura, impulsando la competitividad del sector metalmecánico.

Resumen

En el presente trabajo se desarrolla un prototipo digital de optimización para el ajuste y colocación de porta herramienta en torno, con el objetivo de reducir los tiempos muertos y mejorar la eficiencia del proceso de mecanizado. Actualmente, el cambio y ajuste de herramientas requiere detener la máquina, lo que impacta negativamente en la productividad y genera costos adicionales.

La investigación aborda la problemática desde una perspectiva de manufactura esbelta, explorando tecnologías y metodologías para minimizar interrupciones en la operación. Se analizan diferentes sistemas de sujeción rápida, incluyendo mecanismos hidráulicos, neumáticos y magnéticos, así como soluciones basadas en automatización y sensores inteligentes.

Como resultado, se diseña y propone un prototipo digital que permite agilizar el proceso de sujeción y alineación de porta herramienta en el torno sin necesidad de detener la máquina. Se evalúa el impacto del prototipo digital en términos de reducción de tiempos de ajuste, mejora en la precisión del mecanizado y optimización de los recursos.

Los hallazgos de esta investigación ofrecen una solución viable para incrementar la competitividad en la industria del mecanizado, facilitando una transición hacia procesos más eficientes y automatizados.

Índice

Presentación	3
Resumen	4
Glosario	11
Capítulo 1: Introducción	15
1.1 Antecedentes del problema: Contextualización sobre el uso de tornos y la necesidad de optimización en el ajuste de herramientas.	15
1.2 Planteamiento del problema	19
1.3 Justificación	20
1.4 Objetivos:	21
1.4.1 Objetivo General	21
1.4.2 Objetivos Específicos	21
1.5 Alcance y Limitaciones	22
Capítulo 2: Revisión de la Literatura	23
2.1 Herramientas de corte y sistemas de sujeción en torno: Tipos de herramientas y su influencia en el proceso de mecanizado.	23
2.2 Métodos Actuales de Ajuste de Herramientas en Torno: Revisión de los Sistemas y Métodos Actuales	28
2.2.1. Ajuste Manual	28
2.2.2. Uso de Comparadores o Plantillas	29
2.2.3. Ajuste con Sistemas de Cambio Rápido	30
2.3 Principios de optimización en sistemas de manufactura: Enfoques y metodologías relevantes para la optimización.	31
2.3.1 Principios Fundamentales de Optimización en Manufactura	31
2.3.2 Enfoques para la Optimización	33
2.3.2.1. Enfoque Sistémico	33
2.3.2.2. Enfoque Lean Manufacturing	33
2.3.3.3. Enfoque Six Sigma	33
2.3.3.4. Manufactura Esbelta (Lean) + Six Sigma (Lean Six Sigma)	33
2.3.3.5. Manufactura Flexible	33
2.3.3.6 Teoría de Restricciones (TOC):	34
2.3.3.7 Control Estadístico de Procesos (SPC):	34
2.3.3.8 Estrategias Just-In-Time (JIT):	34
2.3.3.9 Automatización con IoT	34

2.4 Innovaciones en Sistemas de Sujeción sin Interrupciones: Avances Recientes y Casos de Estudio Relevantes	35
2.4.1. Sistemas de Cambio Rápido	35
2.4.2. Sujeción Inteligente con IoT	36
2.4.3. Sistemas Magnéticos Avanzados	37
2.4.4. Automatización con Robots Colaborativos (Cobots)	38
2.4.5. Tecnologías de Vacío para Piezas No Metálicas	39
Casos de Estudio Relevantes	40
Caso 1: Airbus y Sujeción Inteligente	40
Caso 2: BMW y Sistemas Magnéticos Avanzados	40
Caso 3: General Electric y Cobots en Sujeción Automatizada	40
Capítulo 3: Metodología	41
3.1 Diseño experimental	41
Sistema actual en el torno	41
Primer Diseño	43
Segundo Diseño	44
Tercer diseño	45
Diseño final	47
Metodología Pugh Datum	49
Matriz de Pugh Datum	51
Matriz diseño actual vs Prototipos digitales	52
Matriz de diseños elaborados	53
3.2 Selección y desarrollo del sistema de sujetacion propuesto	55
3.3 Proceso de implementación en un entorno controlado: Procedimientos para integrar el sistema en un torno.	56
3.3.1. Planificación y Preparación	56
3.3.2. Desmontaje de Componentes Anteriores	56
3.3.3. Instalación del Nuevo Sistema	56
3.3.4. Ajustes y Configuración	56
3.3.5. Pruebas de Operación	57
3.3.6. Documentación y Capacitación	57
3.3.7. Mantenimiento y Seguimiento	57
3.3.8. Evaluación de Resultados	57

3.4 Medición y análisis de datos: Métodos y herramientas para medir los resultados de la optimización.	58
3.4.1. Análisis de tiempos y eficiencia	58
3.4.2. Evaluación de la calidad del mecanizado	58
3.4.3. Medición de la productividad	58
3.4.4. Análisis de seguridad y ergonomía	58
3.4.5. Simulación y modelado	58
Herramientas clave	59
Capítulo 4: Desarrollo del Sistema de Sujeción	60
4.1 Diseño del sistema de sujeción: Modelado del sistema, incluyendo planos y características técnicas.	60
Funcionamiento del Prototipo Digital	61
Ventajas Clave del Prototipo Digital	61
Capítulo 5: Resultados y Discusión	79
5.1 Comparación con sistemas tradicionales: Análisis de beneficios y limitaciones respecto a métodos previos.	79
5.1.1. Beneficios del Prototipo digital Propuesto	79
5.1.1.1. Reducción de Tiempos Improductivos	79
5.1.1.2. Incremento en la Productividad y Continuidad Operativa	79
5.1.1.3. Mejora en la Ergonomía y Reducción del Esfuerzo Operativo	80
5.1.1.4. Aseguramiento de la Precisión y Calidad en el Mecanizado	80
5.1.1.5. Aplicación del Principio Poka-Yoke para Seguridad Operativa	80
5.1.1.6. Versatilidad en la Configuración de Herramientas	80
5.1.2. Limitaciones del Prototipo Digital Propuesto	81
5.1.2.1. Inversión Inicial en Materiales y Fabricación	81
5.1.2.2. Necesidad de Capacitación para la Operación del Sistema	81
5.1.2.3. Requerimientos de Mantenimiento Preventivo	81
5.1.2.4. Posibles Ajustes en Parámetros de Corte	81
5.1.3. Comparación con Métodos Previos	82
5.2 Implicaciones para el sector manufacturero: Impacto potencial del sistema en la eficiencia y en los costos de producción.	82
5.2.1. Impacto en la Eficiencia Operativa	82
5.2.1.1. Reducción de Tiempos Muertos	82
5.2.1.2. Incremento en la Velocidad de Configuración	82

5.2.1.3. Mejora en la Precisión y Calidad del Trabajo	83
5.2.1.4. Continuidad Operativa	83
5.2.1.5. Ergonomía y Seguridad	83
5.2.2. Impacto en los Costos de Producción	83
5.2.2.1. Reducción de Costos Operativos	83
5.2.2.2. Prolongación de la Vida Útil de las Herramientas	83
5.2.2.3. Optimización del Uso de Recursos Humanos	83
5.2.2.4. Reducción de Retrabajos y Material Descartado	84
5.2.2.5. Ahorro en Mantenimiento	84
5.2.3. Impacto a Largo Plazo en la Producción	84
5.2.3.1. Aumento de la Capacidad Productiva	84
5.2.3.2. Flexibilidad y Adaptabilidad	84
5.2.3.3. Recuperación de la Inversión	84
5.2.3.4. Limitaciones Potenciales en los Costos	84
Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones	85
6.1 Resumen de los hallazgos más importantes.	85
6.2 Aportes de la investigación: Contribuciones teóricas y prácticas del estudio.	87
6.3 Recomendaciones para futuras investigaciones: Sugerencias para trabajos futuros y posibles mejoras al sistema propuesto.	88
6.4 Conclusión.	90
Referencias	91

Índice de Imágenes

Ilustración 1 Acero Rápido HSS Fuente Llobregat (2021).....	23
Ilustración 2 (Butil Calzado 3/8" Con Inserto De Carburo #AL6 MICRO 100, n.d.).....	23
Ilustración 3 (BURIL CORTADORA CERAMICA – Importadora Ferremakros LTDA., n.d.)	24
Ilustración 4 (PCD (Policristalino De Diamante) Urgeles Diamant, n.d.)	24
Ilustración 5 Portaherramientas para torno e inserto con puntas de nitruro de boro cúbico. Fuente Martínez (n.d.).....	24
Ilustración 6 Torneado exterior Fuente (Torneado Exterior, n.d.).....	25
Ilustración 7 Refrendando Fuente (PRINCIPALES OPERACIONES DE UN TORNO, 2011)	25
Ilustración 8 Ranurado Fuente Sam (2024).....	26
Ilustración 9 Roscado Fuente (Roscado, n.d.).....	26
Ilustración 10 (Tutorial. Iniciación Al Torno, Ajustes Y Operaciones Básicas., n.d.)	28
Ilustración 11 (Uso De Comparadores En Torno - Buscar Con Google, n.d.).....	29
Ilustración 12 Torreta de Cambio Rápido MULTIFIX Fuente :(P Gaya, 2024)	30
Ilustración 13 Sistemas de cambio rápido: VERO-S Fuente Metalmecánica (2025).....	35
Ilustración 14 (El Sistema De Carga Smart Automation De AMF Aumenta La Profundidad De Producción Para El Usuario Y Le Permite Contrarrestar La Escasez De Mano De Obra Cualificada - Stuttgart, Fellbach, n.d.).....	36
Ilustración 15 (MAGNOS MTR - Plato Magnético Redondo by SCHUNK SE & Co. KG DirectIndustry, n.d.)	37
Ilustración 16 Robots colaborativos Fuente: López (2025)	38
Ilustración 17 (Sistemas De Sujeción Por Vacío Eficientes Y Flexibles De AMF. - Stuttgart, Fellbach, n.d.)	39
Ilustración 18 Sistema de sujeción de torno actual	42
Ilustración 19 Palanca de sujeción de buriles.....	42
Ilustración 20 Vista superior de sujeción actual torno.....	42
Ilustración 21 Vista lateral de sujeción actual torno	42
Ilustración 22 Primer diseño Elaboración propia	43
Ilustración 23 Segundo diseño Elaboración propia	44
Ilustración 24. Tercer diseño Elaboración propia	46
Ilustración 25 Diseño final Elaboración propia.....	48
Ilustración 26 Comparación de diseños Matriz de Pugh Elaboración propia.....	54

Índice de tablas

Tabla 1 Tabla de Acrónimos Elaboración Propia.....	14
Tabla 2. Matriz de pugh datum diseño actual vs diseños elaborados Elaboración Propia.....	52
Tabla 3 Resultados de los diseños elaborados Elaboración propia	52
Tabla 4 Matriz de Pugh (Datum) Elaboración propia	53
Tabla 5 Comparación de métodos previos Elaboración Propia	82

Índice de Planos

Plano 1 Base Jonathan Elaboración propia	62
Plano 2 Base giratoria Elaboración Propia.....	63
Plano 3 Pieza unión con porta herramienta Elaboración Propia.....	64
Plano 4 Caja portaherramientas de 1/2 pulg. Elaboración Propia	65
Plano 5 Caja porta herramienta para tronza Elaboración Propia.....	66
Plano 6 Perno ensamble de porta herramientay pieza de unión Elaboración Propia.....	67
Plano 7 Portaherramienta derecha acabado de ½ pulg. Elaboración Propia.....	68
Plano 8 Portaherramienta derecha acabado de ½ pulg Elaboración Propia	69
Plano 9 Portaherramienta neutro de ½ pulg. Elaboración Propia.....	70
Plano 10 Portaherramienta ranurado Elaboración Propia	71
Plano 11 Portaherramienta de roscado ½ pulg Elaboración Propia	72
Plano 12 Portaherramienta izquierda de ½ pulg, Elaboración Propia.....	73
Plano 13 Tornillo de ajuste de porta herramienta Elaboración Propia	74
Plano 14 Ronda de tuerca abrazadera de porta herramienta Elaboración Propia.....	75
Plano 15 Guarda Seguro de porta herramienta Elaboración Propia	76
Plano 16 Seguro de porta herramienta Elaboración Propia.....	77
Plano 17 Guía Cilíndrica de seguro de porta herramienta Elaboración Propia	78

Glosario

Ajuste de buril: Procedimiento mediante el cual se coloca y asegura el buril en el portaherramientas del torno, garantizando la alineación y estabilidad durante el mecanizado.

Ángulo de corte: Inclinación específica del buril o herramienta que permite la correcta remoción de material de la pieza en el torno.

Análisis comparativo: Proceso de evaluación entre diferentes alternativas de diseño utilizando criterios técnicos, de seguridad y de eficiencia.

Buril: Herramienta de corte utilizada en el torno, generalmente de acero rápido (HSS) o carburo, que permite dar forma a la pieza de trabajo a través del arranque de viruta.

Caja de buriles: Compartimiento diseñado para alojar, proteger y facilitar el acceso a los buriles en un sistema de cambio rápido.

Cambio rápido de herramienta: Sistema que permite sustituir buriles o herramientas de corte en un tiempo reducido, optimizando la productividad y disminuyendo tiempos muertos.

Criterios de selección: Factores técnicos, económicos y de seguridad que se toman en cuenta para comparar diferentes diseños en herramientas de análisis como la matriz de Pugh.

Datum: Referencia o punto de comparación en la matriz de Pugh, utilizado para evaluar otras alternativas de diseño.

Diseño experimental: Método que implica la creación y evaluación de prototipos con el fin de validar su desempeño antes de su implementación definitiva.

Diseño final: Alternativa seleccionada tras un proceso de análisis y comparación, determinada como la más adecuada por su eficiencia, seguridad y facilidad de uso.

Eficiencia operativa: Relación entre el tiempo productivo y el tiempo total de operación de una máquina, que refleja el grado de aprovechamiento de los recursos.

Ergonomía: Disciplina que busca adaptar herramientas, máquinas y procesos a las condiciones humanas, reduciendo la fatiga del operador y aumentando la seguridad.

Fijación: Método utilizado para asegurar piezas o herramientas en una máquina, evitando movimientos no deseados durante la operación.

Ingeniería de diseño: Campo de la ingeniería que se centra en concebir, planificar y materializar prototipos que resuelvan problemas técnicos mediante innovación y funcionalidad.

Lean Manufacturing: Filosofía de gestión enfocada en la reducción de desperdicios y en la mejora continua de procesos productivos.

Mantenimiento preventivo: Conjunto de actividades planificadas para conservar en buen estado el torno y sus componentes, evitando fallas y paros no programados.

Matriz de Pugh: Herramienta de análisis multicriterio que compara diferentes alternativas de diseño frente a un sistema de referencia, permitiendo seleccionar la opción más favorable.

Modelo prototipo: Versión inicial de un diseño, construida para evaluar su factibilidad y desempeño en condiciones reales o simuladas.

Normalización: Conjunto de normas y procedimientos que aseguran que los procesos de fabricación y los diseños cumplan con estándares de calidad.

Optimización: Proceso de mejora mediante el cual se busca obtener el mejor resultado posible en un diseño o proceso, reduciendo costos, tiempos y errores.

Poka-Yoke: Sistema o dispositivo a prueba de errores, diseñado para evitar fallos humanos durante el montaje o el uso de una herramienta.

Portaherramientas: Dispositivo del torno encargado de sostener de manera firme el buril o herramienta de corte durante el mecanizado.

Precisión: Capacidad de un sistema o herramienta para reproducir consistentemente resultados exactos en el proceso de mecanizado.

Proceso de mecanizado: Técnica de manufactura en la cual se da forma a una pieza a través de la remoción de material, utilizando herramientas de corte como los buriles.

Prototipo: Modelo a escala real o reducida que permite evaluar la funcionalidad y desempeño de un diseño antes de su producción final.

Reingeniería: Estrategia de rediseño de procesos con el objetivo de lograr mejoras significativas en tiempos, costos y productividad.

Robustez del diseño: Capacidad de un modelo para soportar condiciones de trabajo exigentes sin perder funcionalidad o seguridad.

Seguridad operativa: Conjunto de medidas y características de un diseño destinadas a proteger al operador y garantizar un uso confiable.

Sistema actual del torno: Método tradicional de ajuste manual de buriles en el torno, caracterizado por su consumo de tiempo y la necesidad de detener la máquina para realizar cambios.

Tiempo de ciclo: Duración total que requiere un proceso de mecanizado, incluyendo el tiempo de preparación, corte y cambio de herramienta.

Tiempo muerto: Periodo en el cual la máquina permanece inactiva debido a paros técnicos, ajustes manuales o fallos en el sistema.

Torno: Máquina-herramienta que permite mecanizar piezas, haciéndolas girar sobre su propio eje mientras una herramienta de corte (buril) remueve material.

Viruta: Material sobrante en forma de fragmentos o espirales, generado durante el proceso de arranque de material en el mecanizado.

Acronym	English Meaning	Spanish Meaning	Description
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>	Control Numérico Computarizado	Sistema que controla máquinas-herramienta mediante instrucciones programadas en un computador.
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>	Diseño Asistido por Computadora	Tecnología utilizada para diseñar piezas o sistemas mecánicos mediante software especializado.
CAM	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>	Manufactura Asistida por Computadora	Uso de software para controlar máquinas de producción y optimizar procesos de fabricación.
IoT	<i>Internet of Things</i>	Internet de las Cosas	Red de dispositivos conectados que recopilan y transmiten datos en tiempo real para monitoreo y control.
AI	<i>Artificial Intelligence</i>	Inteligencia Artificial	Tecnología que permite a los sistemas tomar decisiones o realizar tareas basadas en aprendizaje automático.
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>	Controlador Lógico Programable	Dispositivo electrónico utilizado para automatizar procesos industriales.
3D	<i>Three-Dimensional</i>	Tridimensional	Representación espacial que permite visualizar y modelar objetos con volumen.
VR	<i>Virtual Reality</i>	Realidad Virtual	Tecnología que simula entornos digitales en tres dimensiones para diseño o capacitación.
HMI	<i>Human-Machine Interface</i>	Interfaz Hombre-Máquina	Medio por el cual los operadores interactúan con los sistemas automatizados.
Poka-Yoke	<i>Error-Proofing Mechanism (Japanese)</i>	Mecanismo a Prueba de Errores	Sistema diseñado para evitar errores humanos durante las operaciones de producción.
R&D	<i>Research and Development</i>	Investigación y Desarrollo	Etapas de innovación dedicada a mejorar procesos o productos tecnológicos.

OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>	Eficiencia General del Equipo	Indicador de desempeño que mide la productividad total de una máquina o sistema.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>	Organización Internacional de Normalización	Entidad que desarrolla normas internacionales de calidad, seguridad y eficiencia industrial.
UR	<i>Universal Robots</i>	Robots Universales	Marca de robots colaborativos (cobots) usados en manufactura flexible.
GE	<i>General Electric</i>	General Electric	Empresa multinacional de tecnología industrial y manufactura avanzada.
AMF	<i>Advanced Mechanical Fixtures</i>	Dispositivos Mecánicos Avanzados	Empresa especializada en sistemas de sujeción automatizados e inteligentes.
CBN	<i>Cubic Boron Nitride</i>	Nitruro de Boro Cúbico	Material superduro utilizado en herramientas de corte para mecanizado de alta precisión.
PCD	<i>Polycrystalline Diamond</i>	Diamante Policristalino	Material de corte con alta dureza y resistencia al desgaste, ideal para materiales no ferrosos.
HSS	<i>High-Speed Steel</i>	Acero Rápido	Material utilizado en herramientas de corte que permite altas velocidades de mecanizado.
PPE	<i>Personal Protective Equipment</i>	Equipo de Protección Personal	Conjunto de elementos usados para garantizar la seguridad del operario.
CAD/CAM	<i>Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing</i>	Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora	Integración de diseño digital con manufactura automatizada para optimizar la producción.
SMED	<i>Single Minute Exchange of Die</i>	Cambio Rápido de Herramienta	Metodología de manufactura esbelta enfocada en reducir el tiempo de cambio de herramienta.
FEM	<i>Finite Element Method</i>	Método de Elementos Finitos	Técnica de simulación numérica para analizar esfuerzos y deformaciones en piezas mecánicas.
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>	Mantenimiento Productivo Total	Estrategia de mantenimiento enfocada en maximizar la eficiencia de los equipos.
CMM	<i>Coordinate Measuring Machine</i>	Máquina de Medición por Coordenadas	Dispositivo de precisión usado para verificar dimensiones en piezas mecanizadas.

Tabla 1 Tabla de Acrónimos Elaboración Propia

Capítulo 1: Introducción

1.1 Antecedentes del problema: Contextualización sobre el uso de tornos y la necesidad de optimización en el ajuste de herramientas.

Introducción

El torno es una de las máquinas-herramienta más antiguas y fundamentales en la industria manufacturera. Su uso abarca una amplia variedad de procesos, como el torneado, roscado, ranurado y refrentado, lo que lo convierte en un equipo indispensable para la producción de piezas cilíndricas y simétricas.

Orígenes Antiguos

El torno es una de las primeras máquinas inventadas remontándose su uso quizá al año 1000 y con certeza al 850 a. C. En 1250 nació el torno de pedal y pértiga flexible, que representó un gran avance sobre el accionado por arquillo, puesto que permitía dejar las manos del operario libres para manejar la herramienta. (Tallas y torneados TDG 2018)

La historia del torno comienza en el antiguo Egipto, alrededor del año 300 A.C. Los artesanos utilizaban una herramienta para dos personas: una hilaba el material con una cuerda y la otra le daba forma. Poco después, llegaron a China los tornos giratorios para afilar herramientas. Al mismo tiempo, el torneado de madera se extendió por todo el Mediterráneo. (Yifei, 2025)

Durante el mismo período en China, la dinastía Ming publicó un libro notable llamado “Tian Gong Kai Wu”, que documentaba las tecnologías de la dinastía Ming y de la dinastía anterior, demostrando la importancia de la “sabiduría de los antiguos”. El libro también describe la estructura de una máquina rectificadora, que empleaba un principio similar al de la máquina medieval europea accionada con el pie. Esta máquina utilizó el método del pedal para girar una placa de metal y usó arena y agua para dar forma al jade. (Magalhães and Magalhães 2025)

Grecia y Roma

Los antiguos griegos y romanos perfeccionaron aún más el diseño del torno. Introdujeron el torno de pedal, que utilizaba un pedal para impulsar la rotación de la pieza de trabajo. Esta innovación liberó las manos del artesano, permitiendo un mayor control y complejidad en las tareas de moldeado. Los tornos de esta época se utilizaban principalmente para tornear madera, produciendo artículos como cuencos, piezas de muebles y piezas decorativas. (AL-SAFRIK STEEL, 2024)

Edad Media y Renacimiento

En la Edad Media, el torno evolucionó en Europa y comenzó a utilizarse en el trabajo de metales y madera. Los avances en la fabricación de herramientas mejoraron la precisión del tallado. Sin embargo, estos tornos aún eran accionados manualmente o mediante pedales (DeGarmo, Black, & Kohser, 2011).

Revolución Industrial

Con la llegada de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII y principios del XIX, la mecanización revolucionó los procesos de manufactura. En 1774, el inventor británico Wilkinson creó la primera verdadera máquina perforadora del mundo, la máquina perforadora de barriles perforadora de barriles.

En 1775, Wilkinson utilizó el cilindro perforado por esta máquina para construir una nueva versión del cilindro con fugas de Wattner, que cumplía con las especificaciones requeridas para la máquina de vapor de Watt. Para permitir la perforación de cilindros más grandes, construyó una máquina perforadora de cilindros impulsada por una rueda hidráulica en el mismo año, lo que contribuyó en gran medida al avance de las máquinas de vapor taladradora de cilindros accionada por rueda hidráulica. (Magalhães & Magalhães, 2025)

La taladradora de cilindros de Wilkinson, diseñada para forjar cilindros más grandes, marcó un punto de inflexión en la evolución de las máquinas herramienta. A partir de entonces, la máquina herramienta pasó a ser accionada por una máquina de vapor mediante un cigüeñal. La asistencia mutua entre la máquina herramienta y la máquina de vapor facilitó su desarrollo simultáneo y marcó el comienzo de una era dinámica de revolución industrial. (Magalhães & Magalhães, 2025)

En la década de 1780 el inventor francés Jacques de Vaucanson construyó un torno industrial con un portaherramientas deslizante que se hacía avanzar mediante un tornillo manual. (Tallas y torneados TDG 2018)

Hacia 1797 el inventor británico Henry Maudslay y el inventor estadounidense David Wilkinson mejoraron este torno conectando el portaherramientas deslizante con el 'husillo', que es la parte del torno que hace girar la pieza trabajada. Esta mejora permitió hacer avanzar la herramienta de corte a una velocidad constante. (Tallas y torneados TDG, 2018)

Maudslay continuó perfeccionando el torno y en 1800 realizó una mejora significativa al reemplazar el marco de barra de hierro triangular con una base sólida de hierro fundido y la rueda loca con pares de engranajes intercambiables. (Magalhães & Magalhães, 2025)

Siglo XIX y XX

En 1817, Roberts creó el torno de pórtico y, en 1818, Whitney, de Estados Unidos, inventó la primera fresadora de uso general del mundo. (Magalhães & Magalhães, 2025)

En 1820, el mecánico estadounidense Thomas Blanchard inventó un torno en el que una rueda palpadora seguía el contorno de un patrón para una caja de fusil y guiaba la herramienta cortante para torneare una caja idéntica al patrón, dando así inicio a lo que se conoce como torno copiado. (Tallas y torneados TDG 2018)

Para mejorar aún más la mecanización y la automatización, en 1845, Fitch, de Estados Unidos, creó el torno de torreta. En 1848, se introdujeron los tornos rotativos en los Estados Unidos y, en 1873, Spencer de los Estados Unidos desarrolló un torno automático de un solo husillo. (Magalhães & Magalhães, 2025)

A medida que avanzaba el siglo XIX, se implementaron motores eléctricos y sistemas de transmisión por correa, permitiendo un funcionamiento más rápido y preciso. Ya en el siglo XX, la introducción del torno de Control Numérico por Computadora (CNC) revolucionó la manufactura, al permitir programar movimientos complejos y realizar cortes con tolerancias extremas (DeGarmo et al., 2011).

En 1900, la empresa estadounidense Norton fabricó con esmeril y corindón una muela abrasiva grande y ancha, además de una amoladora robusta y estable. Esto marcó un gran paso adelante en el desarrollo de máquinas rectificadoras y elevó la tecnología de fabricación de máquinas a un nuevo nivel de precisión. (Magalhães & Magalhães, 2025)

Después llegó la automatización, aunque no exactamente como la conocemos hoy. Los tornos de torreta y cabrestante utilizaban levas preestablecidas para realizar tareas repetitivas. En la década de 1940, los tornos hidráulicos de trazado podían seguir plantillas para copiar formas complejas, acercándose así al control programable. (Yifei, 2025)

En 1949, el primer torno de la Nueva China, un torno de correa de seis pies, finalmente se fabricó en la Fábrica de Máquinas Herramienta No. 1 de Shenyang. (Magalhães & Magalhães, 2025)

Ese salto al control programable preciso llegó con John T. Parsons. A finales de los años 40, se asoció con Frank Stulen y el MIT para crear máquinas capaces de leer cintas perforadas y mover herramientas con servomotores. En 1952, el MIT ya tenía en funcionamiento un prototipo de fresadora de control numérico. Arma Corporation presentó a continuación la primera máquina comercial de torneado NC. En 1955, estas máquinas ya llamaban la atención en demostraciones públicas. (Yifei, 2025)

En 1956, Ji'er Machine Tool produjo en masa una cepilladora y una prensa de fricción en espiral (la fábrica había desarrollado previamente la primera cepilladora grande y la primera prensa mecánica grande de China en 1953 y 1955, respectivamente). (Magalhães & Magalhães, 2025)

En el verano de 1958, finalmente se desarrolló la primera fresadora CNC de la Nueva China: la X53K1. Fue creada conjuntamente por la Universidad de Tsinghua y la Primera Fábrica de Máquinas Herramienta de Beijing, y también fue la primera máquina CNC en Asia. (Magalhães & Magalhães, 2025)

En la década de 1960 se introdujeron mejoras: controladores transistorizados, estándares de código G y menos conjeturas por parte del operario. En los años 70, los ordenadores digitales lo controlaban todo y nació el CNC. (Yifei, 2025)

El uso de la tecnología CNC en tornos comenzó en la década de 1960 y en la década de 1970, los microprocesadores se integraron directamente en las máquinas CNC, lo que avanzó aún más en la popularización y el rápido desarrollo de las máquinas herramienta CNC, que han seguido evolucionando hasta la actualidad. (Magalhães & Magalhães, 2025)

De repente, se podía reprogramar un torno. Okuma y otros fabricantes se lanzaron al mercado con máquinas que cortaban, taladraban y roscaban sin necesidad de reajustes manuales. La precisión se redujo a fracciones de milímetro. Los diseños pasaban de la pantalla CAD a la pieza acabada sin apenas intervención humana. (Yifei, 2025)

Tornos Modernos

En la actualidad, los tornos CNC son fundamentales en la industria moderna. Gracias a su precisión y capacidad de automatización, son ampliamente utilizados en sectores como el automotriz, aeroespacial y médico (Chastain, 2008). Además, la integración de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial y la robótica continúa mejorando su desempeño y eficiencia.

En 2012, Shenyang Machine Tool Company desarrolló y diseñó de forma independiente el primer "sistema CNC i5" con capacidades de inteligencia de red y lo lanzó con éxito al mercado. Esto marcó el fin de la dependencia de China de las importaciones de sistemas de máquinas herramienta CNC de alta calidad. (Magalhães & Magalhães, 2025)

Hoy en día, los tornos CNC son omnipresentes en una amplia gama de sectores industriales, desde la fabricación de componentes aeronáuticos hasta la producción en serie de piezas para la industria automotriz. Estas máquinas, dotadas de una sofisticada electrónica y software de control, son capaces de realizar una gran variedad de operaciones de mecanizado con una eficiencia y repetibilidad excepcionales. (Comastech, 2025)

Hoy en día, los tornos CNC no son una herramienta más: son la columna vertebral de la fabricación de alta precisión y eficacia. Los mercados están respondiendo. La demanda mundial aumenta de forma constante, con una CAGR prevista de 5-10% durante esta década. Asia-Pacífico va por delante en volumen, pero EE.UU. y Europa están redoblando sus esfuerzos en aplicaciones especializadas de alta mezcla. (Yifei, 2025)

1.2 Planteamiento del problema

En el laboratorio de manufactura existe carga de tiempo excesivo en el proceso de ajuste y colocación de buriles en tornos es fundamental para el correcto funcionamiento de la maquinaria y la precisión en el mecanizado de piezas. Sin embargo, la caja de buriles que se utiliza actualmente para realizar esta tarea presenta varias ineficiencias, el cual necesita un tiempo prolongado para colocar y ajustar los buriles, esto nos lleva a la necesidad de interrumpir la máquina durante el proceso. Esto no solo genera tiempos muertos innecesarios, sino que también reduce el tiempo disponible de la práctica.

El hecho de tener que parar operaciones en el torno para ajustar los buriles compromete la continuidad de las prácticas y, en consecuencia, la capacidad de cumplir con los tiempos establecidos para la entrega de proyectos. Además, la baja eficiencia en esta operación incrementa el riesgo de errores en el mecanizado debido a ajustes incorrectos, afectando la calidad del producto final.

Por lo tanto, es necesario desarrollar un prototipo digital que permita un ajuste más rápido y preciso de los porta herramienta sin interrumpir operaciones en el torno, con el fin de aumentar la eficiencia operativa y reducir los tiempos de inactividad de la máquina.

1.3 Justificación

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un prototipo digital para el ajuste y colocación de buriles en el torno, diseñado para realizarse de forma más rápida, precisa y eficiente, sin necesidad de detener la máquina. Dentro de los procesos de mecanizado, el ajuste de herramientas es una operación crítica que, bajo métodos tradicionales, demanda tiempos considerables destinados a calzar, nivelar y afilar buriles, lo cual genera tiempos muertos, reduce la disponibilidad del equipo durante las prácticas y afecta la productividad general.

La implementación de un prototipo digital que permita efectuar estos ajustes con el torno en funcionamiento representa una solución directa a un problema frecuente en los entornos de formación y operación. Este sistema no solo optimiza el tiempo requerido para la preparación de herramientas, sino que también incrementa la seguridad al incorporar un mecanismo tipo poka-yoke que asegura la sujeción correcta del portaherramientas y garantiza una altura constante y adecuada para las operaciones de mecanizado. Con ello se minimizan intervenciones manuales, se reduce la variabilidad de la operación y se previenen errores asociados a una alineación incorrecta.

En síntesis, este prototipo digital contribuye significativamente a la mejora de la productividad y la reducción de tiempos en los procesos de mecanizado. Atiende una necesidad real dentro del sector académico y profesional, y ofrece una solución innovadora con alto potencial de implementación tanto en entornos industriales como en laboratorios de ingeniería.

1.4 Objetivos:

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un prototipo digital que permita ajustar y colocar porta herramienta en el torno de manera eficiente y segura, sin la necesidad de detener la máquina, con el fin de reducir los tiempos de inactividad y mejorar la productividad en los procesos de mecanizado.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Analizar los procesos actuales de ajuste y colocación de porta herramienta en el torno para identificar las principales causas de tiempos muertos y dificultades operativas.
2. Diseñar un prototipo digital semiautomatizado que permita ajustar los porta herramienta sin detener la operación del torno, asegurando la precisión y repetitividad en el proceso.
3. Comparar el desempeño del prototipo digital con el proceso tradicional de ajuste y colocación de porta herramienta, utilizando indicadores como tiempo de ajuste, tiempo de inactividad y calidad de las piezas mecanizadas.
4. Proponer mejoras o ajustes adicionales basados en los resultados obtenidos en las pruebas, para optimizar aún más el prototipo digital y su aplicabilidad en diferentes entornos industriales.

1.5 Alcance y Limitaciones

El proyecto se centra en el diseño, desarrollo y colocar porta herramientas en el torno sin la necesidad de detener la máquina. El alcance incluye:

1. Análisis de los procesos actuales: Identificación de las principales deficiencias y tiempos muertos relacionados con el ajuste de buriles en torno.
2. Diseño del prototipo: Desarrollo conceptual y técnico de un sistema que permita una operación eficiente y segura.
3. Evaluación comparativa: Análisis del prototipo digital en relación con los métodos tradicionales para determinar su impacto en términos de productividad, calidad y costos.
4. Propuesta de mejoras: Identificación de oportunidades para optimizar el diseño y aumentar la aplicabilidad en entornos industriales diversos.

Alcance tecnológico:

El desarrollo se limitará a tecnologías disponibles y accesibles, evitando soluciones de alto costo que dificulten la implementación en pequeñas y medianas empresas.

Adaptabilidad limitada:

Aunque el diseño buscará ser flexible, podría requerir ajustes adicionales para su uso en diferentes modelos de tornos o sistemas de mecanizado.

Restricción de recursos:

El presupuesto y los materiales disponibles para el desarrollo del prototipo podrían limitar el alcance de las características o funcionalidades avanzadas.

Tiempo para validación:

El tiempo asignado al desarrollo y validación puede limitar la cantidad de iteraciones y mejoras que se realicen al prototipo antes de la presentación final de la tesis.

Capítulo 2: Revisión de la Literatura

2.1 Herramientas de corte y sistemas de sujeción en torno: Tipos de herramientas y su influencia en el proceso de mecanizado.

Herramientas de Corte en el Torno

Las herramientas de corte son elementos fundamentales en el torno, ya que determinan la calidad, precisión y eficiencia del mecanizado. Estas herramientas están diseñadas para realizar diversas operaciones, como torneado, ranurado, roscado y refrentado, entre otras (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Tipos de Herramientas de Corte

Por Material del Buril:

- Acero rápido (HSS): Alta dureza y resistencia al desgaste. Ideal para trabajos generales y pequeñas velocidades de corte (Groover, 2010).



Ilustración 1 Acero Rápido HSS Fuente Llobregat (2021)

- Carburos cementados: Combinación de tungsteno y cobalto. Se usan para mecanizados de alta velocidad, proporcionando mayor resistencia térmica (Diniz, Marcondes, & Coppini, 2016).



Ilustración 2 (Buril Calzado 3/8" Con Inserto De Carburo #AL6 MICRO 100, n.d.)

- Cerámicas: Resisten altas temperaturas, ideales para acabados en materiales duros sin perder filo rápidamente (Trent & Wright, 2000).



Ilustración 3 (BURIL CORTADORA CERAMICA – Importadora Ferremakros LTDA., n.d.)

- Diamante policristalino (PCD): Gran dureza y durabilidad, utilizados en materiales no ferrosos como aluminio y cobre (Mills, 2012).



Ilustración 4 (PCD (Policristalino De Diamante) | Urgeles Diamant, n.d.)

- Nitruro de boro cúbico (CBN): Excelente para mecanizar materiales templados y duros, especialmente en operaciones de acabado (Davis, 2005).

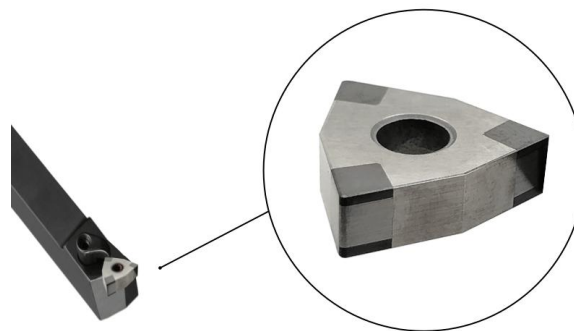


Ilustración 5 Portaherramientas para torno e inserto con puntas de nitruro de boro cúbico. Fuente Martínez (n.d.)

Por Geometría de la Herramienta:

- Herramientas de un solo punto: Buriles utilizados para operaciones como torneado y roscado, diseñadas para cortes continuos (Groover, 2010).
- Herramientas insertables: Insertos reemplazables que se fijan al portaherramientas, facilitando cambios rápidos y reduciendo costos de herramienta (Sandvik Coromant, 2018).
- Herramientas de corte múltiple: Brocas y fresas usadas en operaciones complementarias, utilizadas en tornos con funciones de fresado (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Por Función:

- Torneado exterior: Para reducir el diámetro del material mediante cortes progresivos (Trent & Wright, 2000).



Ilustración 6 Torneado exterior Fuente (Torneado Exterior, n.d.)

- Refrentado: Para mecanizar superficies planas perpendiculares al eje de rotación con alta precisión (Davis, 2005).

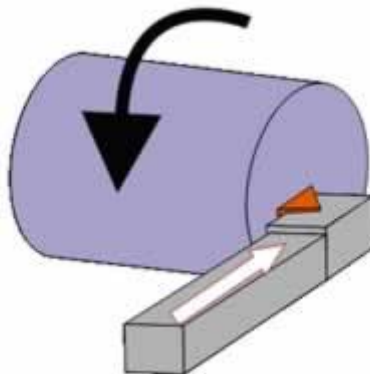


Ilustración 7 Refrendando Fuente (PRINCIPALES OPERACIONES DE UN TORNO, 2011)

- Ranurado: Para crear ranuras o canales en la pieza, asegurando tolerancias ajustadas (Diniz et al., 2016).

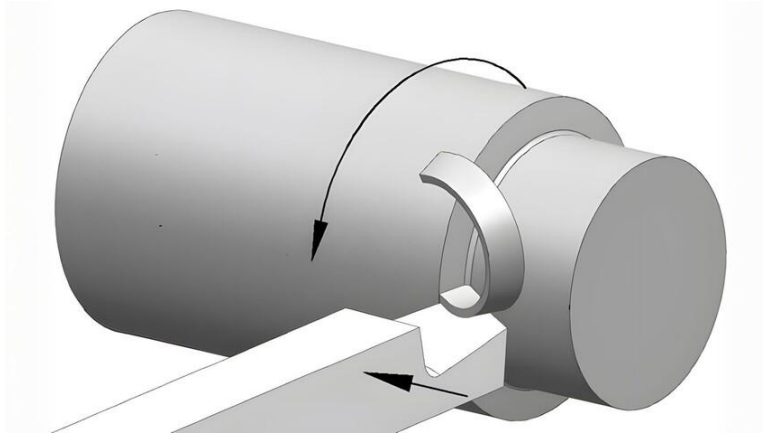


Ilustración 8 Ranurado Fuente Sam (2024)

- Roscado: Para generar roscas internas o externas con insertos específicos que garantizan precisión en la rosca (Sandvik Coromant, 2018).



Ilustración 9 Roscado Fuente (Roscado, n.d.)

Influencia en el Proceso de Mecanizado

- Calidad de la superficie: Depende del material y el filo de la herramienta, impactando la rugosidad final (Mills, 2012).
- Velocidad de corte: Las herramientas más avanzadas permiten mecanizar a mayores velocidades, reduciendo tiempos y costos de operación (Groover, 2010).
- Durabilidad: Materiales como CBN y PCD incrementan la vida útil de la herramienta y reducen el número de cambios (Davis, 2005).
- Tolerancia y precisión: Herramientas bien diseñadas aseguran que las dimensiones finales cumplan con los requerimientos de fabricación (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Sistemas de Sujeción en el Torno

Los sistemas de sujeción garantizan la fijación segura de la pieza a mecanizar, lo que influye directamente en la estabilidad, precisión y seguridad del proceso (Trent & Wright, 2000).

Tipos de Sistemas de Sujeción

Platos de Sujeción:

- Plato de 3 garras autocentrantes: Ideal para piezas cilíndricas, asegura centrado automático y uniformidad en el mecanizado (Sandvik Coromant, 2018).
- Plato de 4 garras independientes: Permite sujetar piezas irregulares con mayor flexibilidad y ajuste manual (Davis, 2005).
- Plato magnético: Utilizado para materiales ferromagnéticos, ideal para piezas pequeñas y delicadas (Mills, 2012).
- Contrapunto y Lunetas: Complementan la sujeción al soportar piezas largas o de diámetros pequeños para evitar vibraciones y mejorar la precisión dimensional (Groover, 2010).
- Mordazas: Permiten fijar la pieza con mayor presión y estabilidad, asegurando un mecanizado sin desplazamientos indeseados (Diniz et al., 2016).
- Sistemas de Sujeción Rápida: Incorporan mecanismos que reducen los tiempos de preparación, optimizando la producción y reduciendo tiempos muertos (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Influencia en el Proceso de Mecanizado

- Estabilidad: Una sujeción adecuada minimiza vibraciones, mejorando la calidad superficial y la precisión del mecanizado (Davis, 2005).
- Seguridad: Sistemas robustos previenen accidentes causados por desprendimiento de piezas a alta velocidad (Trent & Wright, 2000).
- Tiempo de configuración: Sistemas rápidos optimizan los tiempos muertos y aumentan la productividad del torno (Sandvik Coromant, 2018).

Relación entre Herramientas y Sistemas de Sujeción

- La elección adecuada de herramientas y sistemas de sujeción asegura un proceso eficiente y preciso (Mills, 2012).
- Herramientas avanzadas combinadas con sujeciones estables permiten operar a mayores velocidades y con menores riesgos (Diniz et al., 2016).
- La integración de sistemas modernos de cambio rápido tanto en herramientas como en sujeciones reduce significativamente los tiempos muertos y los costos operativos (Groover, 2010).

2.2 Métodos Actuales de Ajuste de Herramientas en Torno: Revisión de los Sistemas y Métodos Actuales

El ajuste de herramientas en el torno es un paso esencial en el proceso de mecanizado, ya que garantiza la precisión y la calidad del trabajo. Actualmente, existen diversos métodos para realizar este ajuste, cada uno con ventajas y limitaciones (Groover, 2010).

2.2.1. Ajuste Manual

El ajuste manual es el método más tradicional y ampliamente utilizado, especialmente en talleres pequeños o en aplicaciones donde no se requiere alta producción (Kalpakjian & Schmid, 2014).



Ilustración 10 (Tutorial. Iniciación Al Torno, Ajustes Y Operaciones Básicas., n.d.)

Proceso

Se ajusta manualmente la altura de la herramienta, usando comparadores o marcas visuales para alinearla con el eje de rotación. Luego, se realiza el apriete de los tornillos del portaherramientas con una llave manual (Diniz, Marcondes, & Coppini, 2016).

Ventajas

- Bajo costo de implementación (Trent & Wright, 2000).
- Compatible con la mayoría de tornos convencionales (Mills, 2012).
- No requiere tecnología avanzada ni equipos adicionales (Sandvik Coromant, 2018).

Limitaciones

- Proceso lento, especialmente en cambios frecuentes (Groover, 2010).
- Mayor probabilidad de error humano, lo que puede afectar la precisión del mecanizado (Davis, 2005).
- Requiere detener la máquina, lo que genera tiempos muertos y afecta la productividad (Kalpakjian & Schmid, 2014).

2.2.2. Uso de Comparadores o Plantillas

Este método utiliza herramientas auxiliares para facilitar el ajuste y mejorar la precisión en la colocación de la herramienta de corte (Mills, 2012).



Ilustración 11 (Uso De Comparadores En Torno - Buscar Con Google, n.d.)

Proceso

Se coloca un comparador de altura o una plantilla específica sobre la superficie de referencia del torno. La herramienta se ajusta hasta que coincida con la posición indicada por el comparador o la plantilla (Diniz et al., 2016).

Ventajas

- Mayor precisión en el ajuste de altura, reduciendo desviaciones (Groover, 2010).
- Disminuye el margen de error humano, mejorando la repetibilidad (Sandvik Coromant, 2018).

Limitaciones

- Proceso más lento en comparación con métodos automatizados (Trent & Wright, 2000).
- Depende de la habilidad del operador para interpretar correctamente las mediciones, lo que puede afectar la precisión del ajuste (Davis, 2005).

2.2.3. Ajuste con Sistemas de Cambio Rápido

Los portaherramientas con sistemas de cambio rápido, como los del tipo Multifix o Dorian, permiten ajustes más ágiles y precisos, minimizando tiempos de inactividad (Mills, 2012).



Ilustración 12 Torreta de Cambio Rápido MULTIFIX Fuente : (P Gaya, 2024)

Proceso

La herramienta se monta en un portaherramientas modular con un mecanismo de sujeción rápida. Se ajusta la altura de la herramienta mediante un tornillo micrométrico incorporado, permitiendo un ajuste preciso. Posteriormente, la herramienta se intercambia rápidamente gracias al diseño modular del sistema (Diniz et al., 2016).

Ventajas

- Gran reducción de tiempos de ajuste, lo que mejora la eficiencia en la producción (Groover, 2010).
- Permite preajustar herramientas antes de instalarlas en el torno, optimizando los tiempos de trabajo (Kalpakjian & Schmid, 2014).
- Alta repetibilidad y precisión en cada ajuste, asegurando consistencia en las operaciones (Sandvik Coromant, 2018).

Limitaciones

- Mayor costo inicial debido a la inversión en sistemas y accesorios especializados (Davis, 2005).
- Puede requerir capacitación para su uso eficiente y garantizar el máximo aprovechamiento del sistema (Trent & Wright, 2000).

2.3 Principios de optimización en sistemas de manufactura: Enfoques y metodologías relevantes para la optimización.

La optimización en sistemas de manufactura busca mejorar la eficiencia, calidad y rentabilidad de los procesos productivos. Esto se logra mediante la aplicación de principios y metodologías que maximizan la utilización de recursos, minimizan desperdicios y garantizan la producción de bienes y servicios de manera sostenible y competitiva.

2.3.1 Principios Fundamentales de Optimización en Manufactura

1. Principio de Eficiencia Operacional

Definición:

Este principio consiste en lograr que cada operación del proceso aporte el máximo valor posible con el mínimo de recursos, tiempo o esfuerzo humano. Busca eliminar toda actividad que no agregue valor al producto (Womack & Jones, 2017).

Aplicación al prototipo digital:

En el torno convencional, el ajuste del buril requiere detener la máquina y realizar múltiples verificaciones manuales. El nuevo sistema de sujeción optimiza esta operación al permitir un cambio rápido y seguro del portaherramienta, reduciendo los tiempos improductivos y mejorando la continuidad del proceso de mecanizado.

2. Principio de Mejora Continua (Kaizen)

Definición:

Se basa en la filosofía japonesa de mejora constante, donde cada modificación o ajuste, por pequeño que sea, contribuye al perfeccionamiento del proceso (Imai, 2018). La mejora continua implica retroalimentar el diseño y adaptarlo conforme a los resultados experimentales.

Aplicación al prototipo digital:

Durante el desarrollo del sistema, se realizaron tres iteraciones de diseño, mejorando aspectos como el número de cavidades, el tipo de sujeción y la incorporación de un sistema retráctil. Esto refleja la aplicación del principio Kaizen, ya que el modelo final es resultado de una evolución basada en pruebas y ajustes.

3. Principio de Estandarización

Definición:

Consiste en establecer procedimientos, dimensiones y métodos uniformes que permitan la repetición y control de calidad del proceso (Kalpakjian & Schmid, 2018). Un proceso estandarizado facilita el mantenimiento, la capacitación y la seguridad.

Aplicación al prototipo digital:

El sistema propuesto define una geometría uniforme de cavidades y un método de sujeción universal para los buriles, lo que permite repetir el montaje sin errores ni variaciones. Además, contribuye a reducir el margen de error del operador al realizar cambios de herramienta.

4. Principio de Automatización Inteligente

Definición:

Este principio busca integrar mecanismos automáticos o semiautomáticos que reduzcan la intervención humana en tareas repetitivas, mejorando la precisión y seguridad del proceso (Rao, 2017).

Aplicación al prototipo digital:

Aunque el sistema no es totalmente automatizado, incorpora elementos mecánicos de tipo poka-yoke (a prueba de error) y un mecanismo giratorio controlado, que facilitan el cambio de herramienta sin necesidad de detener el torno, lo que representa un paso hacia la automatización parcial del proceso.

5. Principio de Integración y Optimización de Datos

Definición:

Implica el uso de herramientas digitales y de análisis para evaluar, comparar y seleccionar las mejores alternativas de diseño o manufactura (Pinedo, 2020).

Aplicación al prototipo digital:

Se aplicó este principio mediante el uso de la matriz de Pugh, herramienta de decisión multicriterio que permitió comparar los diferentes diseños del sistema de sujeción y determinar cuál ofrecía el mejor desempeño técnico y funcional en base a parámetros objetivos.

6. Principio de Sostenibilidad y Eficiencia Energética

Definición:

Este principio busca reducir el impacto ambiental de los procesos productivos, promoviendo el uso eficiente de materiales y energía (Moyano-Fuentes et al., 2021).

Aplicación al prototipo digital:

El diseño propuesto reduce el consumo de energía al eliminar paros innecesarios del torno y minimizar el desperdicio de piezas defectuosas, contribuyendo así a una manufactura más sustentable y eficiente.

2.3.2 Enfoques para la Optimización

2.3.2.1. Enfoque Sistémico

- Considera todos los elementos del sistema (máquinas, trabajadores, materiales, información) como interdependientes.
- Utiliza modelos integrales para analizar cómo las decisiones en un área afectan al sistema completo.

2.3.2.2. Enfoque Lean Manufacturing

- Basado en los principios del Sistema de Producción Toyota.
- Busca eliminar desperdicios (muda) y maximizar el valor agregado.

Herramientas clave:

- Mapa de flujo de valor (Value Stream Mapping): Para identificar cuellos de botella y desperdicios.
- Kanban: Para optimizar el flujo de materiales.

2.3.3.3. Enfoque Six Sigma

- Orientado a reducir la variabilidad y los defectos en los procesos.
- Se utiliza el modelo DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

2.3.3.4. Manufactura Esbelta (Lean) + Six Sigma (Lean Six Sigma)

- Combina los principios de eficiencia de Lean con el enfoque de calidad y reducción de defectos de Six Sigma.
- Ideal para mejorar la productividad y la satisfacción del cliente.

2.3.3.5. Manufactura Flexible

- Diseñada para responder rápidamente a cambios en la demanda o diseño del producto.
- Uso de sistemas como FMS (Flexible Manufacturing Systems).

- Metodologías Relevantes para la Optimización

2.3.3.6 Teoría de Restricciones (TOC):

- Se enfoca en identificar y gestionar los cuellos de botella en el sistema.
- Propone optimizar el rendimiento global del sistema en lugar de los componentes individuales.
- Planificación y Programación de la Producción:
- Uso de herramientas como el MRP (Material Requirements Planning) y MRP II para garantizar el suministro adecuado de materiales.
- Aplicación de modelos de programación lineal para asignar recursos eficientemente.

2.3.3.7 Control Estadístico de Procesos (SPC):

- Uso de gráficos de control y análisis estadísticos para monitorear y mejorar la estabilidad de los procesos.
- Automatización y Tecnologías Avanzadas:
- Implementación de sistemas como IoT (Internet of Things) y Big Data para recopilar y analizar datos en tiempo real.
- Uso de algoritmos de inteligencia artificial (IA) para optimizar procesos y prever fallos.

2.3.3.8 Estrategias Just-In-Time (JIT):

- Minimizar inventarios y producir solo lo necesario para satisfacer la demanda inmediata.
- Casos de Éxito y Aplicaciones Reales

2.3.3.9 Automatización con IoT

Empresas como Siemens y GE han implementado sensores en equipos para monitorear rendimiento, identificar ineficiencias y programar mantenimiento predictivo.

Lean Manufacturing en Toyota: Reducción significativa de tiempos muertos y desperdicios mediante sistemas como Kanban.

Six Sigma en General Electric: Disminución de defectos en procesos críticos, aumentando la rentabilidad y la satisfacción del cliente.

2.4 Innovaciones en Sistemas de Sujeción sin Interrupciones: Avances Recientes y Casos de Estudio Relevantes

La evolución de los sistemas de sujeción en el mecanizado ha permitido mejorar la eficiencia y precisión en procesos industriales. Las innovaciones recientes han incorporado tecnologías avanzadas, como sistemas de cambio rápido, sujeción inteligente con IoT y automatización con robots colaborativos, optimizando la producción y reduciendo tiempos muertos (Groover, 2020).

2.4.1. Sistemas de Cambio Rápido

Estos sistemas permiten intercambiar herramientas o piezas con mínima intervención manual y sin detener la máquina, aumentando la productividad y precisión (Kalpakjian & Schmid, 2018).

Tecnologías Clave

- Mecanismos de fijación magnética (Diniz, Marcondes, & Coppini, 2016).
- Sistemas hidráulicos y neumáticos (Sandvik Coromant, 2020).
- Dispositivos modulares de cambio rápido (Trent & Wright, 2012).

Ventajas

- Reducción de tiempos muertos en el mecanizado (Mills, 2019).
- Mayor repetitividad y precisión en los procesos (Groover, 2020).
- Simplificación del ajuste en operaciones complejas (Davis, 2015).

Ejemplo

Sistemas de cambio rápido *Schunk VERO-S*, que utilizan tecnología neumática para asegurar piezas con alta precisión y repetibilidad (Schunk, 2021).



Ilustración 13 Sistemas de cambio rápido: VERO-S Fuente Metalmecánica (2025)

2.4.2. Sujeción Inteligente con IoT

La incorporación de sensores y dispositivos inteligentes permite monitorear la presión, vibración y posición de las piezas en tiempo real, ajustando los parámetros de sujeción de manera automática (Mills, 2019).

Características

- Sensores integrados que miden y ajustan automáticamente los parámetros de sujeción (Sandvik Coromant, 2020).
- Comunicación con el sistema de control de la máquina a través de IoT (Diniz et al., 2016).
- Ajustes automáticos en función de las condiciones de operación (Trent & Wright, 2012).

Ventajas

- Reducción de fallos relacionados con sujeciones inadecuadas (Groover, 2020).
- Optimización de los procesos mediante datos en tiempo real (Kalpakjian & Schmid, 2018).

Ejemplo

Sistemas inteligentes de *AMF*, que ajustan la fuerza de sujeción automáticamente según las dimensiones y peso de la pieza (AMF, 2021).

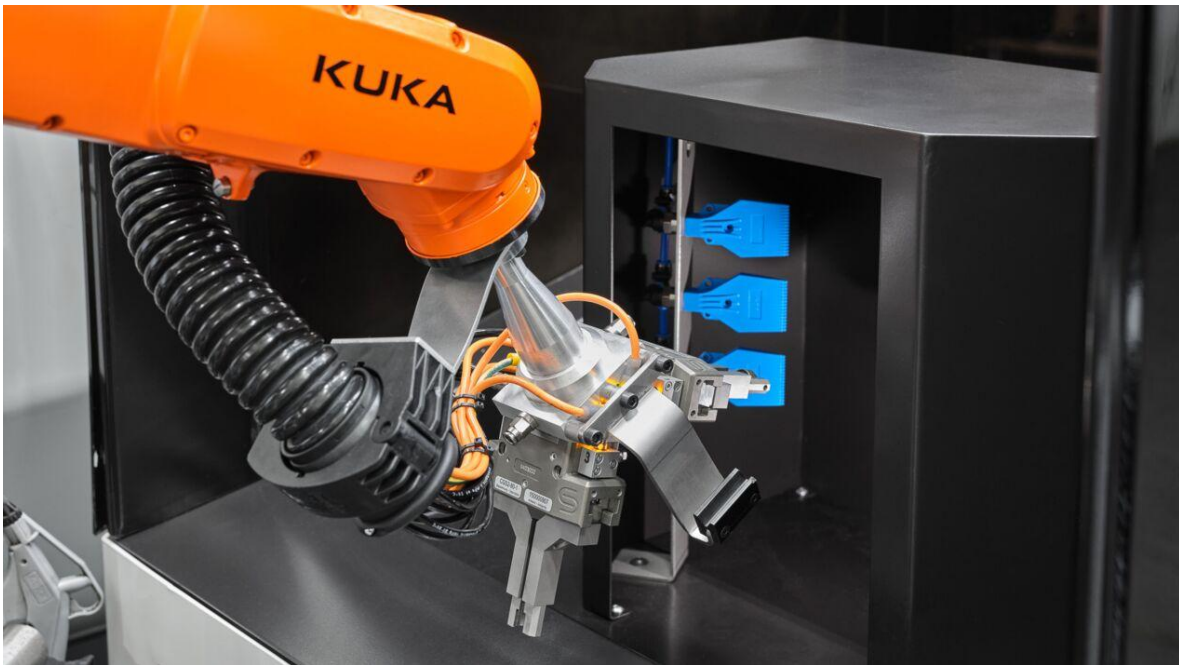


Ilustración 14 (El Sistema De Carga Smart Automation De AMF Aumenta La Profundidad De Producción Para El Usuario Y Le Permite Contrarrestar La Escasez De Mano De Obra Cualificada - Stuttgart, Fellbach, n.d.)

2.4.3. Sistemas Magnéticos Avanzados

El uso de platos magnéticos ha evolucionado con materiales y diseños que garantizan una sujeción segura incluso en altas velocidades de corte (Mills, 2019).

Tecnologías Modernas

- Magnetismo controlado eléctricamente para una sujeción precisa y sin vibraciones (Trent & Wright, 2012).
- Compatibilidad con diferentes tipos de materiales ferrosos (Diniz et al., 2016).

Ventajas

- Eliminación de elementos mecánicos de sujeción (Groover, 2020).
- Rápido cambio de piezas, ideal para operaciones de alta rotación (Kalpakjian & Schmid, 2018).

Ejemplo

Platos magnéticos de última generación como los de *MagVISE*, usados en centros de mecanizado para piezas de grandes dimensiones (MagVISE, 2021).



Ilustración 15 (MAGNOS MTR - Plato Magnético Redondo by SCHUNK SE & Co. KG | DirectIndustry, n.d.)

2.4.4. Automatización con Robots Colaborativos (Cobots)

Los cobots se integran con sistemas de sujeción automatizados para manipular piezas en diferentes etapas del proceso de manufactura (Mills, 2019).

Aplicaciones

- Colocación de piezas en sujeciones (Groover, 2020).
- Reubicación entre diferentes estaciones de trabajo (Kalpakjian & Schmid, 2018).
- Supervisión de la sujeción en tiempo real (Diniz et al., 2016).

Ventajas

- Aumenta la seguridad del operador al eliminar intervenciones manuales (Trent & Wright, 2012).
- Mejora la precisión y la consistencia en el posicionamiento de piezas (Sandvik Coromant, 2020).

Ejemplo

Uso de robots colaborativos *UR* con sistemas de sujeción *OnRobot* para optimizar procesos en líneas de producción flexibles (OnRobot, 2021).



Ilustración 16 Robots colaborativos Fuente: López (2025)

2.4.5. Tecnologías de Vacío para Piezas No Metálicas

Los sistemas de sujeción por vacío son ideales para materiales como plásticos, maderas y composites, especialmente en industrias como la aeroespacial y automotriz (Davis, 2015).

Características

- Tecnología basada en vacío aplicado por ventosas o placas perforadas (Kalpakjian & Schmid, 2018).
- Compatibles con piezas de geometrías complejas (Trent & Wright, 2012).

Ventajas

- Sujeción uniforme sin deformaciones (Groover, 2020).
- Reducción del tiempo de ajuste en materiales ligeros (Mills, 2019).

Ejemplo

Sistemas de vacío *Piab* empleados en fresadoras CNC para piezas de fibra de carbono (Piab, 2021).



Ilustración 17 (Sistemas De Sujeción Por Vacío Eficientes Y Flexibles De AMF. - Stuttgart, Fellbach, n.d.)

Casos de Estudio Relevantes

Caso 1: Airbus y Sujeción Inteligente

Contexto: Airbus implementó sistemas de sujeción inteligentes con sensores IoT para la fabricación de componentes de alas de avión.

Resultados:

- Permitió una reducción estimada del 30% en tiempos de configuración (Bersano et al., 2020; Liu & Wang, 2021)
- Mejora en la eficiencia del ensamblaje (GE, 2021).
- Reducción de accidentes laborales asociados a manipulación manual (Mills, 2019).

Caso 2: BMW y Sistemas Magnéticos Avanzados

Contexto: BMW integró platos magnéticos avanzados en su línea de producción de motores, logrando sujetar piezas complejas sin necesidad de fijaciones mecánicas.

Resultados:

- Incremento de la productividad en un 20% (BMW, 2021).
- Eliminación de riesgos de daños a las piezas durante el cambio de herramientas (Mills, 2019).

Caso 3: General Electric y Cobots en Sujeción Automatizada

Contexto: General Electric adoptó cobots con sistemas de cambio rápido para ensamblar turbinas eólicas. Los cobots manipulan y colocan piezas en sistemas de sujeción sin interrupciones.

Resultados:

- Mejora en la eficiencia del ensamblaje (GE, 2021).
- Reducción de accidentes laborales asociados a manipulación manual (Mills, 2019).

Capítulo 3: Metodología

3.1 Diseño experimental

Descripción del diseño y las variables

El diseño óptimo al que llegamos fue el resultado de tres iteraciones experimentales, en las cuales se realizaron mejoras progresivas para optimizar su funcionalidad y desempeño.

Sistema actual en el torno

En los tornos tradicionales, el montaje y ajuste del buril (herramienta de corte) se realiza manualmente mediante un sistema de porta herramientas fijo, generalmente de tipo cuadrado o tipo torre. Este sistema cuenta con las siguientes características:

1. Montaje individual del buril:
 - Cada buril debe colocarse y alinearse manualmente dentro del porta herramientas.
 - El operador usa llaves, pernos y cuñas para fijarlo.
 - Este proceso requiere detener completamente el torno para hacer los cambios o ajustes.
2. Ajuste de altura y posición:
 - El buril se debe alinear manualmente al centro del eje de trabajo.
 - Esto implica el uso de calzos o pruebas de corte, lo que consume tiempo y puede generar errores si no se realiza con precisión.
3. Fijación con tornillos:
 - Una vez posicionado, el buril se fija con uno o más tornillos de presión.
 - Esto no siempre asegura una sujeción perfecta, sobre todo si los tornillos o superficies están desgastados.
4. Cambio de herramienta lento:
 - Cuando se requiere cambiar de herramienta (por desgaste o cambio de operación), se debe repetir el proceso completo: desmontar, alinear, fijar.
 - Esto genera tiempos muertos considerables, afectando la productividad.
5. Riesgos ergonómicos y de seguridad:
 - El operador trabaja en contacto directo con componentes calientes o filosos.
 - La postura forzada o el uso de herramientas inadecuadas puede provocar fatiga o accidentes menores.

6. Bajo nivel de automatización o estandarización:

- Depende completamente de la habilidad y experiencia del operador.
- No hay mecanismos automáticos o sistemas de guía que aseguren un montaje correcto o repetible.



Ilustración 18 Sistema de sujeción de torno



Ilustración 19 Palanca de sujeción de buriles



Ilustración 21 Vista lateral de sujeción actual torno



Ilustración 20 Vista superior de sujeción actual torno

Primer Diseño

El primer diseño consistía en un sistema giratorio con ocho cavidades para alojar los portaherramienta. En este diseño, los buriles permanecían fijos, y el mecanismo permitía girar la estructura para intercambiarlos.

Sin embargo, presentaba algunas limitaciones. La base incluía una cavidad con forma de estrella que dificultaba el giro suave del sistema, lo que afectaba la eficiencia del cambio de herramientas. Además, la parte superior contaba con una tapa sellada que restringía el acceso a los componentes internos.

El diseño tenía una geometría octagonal y, aunque funcional, era poco robusto y carecía de ciertas características clave para mejorar su estabilidad y usabilidad. Se trataba de una versión básica dentro del campo de la ingeniería, cuya imagen se muestra a continuación.

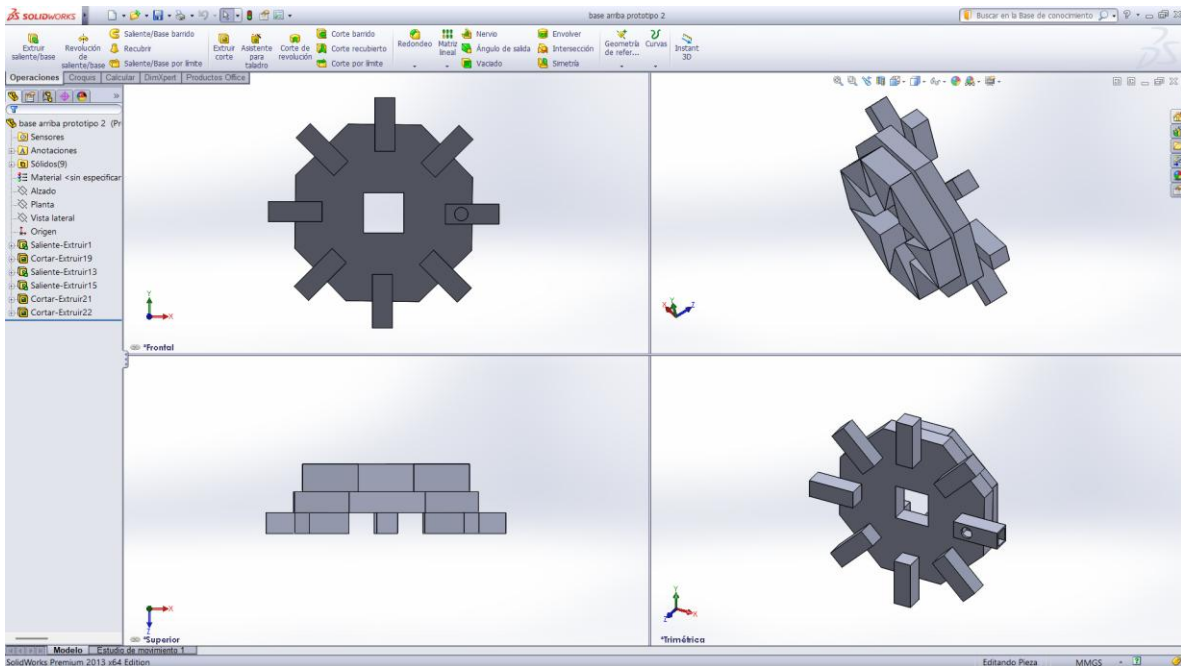


Ilustración 22 Primer diseño Elaboración propia

Segundo Diseño

El segundo diseño se basa en la estructura del primer prototipo, pero incorpora mejoras significativas para optimizar la fijación y estabilidad del sistema.

Una de las principales diferencias es la incorporación de una abrazadera, la cual se asegura mediante tornillos y tuercas. Esta abrazadera cumple una función clave al sujetar firmemente el portaherramienta dentro de su cavidad, evitando cualquier movimiento indeseado durante el mecanizado.

Para garantizar una sujeción aún más segura, se ha integrado un tornillo de ajuste, el cual atraviesa tanto la abrazadera como la caja del buril. Este mecanismo proporciona mayor estabilidad y minimiza la posibilidad de vibraciones o desplazamientos inesperados durante la operación.

Al igual que el diseño anterior, este prototipo cuenta con una tapa superior, que también se fija mediante tuercas y tornillos. Esta tapa no solo protege los componentes internos del sistema, sino que también contribuye a la rigidez estructural del conjunto.

En cuanto a la capacidad, el diseño mantiene las ocho cavidades destinadas a alojar los portaherramienta. Sin embargo, en esta versión, las cajas de buriles han sido soldadas a la estructura para proporcionar mayor resistencia y durabilidad, asegurando un funcionamiento confiable incluso en condiciones de trabajo exigentes.

En la siguiente imagen se muestra el diseño del segundo prototipo, con sus modificaciones y mejoras estructurales.

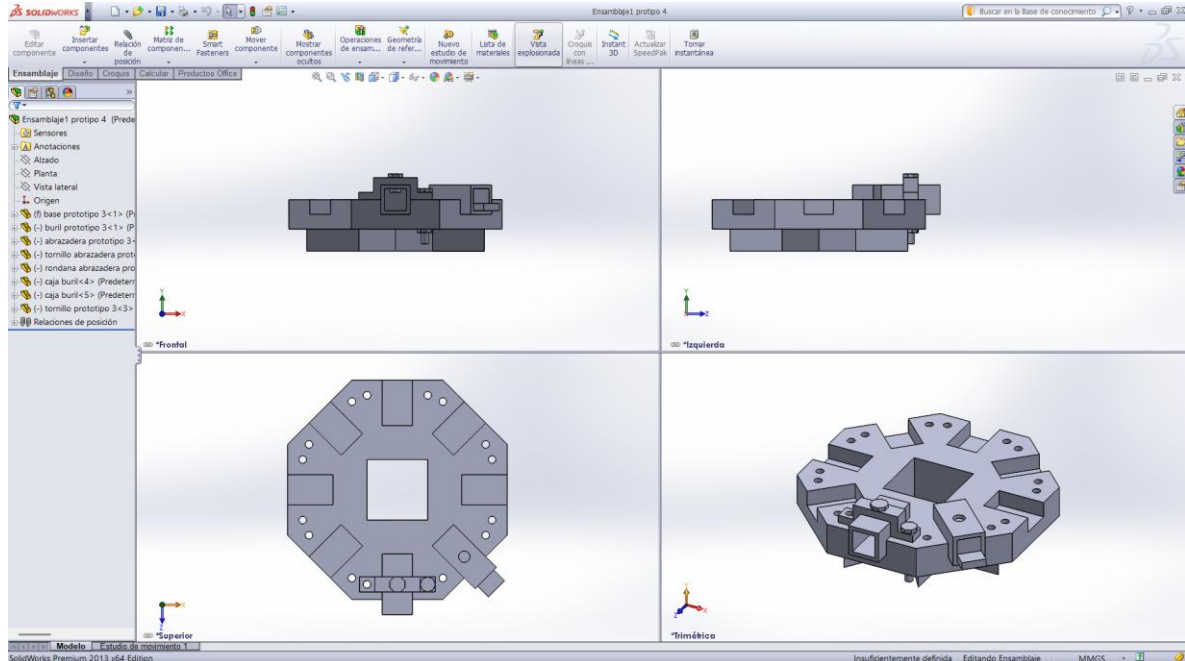


Ilustración 23 Segundo diseño Elaboración propia.

Tercer diseño

El tercer diseño introduce mejoras significativas en comparación con los anteriores, enfocándose en la optimización del espacio, la seguridad y la funcionalidad del mecanismo. Una de las principales modificaciones es la reducción de dos cavidades, dejando un total de seis espacios para alojar los portaherramienta. Esta disminución permite mejorar la distribución del peso y facilita la manipulación del sistema.

El diseño adopta una estructura hexagonal, lo que proporciona mayor estabilidad y resistencia durante el mecanizado. Además, incorpora un sistema de fijación retráctil para los buriles, basado en el principio poka-yoke. Este principio consiste en diseñar procesos o dispositivos que eviten los errores humanos o los detecten antes de que generen defectos en el producto final (Shingo, 1986).

El objetivo principal del Poka-Yoke es “hacer imposible cometer un error”, o bien, “detectar el error antes de que se convierta en un defecto” (García-Alcaraz et al., 2019). De este modo, se garantiza la calidad en la fuente, uno de los pilares de la filosofía Lean Manufacturing. Este mecanismo garantiza que los portaherramienta se coloquen correctamente y evita errores humanos en la instalación.

Para mejorar aún más la sujeción, se ha añadido un tornillo en la punta de cada cavidad, el cual asegura tanto el portaherramienta como la caja que lo contiene.

Una innovación clave en este diseño es que la caja de portaherramienta ahora es giratoria, permitiendo un movimiento de 360° para facilitar el cambio y posicionamiento de las herramientas. Adicionalmente, cada caja de portaherramienta cuenta con un tornillo individual que fija el portaherramienta en su posición, proporcionando mayor estabilidad durante el mecanizado.

Otra característica destacada es la capacidad de la caja de portaherramienta es para inclinarse libremente hasta 90°, lo que facilita su ajuste y permite una operación más ergonómica. Esta mejora es crucial para garantizar un acceso rápido y eficiente a las herramientas sin necesidad de detener el torno.

Este diseño representa un avance significativo en términos de innovación y reingeniería, optimizando el desempeño del sistema.

En la siguiente imagen se presenta la estructura y los componentes principales de este prototipo.

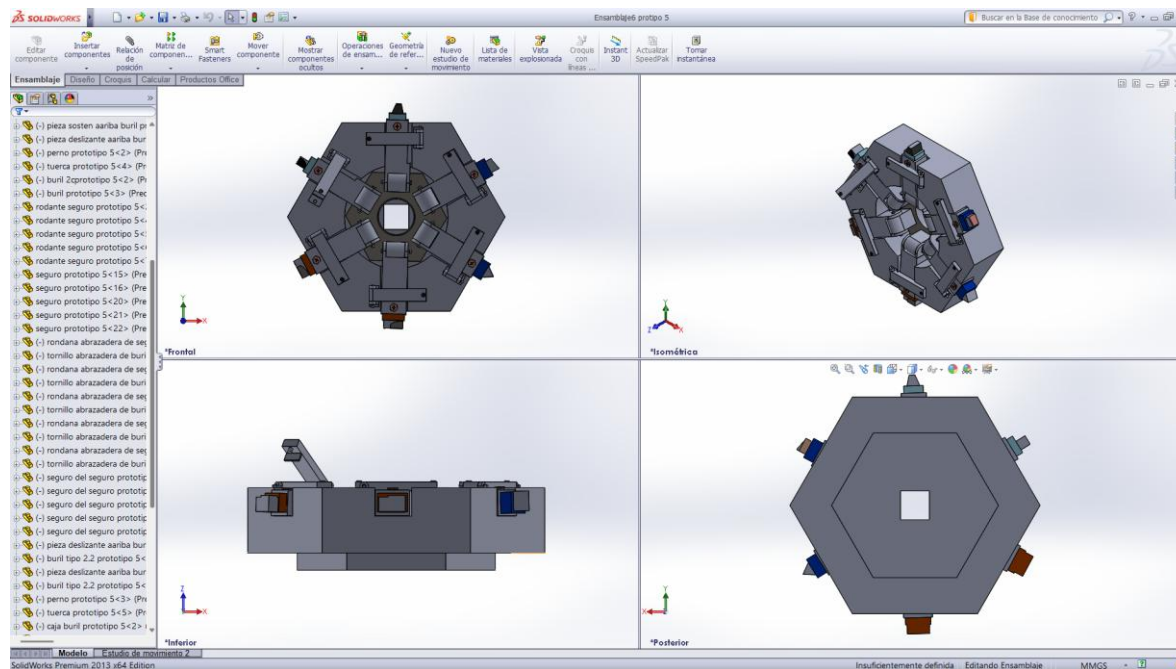


Ilustración 24. Tercer diseño Elaboración propia

Diseño final

El diseño propuesto en este trabajo tiene como principal objetivo optimizar las operaciones y minimizar los tiempos muertos en el proceso de mecanizado. Para ello, se desarrolló una porta portaherramienta en forma hexagonal que funciona de manera giratoria y ofrece una solución ergonómica y eficiente para el montaje de herramientas sin la necesidad de detener o interrumpir las operaciones.

La porta portaherramienta cuenta con seis cavidades, cada una de las cuales permite alojar un portaherramienta de ½ pulgada. El uso del principio Poka-Yoke en el diseño de este sistema tiene un impacto directo en la optimización del proceso de mecanizado por las siguientes razones:

- Reduce tiempos muertos al eliminar la necesidad de reajustes manuales.
- Disminuye la tasa de error humano, lo que mejora la calidad del producto final.
- Aumenta la disponibilidad del equipo, ya que evita fallos por montaje incorrecto.

Mejora la seguridad operacional, al impedir el uso del torno en condiciones inadecuadas. Estas cavidades están diseñadas con una abertura de 90°, lo que facilita el montaje y desmontaje del portaherramienta en la cavidad asignada de forma precisa y rápida. Este sistema no solo agiliza el cambio de herramientas, sino que también mejora la comodidad y seguridad del operador al realizar las operaciones.

La base de la porta portaherramienta tiene una geometría específica que incluye un cuerpo rectangular con una terminación semicircular. Esta base está diseñada para asegurar el movimiento conjunto con la porta portaherramienta a través de un perno y una tuerca, lo que garantiza una fijación estable del portaherramienta en su cavidad asignada. El portaherramienta se inmoviliza mediante un sistema de perno, que asegura su posición y elimina cualquier posibilidad de movimiento indeseado durante la operación.

Un aspecto innovador del diseño es la incorporación de un sistema poka-yoke para garantizar la seguridad y correcta fijación del portaherramienta. Este sistema incluye un seguro desplegable que se acciona mediante un resorte, liberando dos brazos que se introducen en la cavidad asignada para asegurar o liberar el portaherramienta de manera efectiva. Este mecanismo minimiza los errores humanos y asegura que el portaherramienta esté correctamente posicionado antes de iniciar cualquier operación.

Además, la base hexagonal del sistema incluye una cavidad adicional destinada a almacenar un portaherramienta de repuesto, lo que proporciona una solución práctica para el almacenamiento inmediato y el uso eficiente del espacio. Dentro de la base, se ha incorporado un círculo que se acopla perfectamente con la porta portaherramienta, permitiendo su giro fluido y su alineación precisa con las cavidades designadas.

En conjunto, este diseño representa una solución integral para optimizar el tiempo y los recursos en operaciones de mecanizado. La combinación de un sistema giratorio, cavidades precisas, mecanismos de aseguramiento y un enfoque ergonómico asegura una operación continua, eficiente y segura, con un impacto significativo en la productividad y la reducción de tiempos muertos.

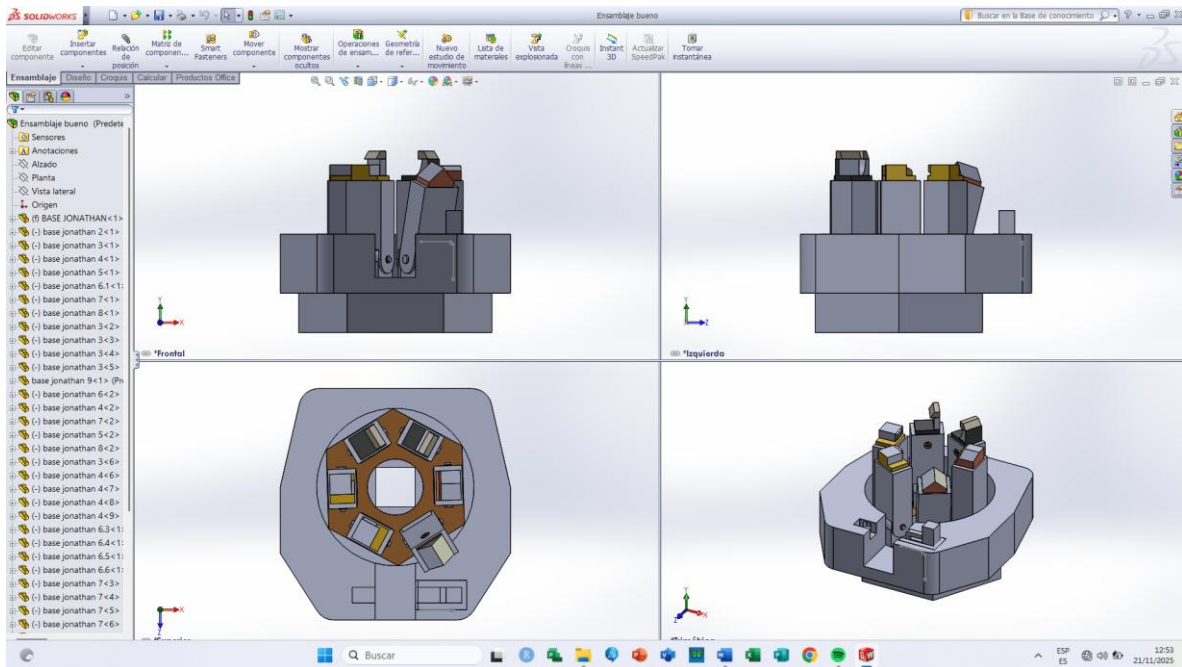


Ilustración 25 Diseño final Elaboración propia

Metodología Pugh Datum

La metodología de Pugh, también conocida como Pugh Datum Method o Matriz de Decisión de Pugh, fue desarrollada por Stuart Pugh (1991) como una herramienta de evaluación y selección de conceptos de diseño. Su objetivo principal es comparar alternativas de diseño frente a un modelo de referencia (datum) con base en criterios de desempeño definidos previamente (Pugh, 1991).

Esta metodología forma parte del enfoque de Diseño Integrado de Productos (Total Design), y se utiliza ampliamente en ingeniería mecánica e industrial para seleccionar la opción más óptima considerando factores cualitativos y cuantitativos (Cross, 2008).

Principios Fundamentales

El método se basa en realizar comparaciones sistemáticas entre distintas alternativas de diseño, asignando valores relativos de desempeño en función de un modelo base o datum. Los criterios se definen según las necesidades del proyecto, tales como:

- Costo de fabricación
- Facilidad de ensamblaje
- Seguridad del operador
- Ergonomía
- Precisión
- Innovación tecnológica
- Mantenimiento

Cada alternativa se evalúa respecto al datum usando los símbolos:

- (+) Mejor que el datum
- (0) Igual que el datum
- (-) Peor que el datum

El diseño con mayor número de aspectos positivos se considera la mejor alternativa global, siempre y cuando los criterios sean ponderados con objetividad y coherencia.

Etapas del Método Pugh

1. Definición del objetivo del diseño. Se establece qué se busca optimizar (en tu caso, la sujeción y cambio de portaherramienta en el torno).
2. Identificación de alternativas. Se listan los diferentes diseños desarrollados (Diseño 1, Diseño 2, Diseño 3 y Modelo Final).
3. Selección del datum. Se elige una referencia base con la cual comparar los demás (por ejemplo, el sistema actual del torno).
4. Definición de criterios de evaluación. Se establecen los parámetros de comparación: seguridad, precisión, tiempo de ajuste, facilidad de operación, ergonomía, costo, etc.
5. Evaluación y puntuación. Se califican las alternativas respecto al datum según su desempeño en cada criterio.
6. Análisis y selección. Se cuentan los signos positivos, negativos y neutros para identificar la mejor alternativa global.
7. Validación y optimización. Si hay empate o resultados similares, se realiza una segunda matriz tomando como nuevo datum el diseño mejor posicionado en la primera evaluación.

Matriz de Pugh Datum

La Matriz de Pugh es una herramienta de toma de decisiones utilizada en el diseño y desarrollo de productos para comparar diversas alternativas frente a un criterio base o "datum". En el contexto de esta tesis, la Matriz de Pugh permitió analizar de manera objetiva las diferentes iteraciones de la porta portaherramienta es giratorio y determinar cuál diseño optimiza mejor los factores clave del mecanizado, como eficiencia, estabilidad, ergonomía y facilidad de operación.

Beneficios de su Aplicación en el Proyecto

1. **Comparación Objetiva:** Se evaluaron múltiples versiones del diseño considerando aspectos como la facilidad de sujeción, precisión, durabilidad y facilidad de mantenimiento. Esto permitió seleccionar el prototipo digital final basándose en criterios cuantificables y no solo en percepciones subjetivas.
2. **Reducción de Sesgos:** Al asignar calificaciones relativas a cada diseño en función de un diseño base (datum), la Matriz de Pugh permitió minimizar la influencia de preferencias personales y enfocarse en datos concretos.
3. **Optimización del Diseño Final:** Gracias a este análisis, se pudieron identificar debilidades en los primeros diseños y realizar mejoras progresivas hasta llegar a un prototipo digital más eficiente y funcional.
4. **Justificación Técnica:** La selección del diseño final no se basó únicamente en pruebas empíricas, sino en un análisis estructurado. Esto respalda con rigor técnico la elección del prototipo digital óptimo.

Matriz diseño actual vs Prototipos digitales

Con el objetivo de evaluar de manera estructurada y objetiva las alternativas de diseño propuestas, se ha aplicado la Matriz de Pugh, utilizando como datum o referencia base el sistema actual de sujeción manual del torno tradicional. Este método de análisis multicriterio nos permite comparar cada diseño conceptual frente al sistema existente, considerando factores clave como eficiencia, precisión, seguridad, ergonomía, facilidad de mantenimiento, y viabilidad técnica.

El sistema actual, aunque funcional, presenta importantes limitaciones en términos de tiempos muertos, necesidad de detener la máquina para realizar ajustes, desgaste físico del operador y baja repetibilidad. Por esta razón, se utiliza como base de comparación para identificar cuánto valor agregado ofrecen las nuevas propuestas.

Criterios	Sistema Actual (Datum)	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Prototipo Final
Reducción de tiempos muertos	0	+	+	++	++
Facilidad de uso	0	-	+	++	++
Seguridad del operador	0	-	+	++	++
Estabilidad del portaherramienta	0	-	+	++	++
Innovación tecnológica	0	-	+	++	++
Requerimiento de mantenimiento	0	-	-	+	++
Ergonomía	0	-	+	++	++
Costo estimado	0	+	-	-	-

Tabla 2. Matriz de pugh datum diseño actual vs diseños elaborados Elaboración Propia

Diseño	+	-	Total
Diseño 1	2	5	-3
Diseño 2	5	2	+3
Diseño 3	7	1	+6
Prototipo Final	7	1	+6

Tabla 3 Resultados de los diseños elaborados Elaboración propia

(0): Igual que el diseño de referencia (Datum).

(+): Mejor que el Datum.

(++): Mucho mejor que el Datum.

(-): Inferior al Datum.

La matriz muestra que el Prototipo Final y el Diseño 3 son claramente superiores al sistema actual en términos de innovación, ergonomía, y eficiencia. Aunque el Prototipo tiene un costo inicial más alto, su impacto en productividad y reducción de errores justifica plenamente su implementación.

Matriz de diseños elaborados

Con base en el análisis anterior, se identificó un empate técnico entre el Diseño 3 y el Prototipo Final al aplicar la primera Matriz de Pugh, la cual utilizó como datum el sistema actual del torno tradicional. Esta situación evidenció que ambos prototipos ofrecían mejoras significativas y comparables respecto al sistema base, lo cual dificultaba determinar de manera concluyente cuál de los dos representaba la mejor opción para su implementación.

Ante este escenario, fue necesario llevar a cabo una segunda evaluación comparativa, esta vez tomando como nuevo datum el Diseño 1, considerado como el punto de partida dentro del proceso evolutivo de propuestas. El objetivo de este cambio de referencia fue analizar de forma más precisa el avance progresivo en los criterios técnicos y funcionales que cada diseño fue incorporando a lo largo del desarrollo.

Criterios	Diseño 1 (Datum)	Diseño 2	Diseño 3	Prototipo Final
Número de cavidades	8 (0)	8 (0)	6 (-)	6 (-)
Facilidad de giro	Limitado (0)	Similar (0)	360° (+)	360° (+)
Fijación y seguridad	Básico (0)	Mejor (+)	Retráctil (++)	Retráctil y reforzada (++)
Facilidad de montaje	Regular (0)	Similar (0)	Mejor (+)	Excelente (++)
Ergonomía	Baja (0)	Similar (0)	Mejor (+)	Excelente (++)
Durabilidad y robustez	Básica (0)	Mejor (+)	Mejor (+)	Superior (++)
Innovación	Baja (0)	Media (+)	Alta (++)	Muy Alta (+++)
Total, Puntuación	0	+1	+6	+9

Tabla 4 Matriz de Pugh (Datum) Elaboración propia

Gracias a esta metodología, se logró una valoración objetiva y jerárquica de los diseños, siendo el Prototipo Final el que presentó el mayor número de ventajas frente al datum (Diseño 1). Esta decisión fue respaldada por su estructura hexagonal optimizada, mecanismo de fijación retráctil con sistema poka-yoke, y capacidad de giro completo de 360 grados, lo que lo convierte en la opción más adecuada para enfrentar los retos del entorno de mecanizado actual.

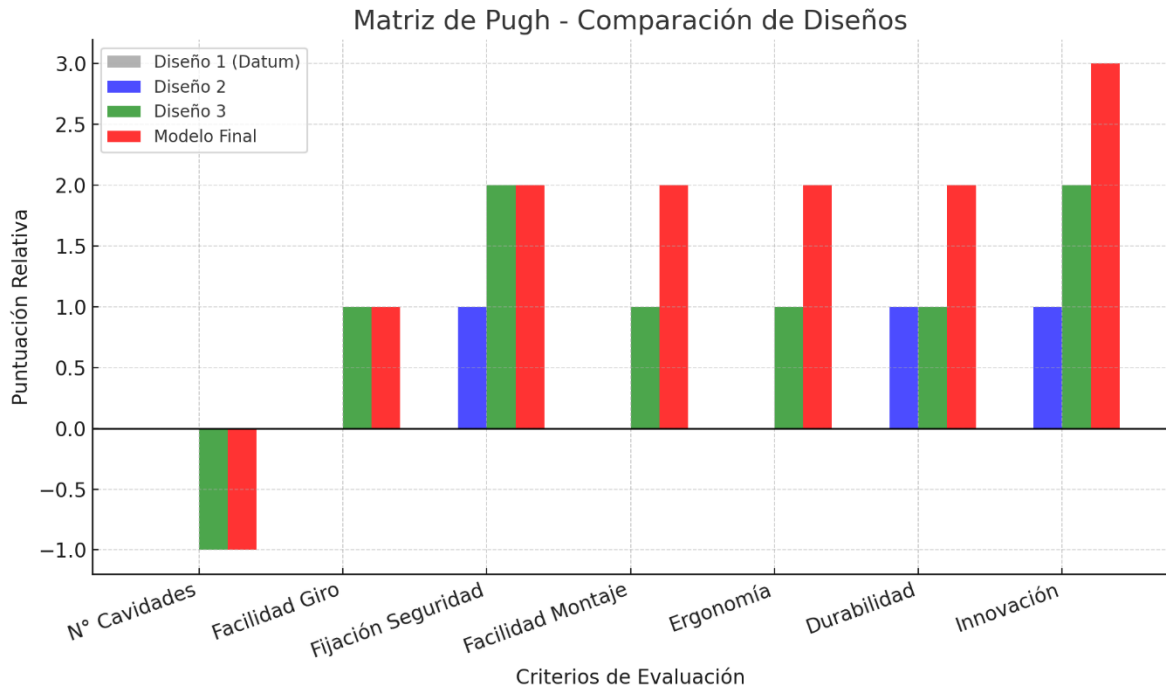


Ilustración 26 Comparación de diseños Matriz de Pugh Elaboración propia

3.2 Selección y desarrollo del sistema de sujeción propuesto

Explicación de la selección de materiales, diseño y mecanismo

El diseño del sistema requiere la selección de materiales adecuados que garanticen estabilidad, durabilidad y resistencia frente a las exigencias del proceso de mecanizado. Para la base, se recomienda el uso de hierro o acero reforzado, debido a sus propiedades de rigidez y estabilidad. Estos materiales permiten absorber las vibraciones generadas por el torno en funcionamiento, asegurando un desempeño óptimo y minimizando movimientos no deseados.

La porta portaherramienta está diseñado para fabricarse en acero, un material que ofrece la combinación ideal de resistencia mecánica y durabilidad, además de permitir una rotación fluida y segura durante las operaciones. Este material asegura que la porta portaherramienta pueda soportar el desgaste continuo y mantener su funcionalidad a largo plazo.

En el caso de las cajas de portaherramienta, se propone el uso de titanio, un material reconocido por su alta resistencia a la deformación y su rigidez estructural. Estas propiedades son fundamentales para garantizar la inmovilización efectiva del portaherramienta y para soportar las fuerzas generadas durante el proceso de corte.

Por último, el seguro del portaherramienta, encargado de mantenerlo firmemente sujeto durante el funcionamiento del torno, debe estar fabricado con un material pesado y resistente, como acero de alta densidad o hierro fundido. Esto es esencial para soportar las intensas fuerzas generadas en el mecanizado, evitando cualquier desplazamiento o daño al sistema y garantizando la seguridad operativa.

3.3 Proceso de implementación en un entorno controlado: Procedimientos para integrar el sistema en un torno.

3.3.1. Planificación y Preparación

Antes de iniciar la integración, es fundamental realizar una evaluación exhaustiva del sistema actual del torno. Esta revisión inicial permite identificar las necesidades de cambio o mejora, así como la compatibilidad de los componentes del nuevo sistema con las características del torno y las herramientas utilizadas. Se recomienda preparar la documentación técnica detallada, que debe incluir las especificaciones del sistema, diagramas de instalación, las instrucciones de seguridad y los requisitos operativos necesarios.

3.3.2. Desmontaje de Componentes Anteriores

En caso de que el sistema existente no cumpla con los requisitos del nuevo diseño, es necesario proceder con el desmontaje de los componentes previos de forma cuidadosa y segura. Esto incluye la retirada de las herramientas de corte anteriores, el sistema de porta buriles anterior y otros elementos relacionados. Se debe realizar una inspección rigurosa de las piezas retiradas para identificar cualquier componente dañado o fuera de especificación que pueda afectar la operación futura.

3.3.3. Instalación del Nuevo Sistema

Una vez completada la fase de desmontaje, se procederá con la instalación del nuevo sistema. Esto implica colocar la base del sistema optimizado sobre el soporte del torno y asegurarse de que esté correctamente fijada para evitar desplazamientos durante la operación. Para ello, se utilizarán pernos, tuercas y fijaciones especiales que garanticen una sujeción firme y estable.

A continuación, se debe proceder a alinear los componentes del sistema (como la portaherramienta y los mecanismos de sujeción del portaherramienta) para asegurar que puedan moverse de forma fluida y sin interferencias. La alineación se puede verificar utilizando herramientas de medición como calibres, comparadores y equipos de precisión.

3.3.4. Ajustes y Configuración

Una vez instalado el sistema, se deben realizar ajustes en los componentes que dependen de sistemas de presión, como los mecanismos de bloqueo o liberación del portaherramienta. El ajuste de la tensión de los resortes y los mecanismos de fijación debe ser preciso para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento.

También es necesario realizar una verificación de funcionamiento manual antes de pasar a las pruebas con carga. Se deben realizar pruebas sin carga para verificar el movimiento de los componentes y asegurarse de que todo funcione sin problemas.

3.3.5. Pruebas de Operación

Después de realizar los ajustes iniciales, es necesario proceder con las pruebas de operación. Estas pruebas deben llevarse a cabo en dos etapas: primero sin carga, para observar el comportamiento general del sistema y la rotación de la porta portaherramienta, y luego con carga, realizando cortes reales para verificar la capacidad del sistema para sujetar los portaherramienta de manera segura y eficiente.

Durante estas pruebas, es importante observar posibles fallos en el sistema de fijación, la estabilidad de los componentes y la calidad de la pieza de trabajo. Los resultados de estas pruebas servirán para determinar si es necesario realizar ajustes adicionales.

3.3.6. Documentación y Capacitación

Una vez que el sistema ha sido integrado y probado con éxito, es fundamental documentar todos los parámetros operativos, las configuraciones de la máquina y los resultados obtenidos durante las pruebas. Esta documentación servirá como base para futuras revisiones y para el mantenimiento del sistema.

Además, se debe llevar a cabo una capacitación adecuada para los operadores del torno, con el fin de familiarizarlos con el funcionamiento del nuevo sistema y las mejores prácticas de operación y mantenimiento. Esto garantiza que los operadores tengan un conocimiento integral del sistema y puedan manejarlo de forma eficiente y segura.

3.3.7. Mantenimiento y Seguimiento

Es esencial establecer un programa de mantenimiento preventivo para asegurar que el sistema siga funcionando de manera óptima. Esto incluye la inspección periódica de los componentes del sistema, la lubricación de las partes móviles y la revisión de los mecanismos de sujeción.

El monitoreo continuo durante las primeras operaciones es clave para identificar cualquier anomalía que pueda requerir ajustes en el sistema. Asimismo, se debe mantener un registro detallado del rendimiento del sistema y las posibles áreas de mejora.

3.3.8. Evaluación de Resultados

Finalmente, es crucial medir y evaluar los resultados de la integración del sistema. Esto se puede hacer a través de la recopilación de datos sobre la productividad, el tiempo de inactividad, la calidad de las piezas producidas y la eficiencia operativa. Comparar estas métricas con los resultados obtenidos antes de la integración permitirá evaluar el impacto del nuevo sistema en la mejora de la eficiencia y la reducción de tiempos muertos en la operación.

3.4 Medición y análisis de datos: Métodos y herramientas para medir los resultados de la optimización.

Para medir los resultados de la optimización del Prototipo Digital de la porta portaherramienta en el torno, es fundamental aplicar métodos y herramientas que evalúen tanto el desempeño operativo como los beneficios logrados. A continuación, se detallan las principales estrategias:

3.4.1. Análisis de tiempos y eficiencia

- Método de cronometraje: Registrar los tiempos necesarios para cambiar y ajustar los portaherramienta antes y después de implementar el nuevo prototipo digital. Esto permite comparar directamente los tiempos muertos eliminados.
- Cálculo del tiempo promedio por operación: Medir cuánto tiempo se ahorra en cada operación de montaje y desmontaje de herramientas.
- Indicadores clave de desempeño (KPIs):
- Tiempo de configuración (Setup Time).
- Utilización de la máquina (% de tiempo operativo frente al tiempo total disponible).

3.4.2. Evaluación de la calidad del mecanizado

- Tolerancias dimensionales: Usar instrumentos como micrómetros y calibradores para verificar que el trabajo realizado con el nuevo sistema mantiene o mejora las especificaciones de diseño.
- Acabado superficial: Comparar la rugosidad del acabado entre piezas mecanizadas antes y después de implementar el prototipo digital.

3.4.3. Medición de la productividad

- Cantidad de piezas producidas por unidad de tiempo: Registrar la producción diaria o por turno para evaluar el impacto del prototipo digital en la eficiencia global.
- Reducción de rechazos: Analizar si el nuevo prototipo digital contribuye a disminuir piezas defectuosas debido a problemas de ajuste o sujeción.

3.4.4. Análisis de seguridad y ergonomía

- Reducción de riesgos: Llevar un registro de incidentes o accidentes antes y después de implementar el prototipo digital.

3.4.5. Simulación y modelado

- Simulación computacional: Usar software de simulación como ANSYS o SolidWorks para verificar la efectividad del diseño y prever comportamientos bajo diferentes condiciones de trabajo.
- Análisis de puntos críticos: Identificar mediante simulación si existen áreas en el prototipo digital que pueden generar limitaciones en su desempeño.

Herramientas clave

- Instrumentos de medición: Micrómetros, calibradores, rugosímetros y relojes comparadores.
- Software: Excel para análisis de datos, simuladores CAD/CAM para evaluación de diseño, y software de gestión para monitorear la productividad.
- Listas de verificación: Para evaluar la ergonomía y seguridad del prototipo digital en la operación diaria.
- Implementar estas herramientas y métodos permitirá no solo validar la eficacia del prototipo digital optimizado, sino también identificar oportunidades de mejora continua.

Capítulo 4: Desarrollo del Sistema de Sujeción

4.1 Diseño del sistema de sujeción: Modelado del sistema, incluyendo planos y características técnicas.

El sistema de sujeción desarrollado en esta investigación corresponde a una porta-herramienta es giratorio de geometría hexagonal, diseñado con el objetivo de optimizar el cambio de herramientas en el torno, reducir tiempos muertos y mejorar la ergonomía del operador. Su concepción se fundamentó en principios de reingeniería de procesos, donde se buscó integrar robustez, seguridad y versatilidad en un solo dispositivo.

1. Geometría Hexagonal

- El porta-herramientas está diseñado a partir de un cuerpo hexagonal, que integra seis cavidades mecanizadas de forma simétrica a 60°.
- Cada cavidad está dimensionada para alojar un porta-herramientas estándar de ½ pulgada, permitiendo la instalación rápida y el cambio inmediato sin detener la máquina.
- El diseño hexagonal permite disponer hasta seis herramientas en un solo montaje, optimizando el espacio y reduciendo los tiempos de preparación del torno.

Distribución de Herramientas por Cavidad

El prototipo contempla la integración de los siguientes porta-herramientas:

- ✚ 2 porta-herramientas derechos de ½”
 - Uno para desbaste
 - Uno para acabado
- ✚ 1 porta-herramientas izquierdo de ½”
- ✚ 1 porta-herramientas neutro de ½”
- ✚ 1 porta-herramientas de roscado de ½”
- ✚ 1 porta-herramientas de tronzado de ½”

2. Sistema Giratorio:

- La porta herramientas puede girar 360° sobre su eje central, facilitando el acceso inmediato a cada herramienta.
- El giro es controlado por un perno guía y un rodamiento, lo que asegura suavidad en el movimiento y precisión en el posicionamiento.

3. Mecanismo de Sujeción Poka-Yoke:

- Se integra un sistema de seguridad mediante seguros retráctiles con resorte, que bloquean automáticamente el portaherramienta en su cavidad asignada.
- Este mecanismo evita errores de montaje y garantiza que el portaherramienta quede firmemente fijado antes de iniciar la operación.

4. Fijación del porta herramienta:

- Cada cavidad cuenta con un tornillo de aseguramiento que atraviesa la abrazadera y bloquea la caja del porta herramienta.

- La fijación doble (seguro retráctil + tornillo) elimina vibraciones y desplazamientos indeseados durante el mecanizado.
5. Base de Apoyo y Giro:
- El sistema está montado sobre una base rectangular con terminación semicircular, diseñada para soportar cargas elevadas sin comprometer la estabilidad.
 - El acoplamiento entre la base y el cuerpo hexagonal se realiza mediante un círculo guía mecanizado con tolerancias precisas, lo que permite un acople firme y un giro alineado.

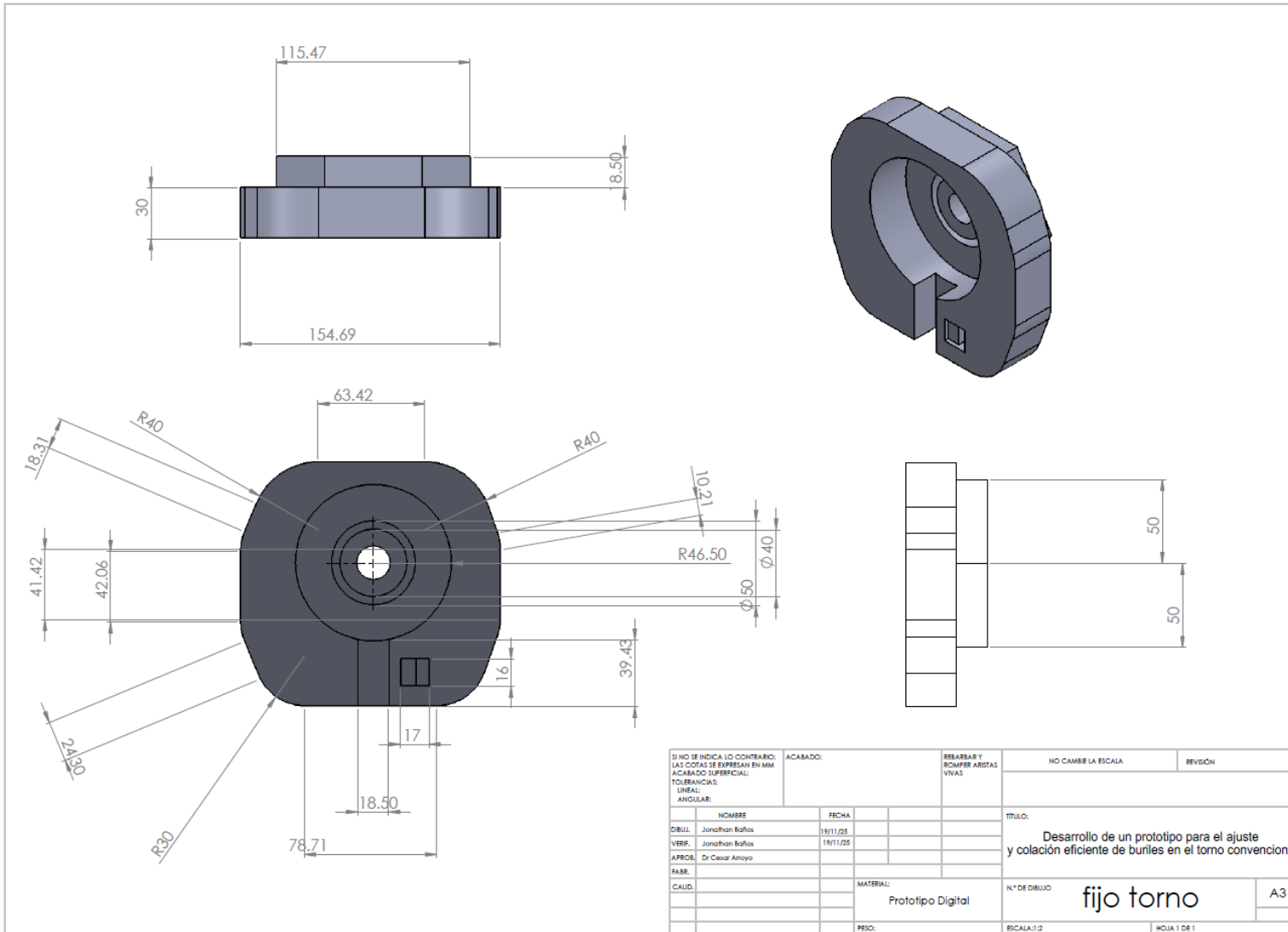
Funcionamiento del Prototipo Digital

El funcionamiento del sistema sigue una secuencia sencilla y ergonómica:

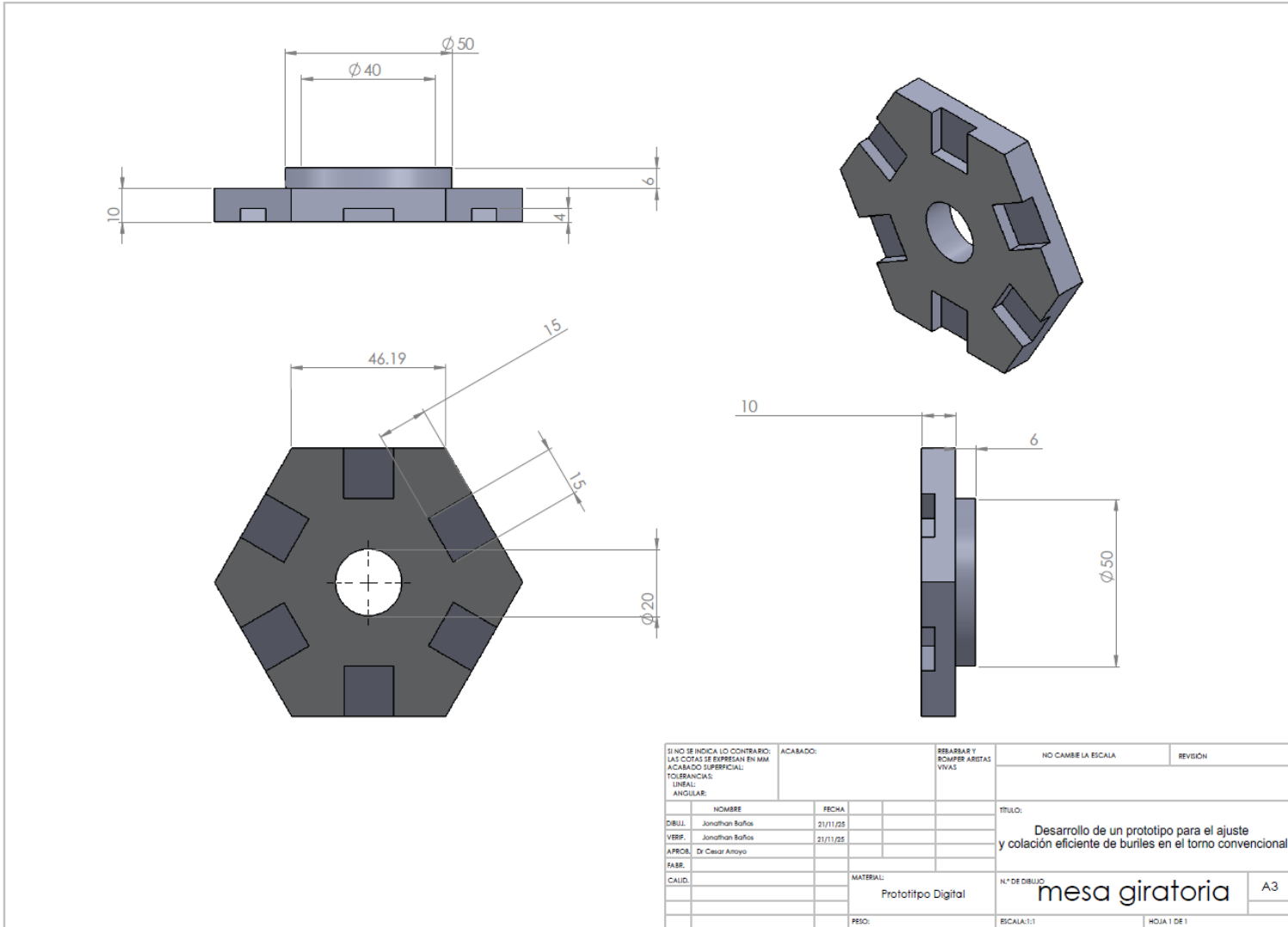
1. Montaje de Herramientas: el operador inserta los porta herramientas en las cavidades asignadas, asegurándolos mediante el tornillo y el sistema poka-yoke.
2. Selección de Herramienta: al girar el cuerpo hexagonal, se posiciona la cavidad correspondiente frente al punto de mecanizado.
3. Bloqueo Automático: el seguro retráctil acciona los brazos de fijación, inmovilizando el portaherramientas en su posición.
4. Operación de Mecanizado: el torno funciona sin interrupciones, garantizando precisión y estabilidad en la herramienta activa.
5. Cambio de Herramienta: una vez concluida la operación, el operador desbloquea el sistema, gira la base hexagonal hasta la siguiente cavidad y repite el proceso sin necesidad de detener la máquina.

Ventajas Clave del Prototipo Digital

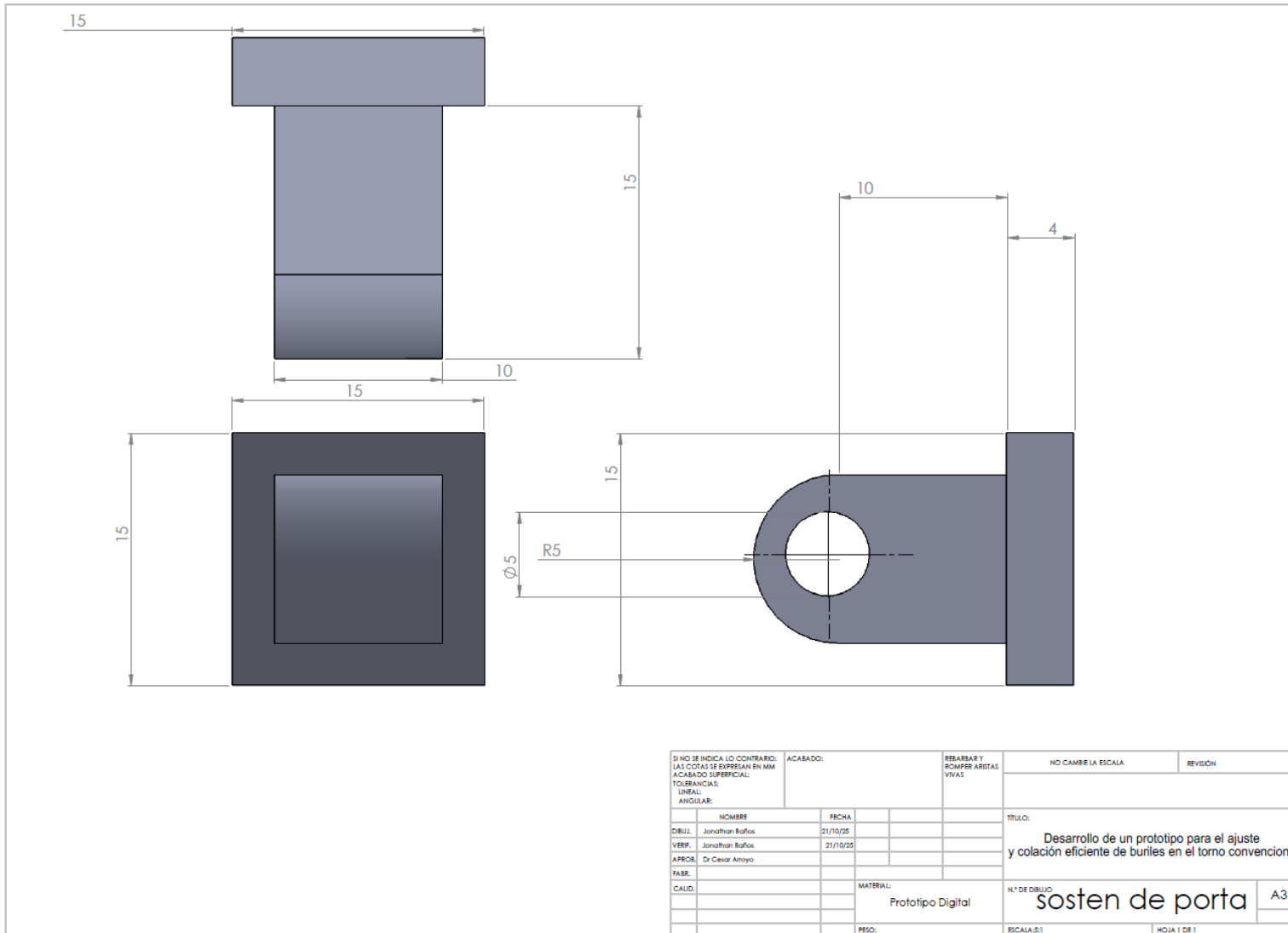
- Reducción significativa de tiempos muertos en el ajuste de herramientas.
- Mayor seguridad gracias al sistema poka-yoke que evita errores de montaje.
- Robustez estructural, que permite trabajar bajo condiciones de carga y vibración elevadas.
- Versatilidad, al poder alojar múltiples herramientas en un mismo dispositivo.
- Optimización del espacio mediante la cavidad de almacenamiento adicional.



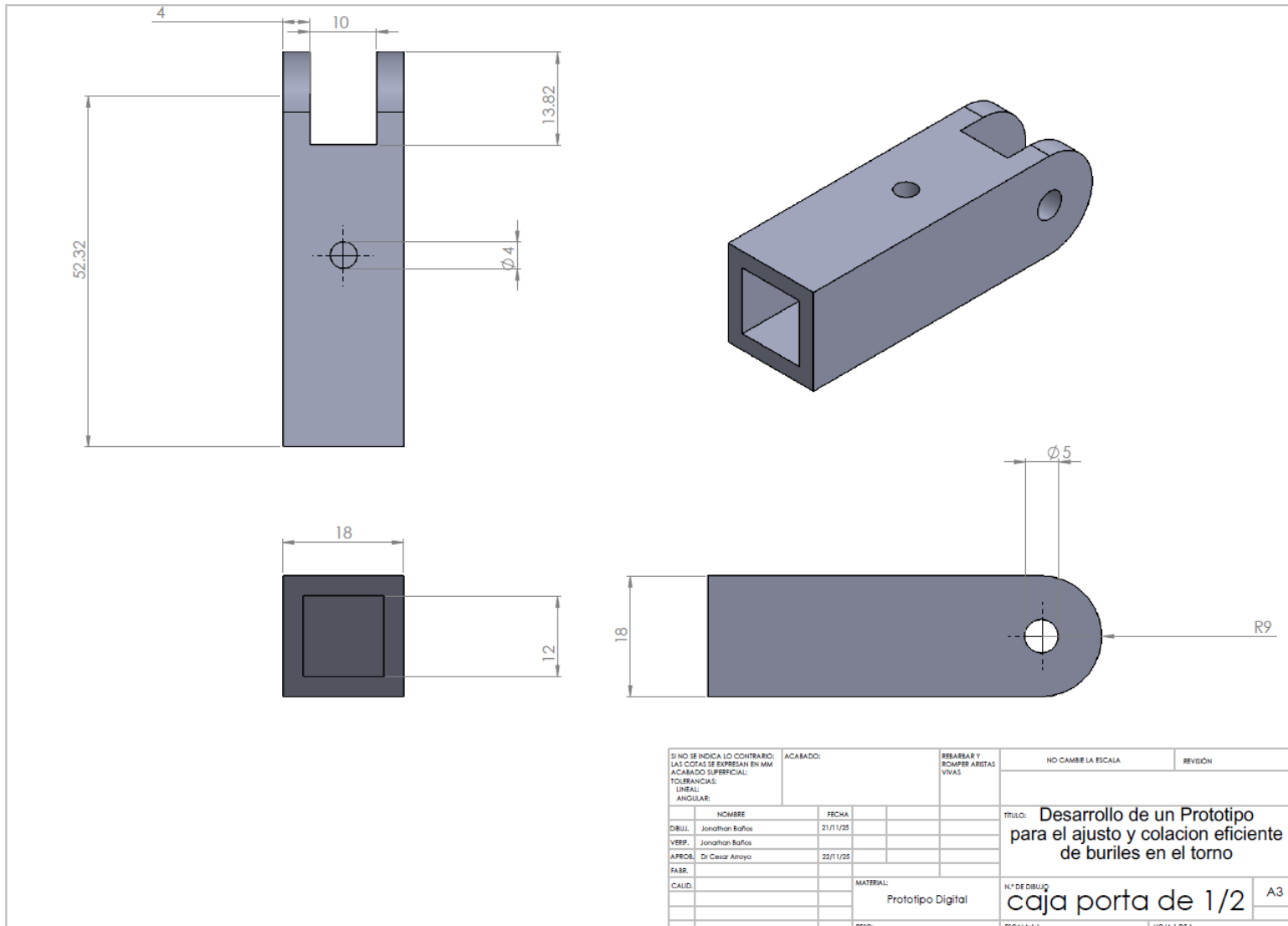
Plano 1 Base Jonathan Elaboración propia



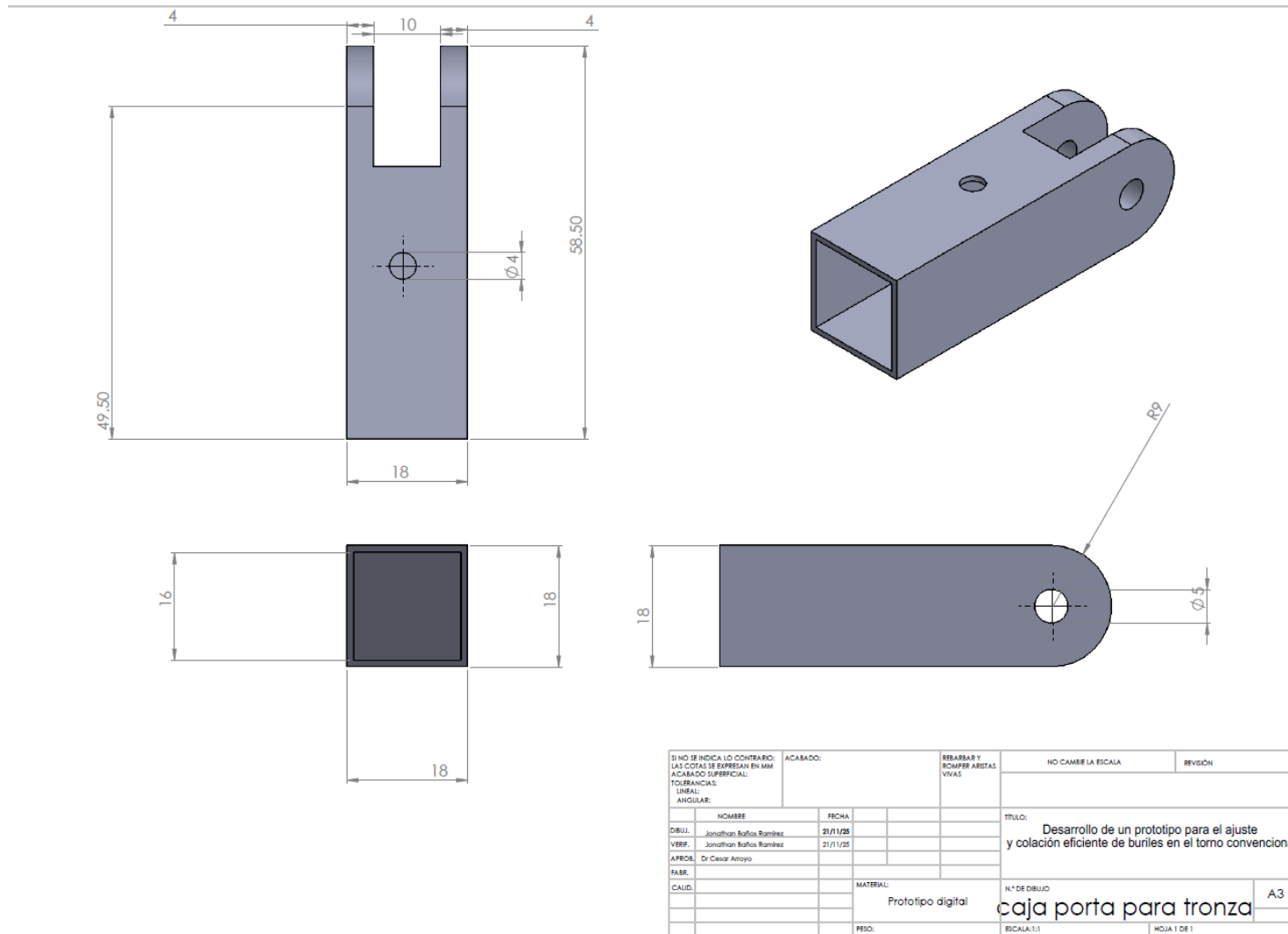
Plano 2 Base giratoria Elaboración Propia



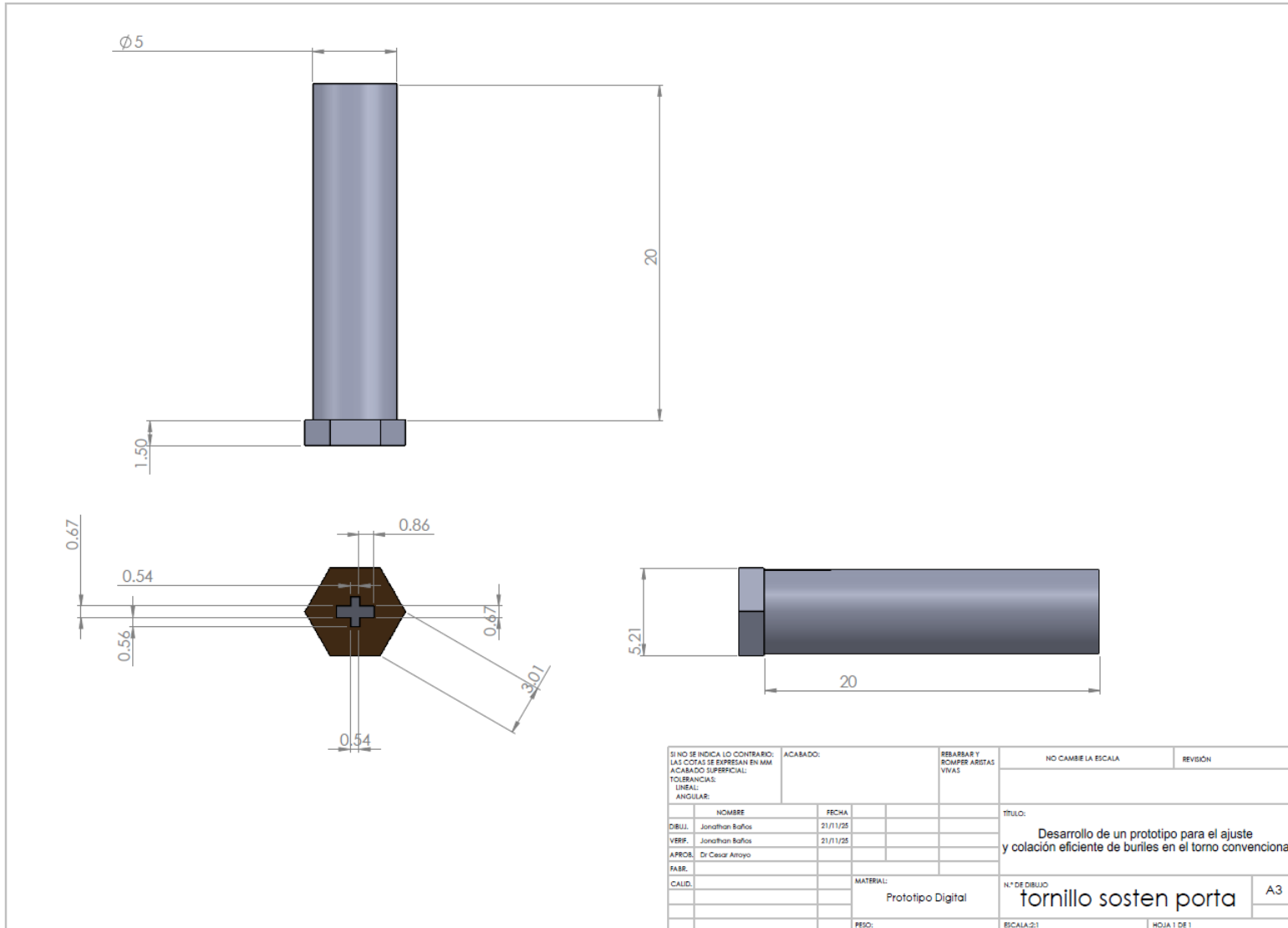
Plano 3 Pieza unión con porta herramienta Elaboración Propia



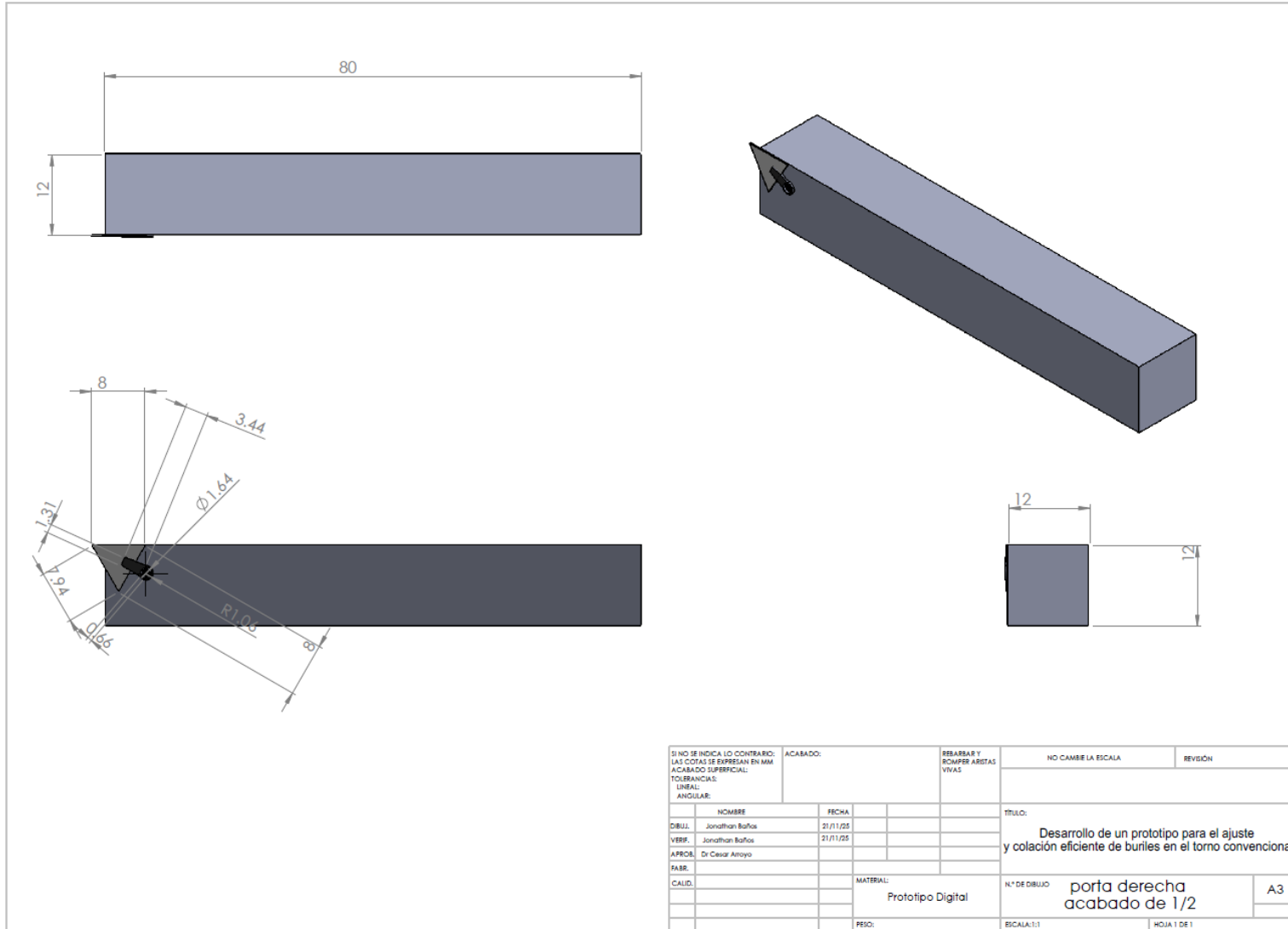
Plano 4 Caja portaherramientas de 1/2 pulg. Elaboración Propia



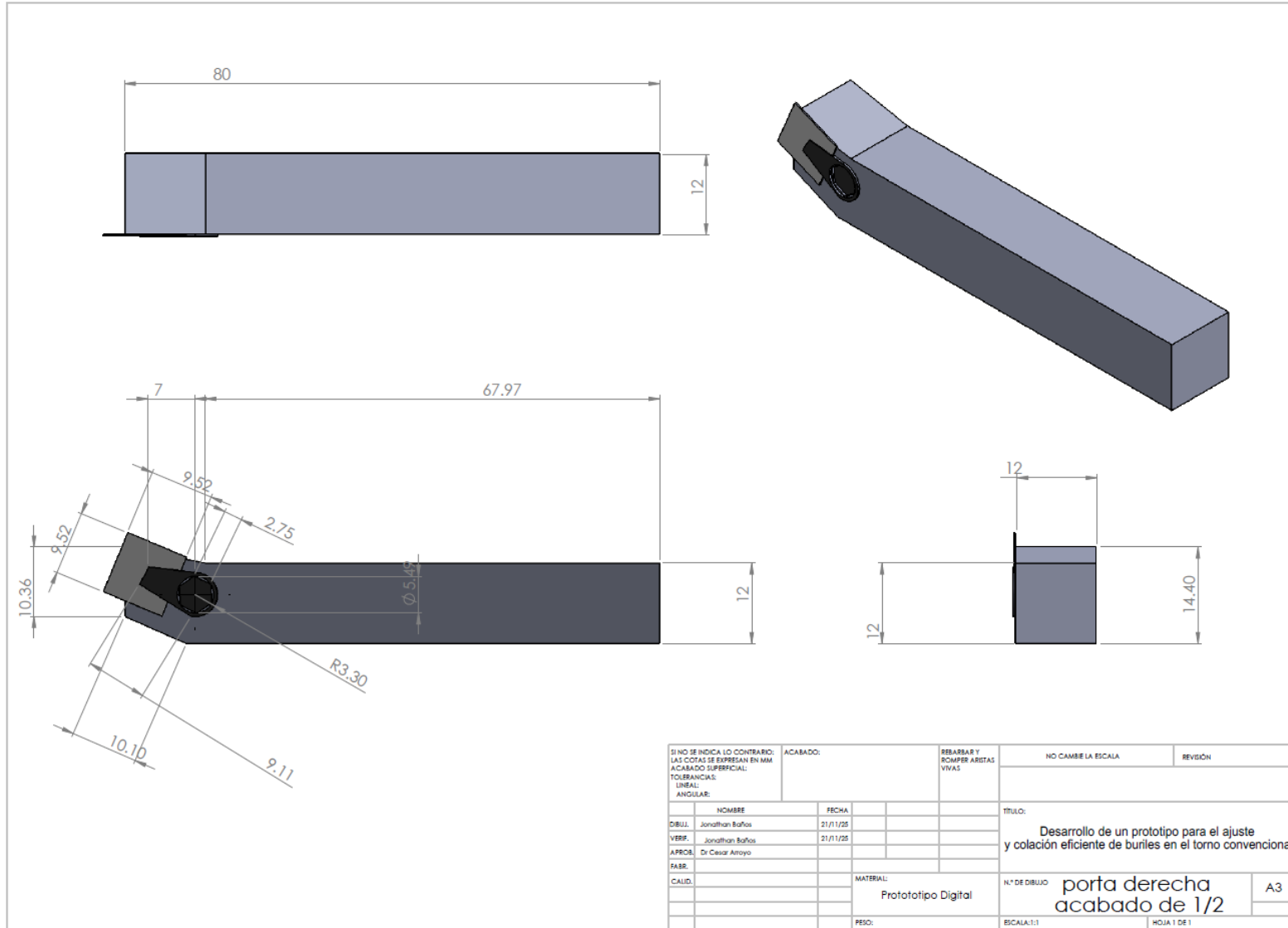
Plano 5 Caja porta herramienta para tronza Elaboración Propia



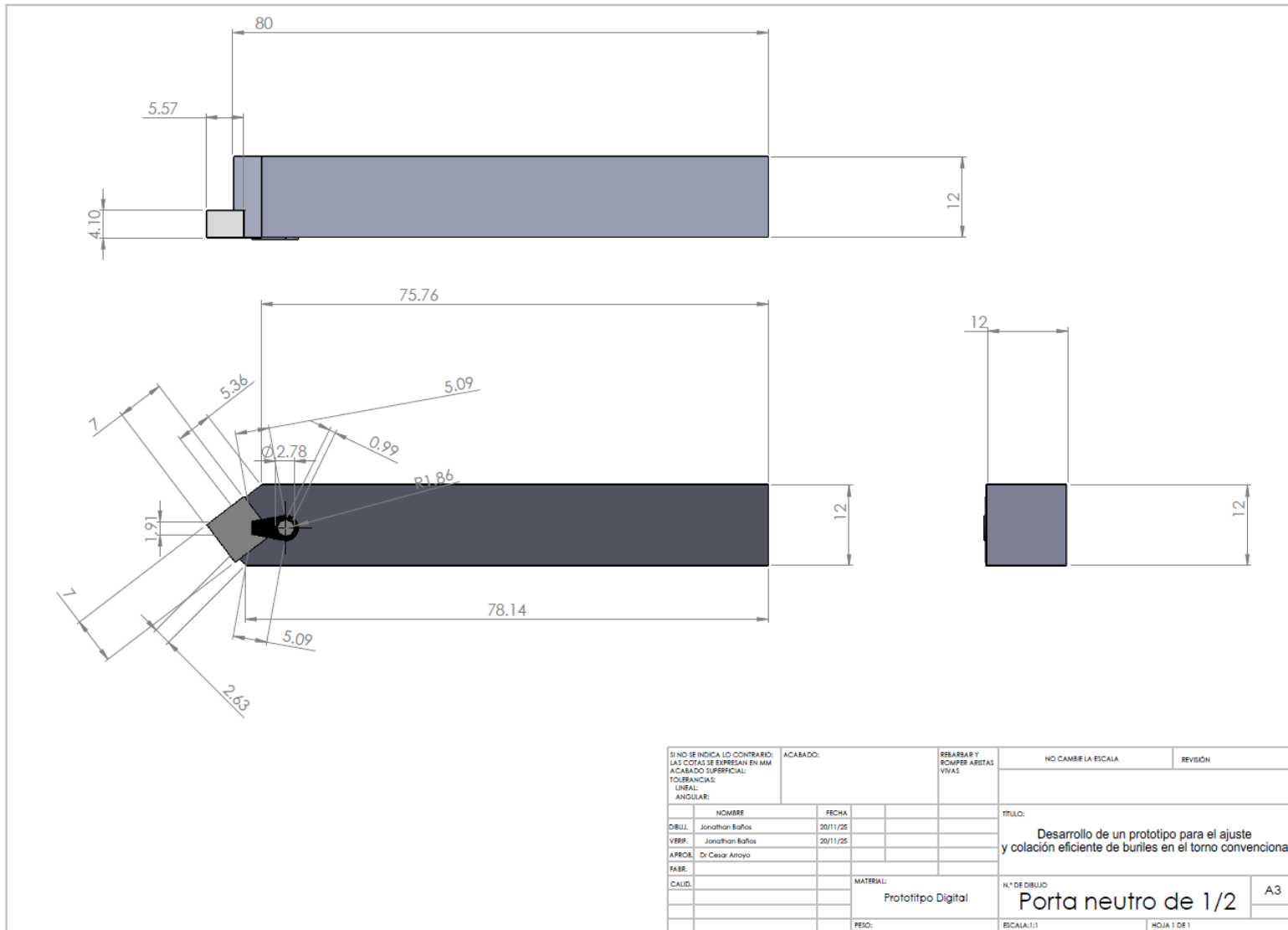
Plano 6 Perno ensamble de porta herramientay pieza de unión Elaboración Propia



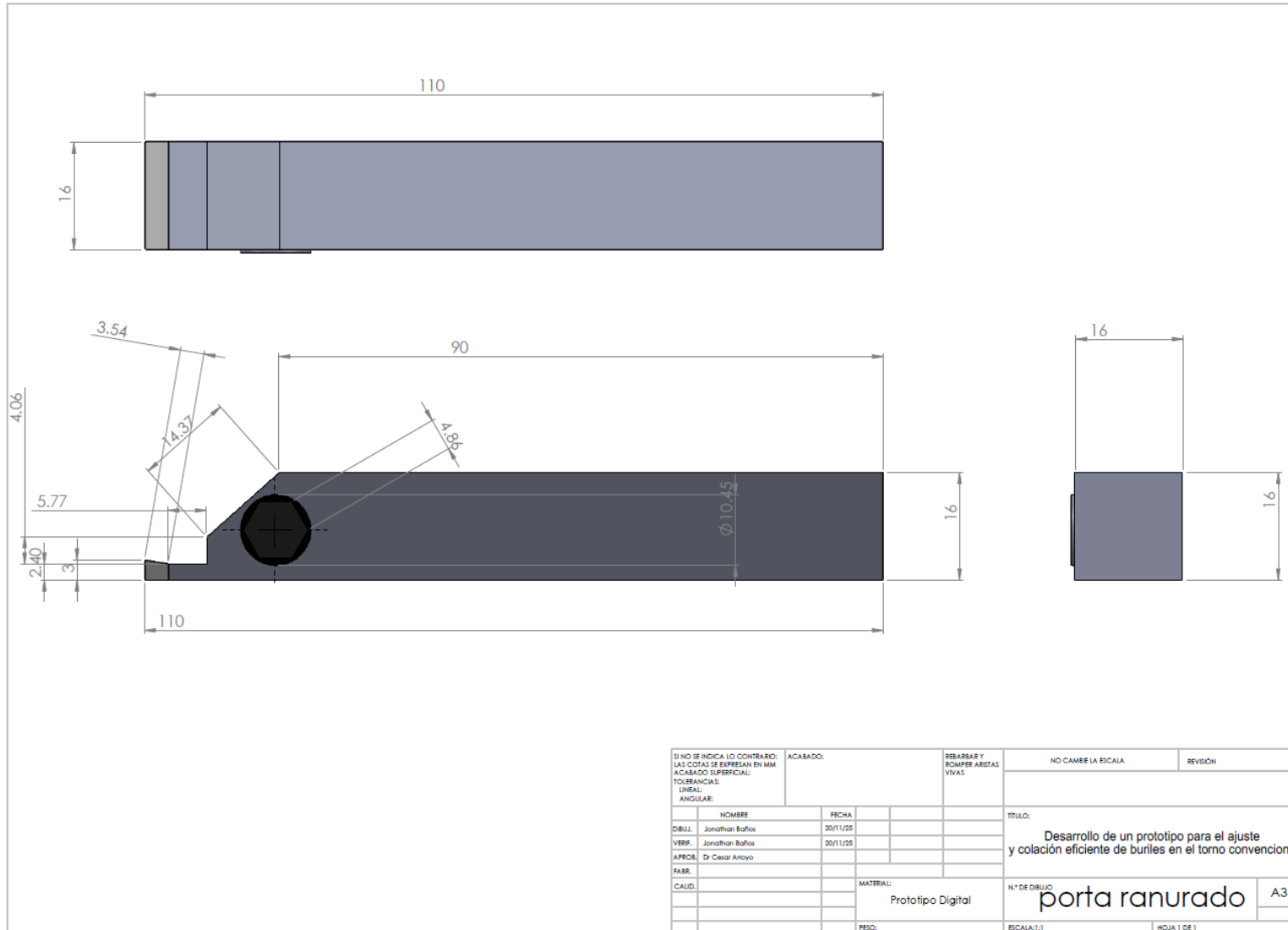
Plano 7 Portaherramienta derecha acabado de 1/2 pulg. Elaboración Propia



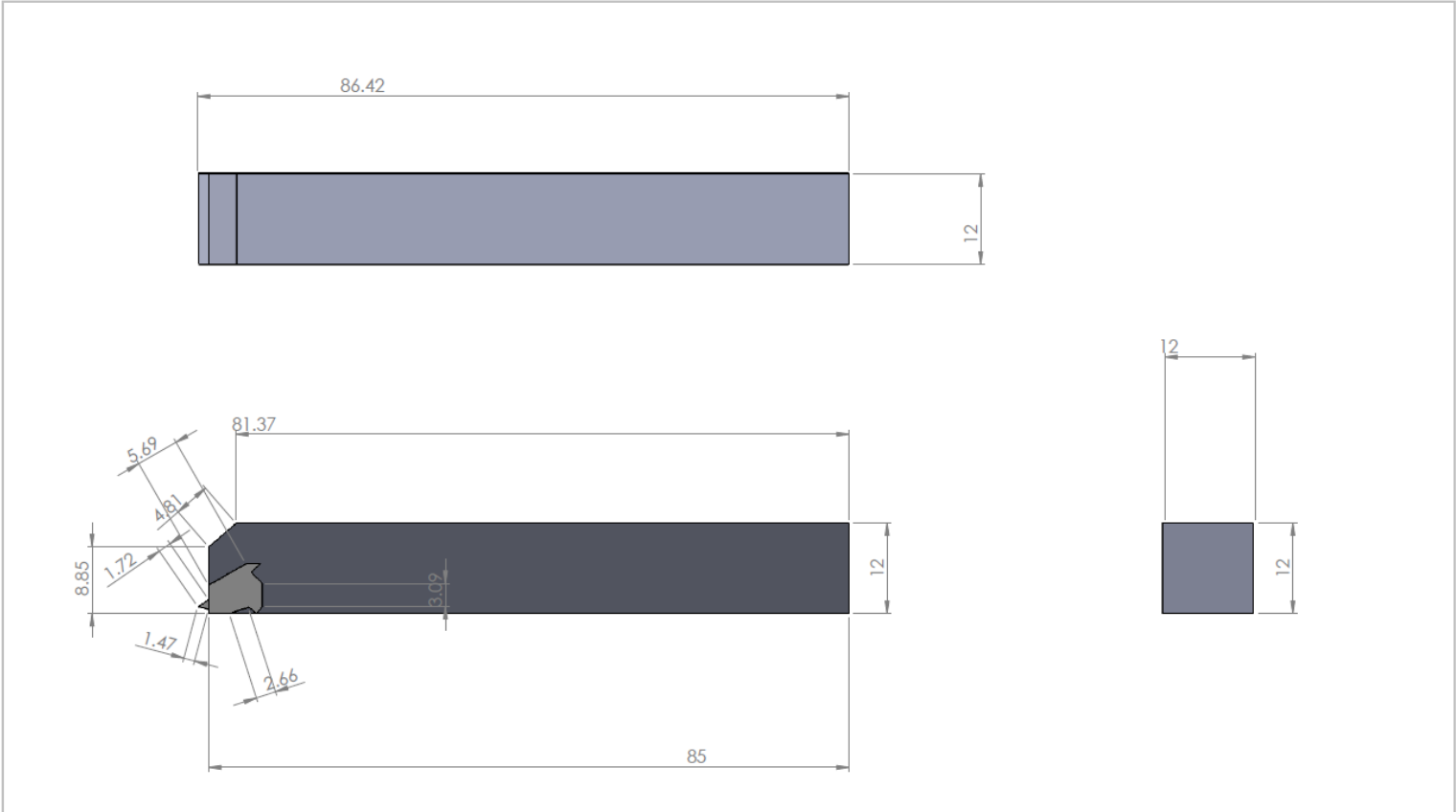
Plano 8 Portaherramienta derecha acabado de 1/2 pulg Elaboración Propia



Plano 9 Portaherramienta neutro de 1/2 pulg. Elaboración Propia

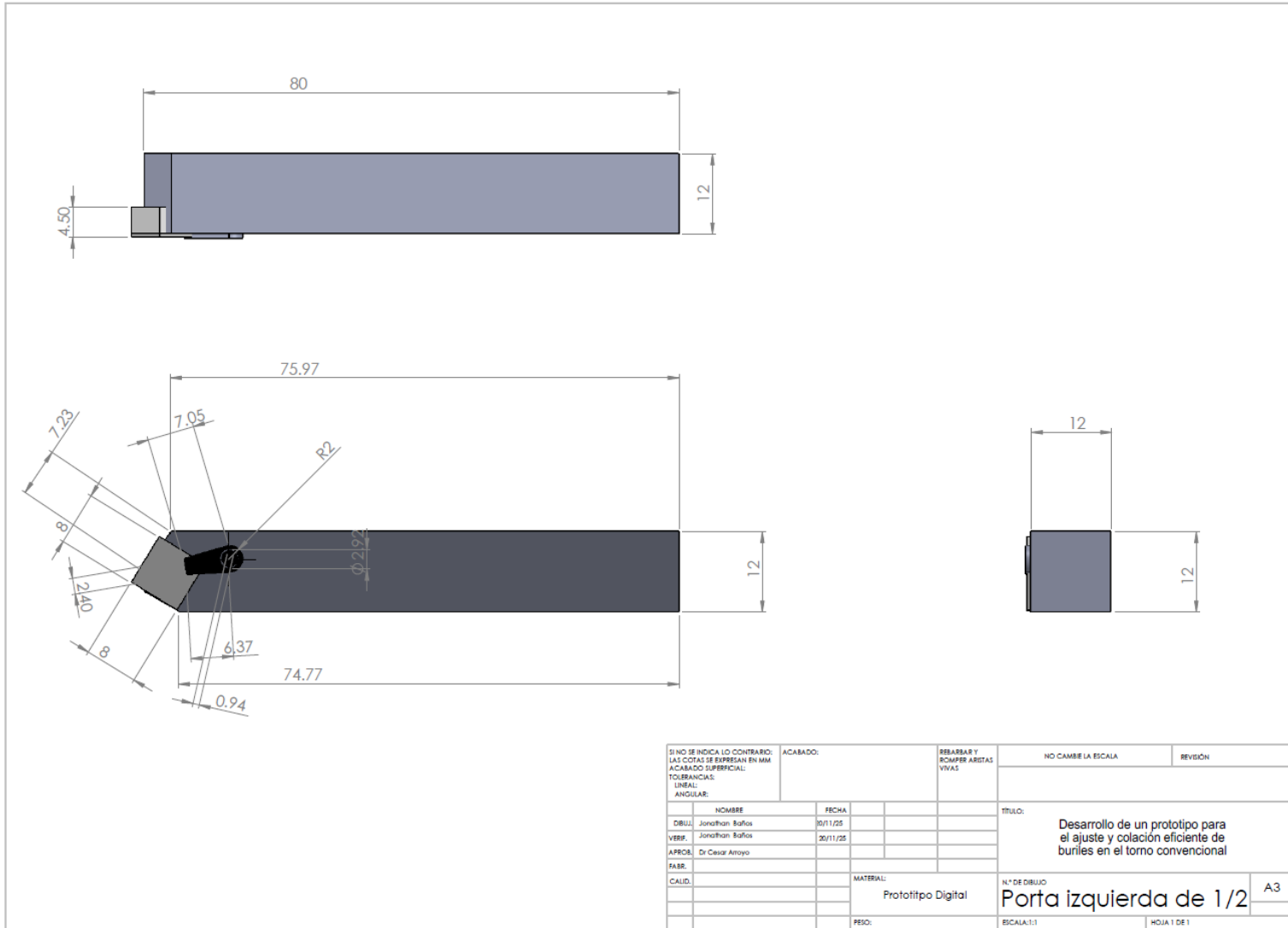


Plano 10 Portaherramienta ranurado Elaboración Propia



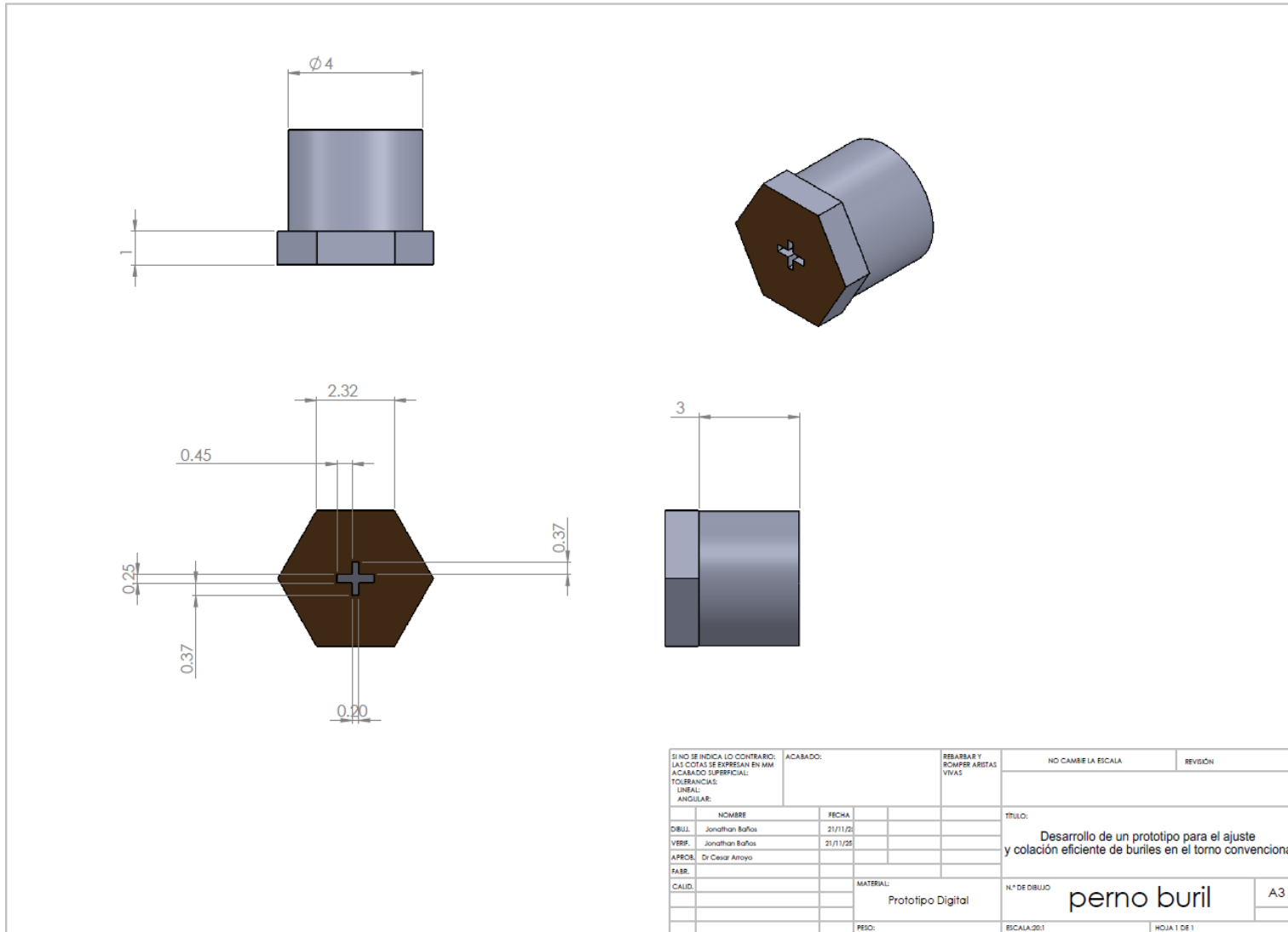
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL:		ACABADO:	REBARBAR Y ECUAPER ARISTAS VIVAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:						
NOMBRE		FECHA	TÍTULO:			
DIBUJ. Jonathan Baños		20/11/25	Desarrollo de un prototipo para el ajuste y colación eficiente de buriles en el torno convencional			
VERIF. Jonathan Baños		20/11/25				
APROB. Dr Cesar Arroyo						
FABR.						
CALID.			MATERIAL:		Nº DE DIBUJO	A3
			Prototipo Digital		Porta roscado de 1/2	
			PESO:		ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1

Plano 11 Portaherramienta de roscado 1/2 pulg Elaboración Propia

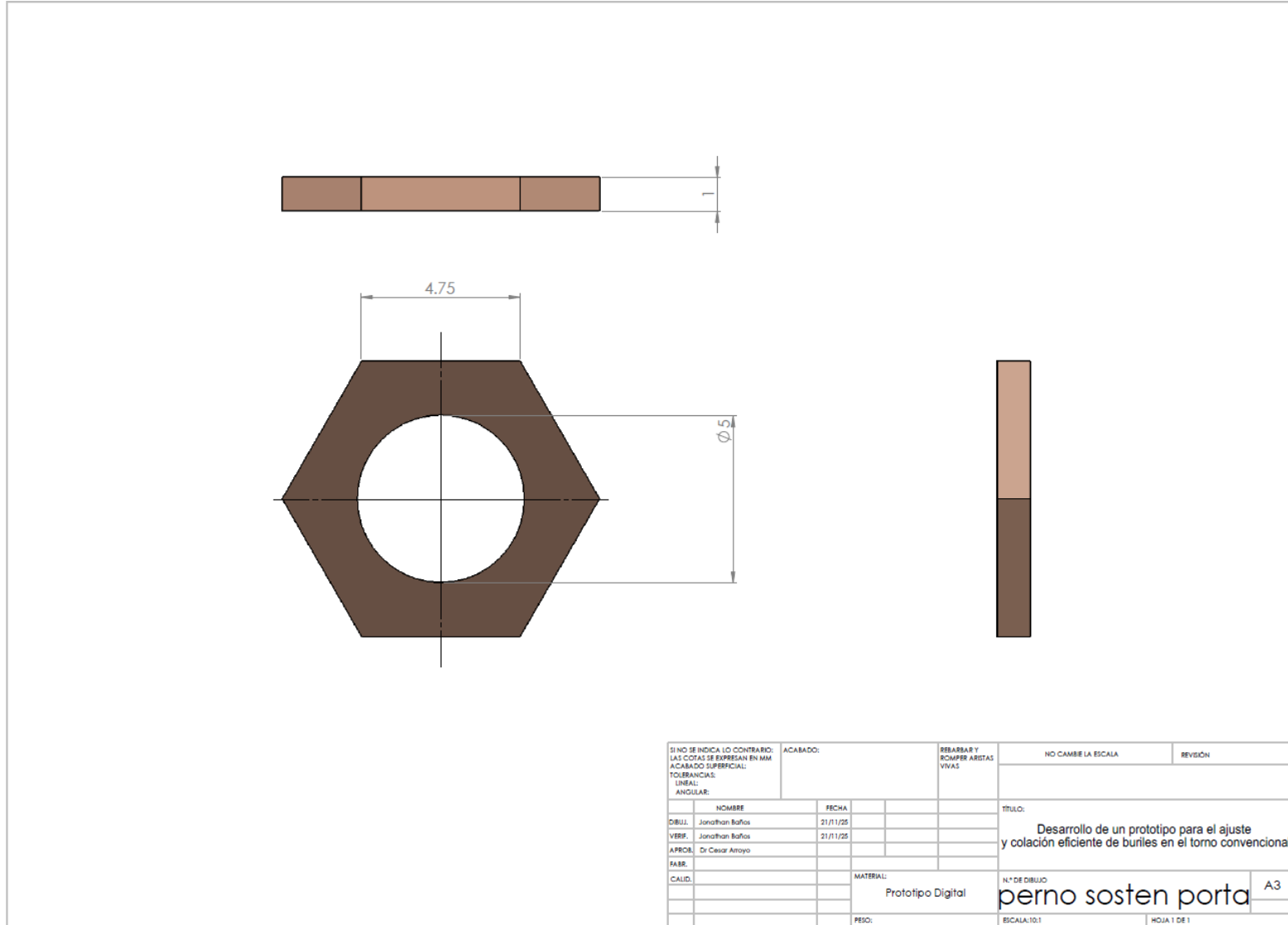


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FECHA		TÍTULO:	
DBUJ:	Jonathan Baños	30/11/25		Desarrollo de un prototipo para el ajuste y colación eficiente de buriles en el torno convencional	
VERIF:	Jonathan Baños	30/11/25			
APROB:	Dr Cesar Arroyo				
FABR:					
CAUD:			MATERIAL: Prototipo Digital	Nº DE DIBUJO: Porta izquierda de 1/2	A3
			PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 1 DE 1

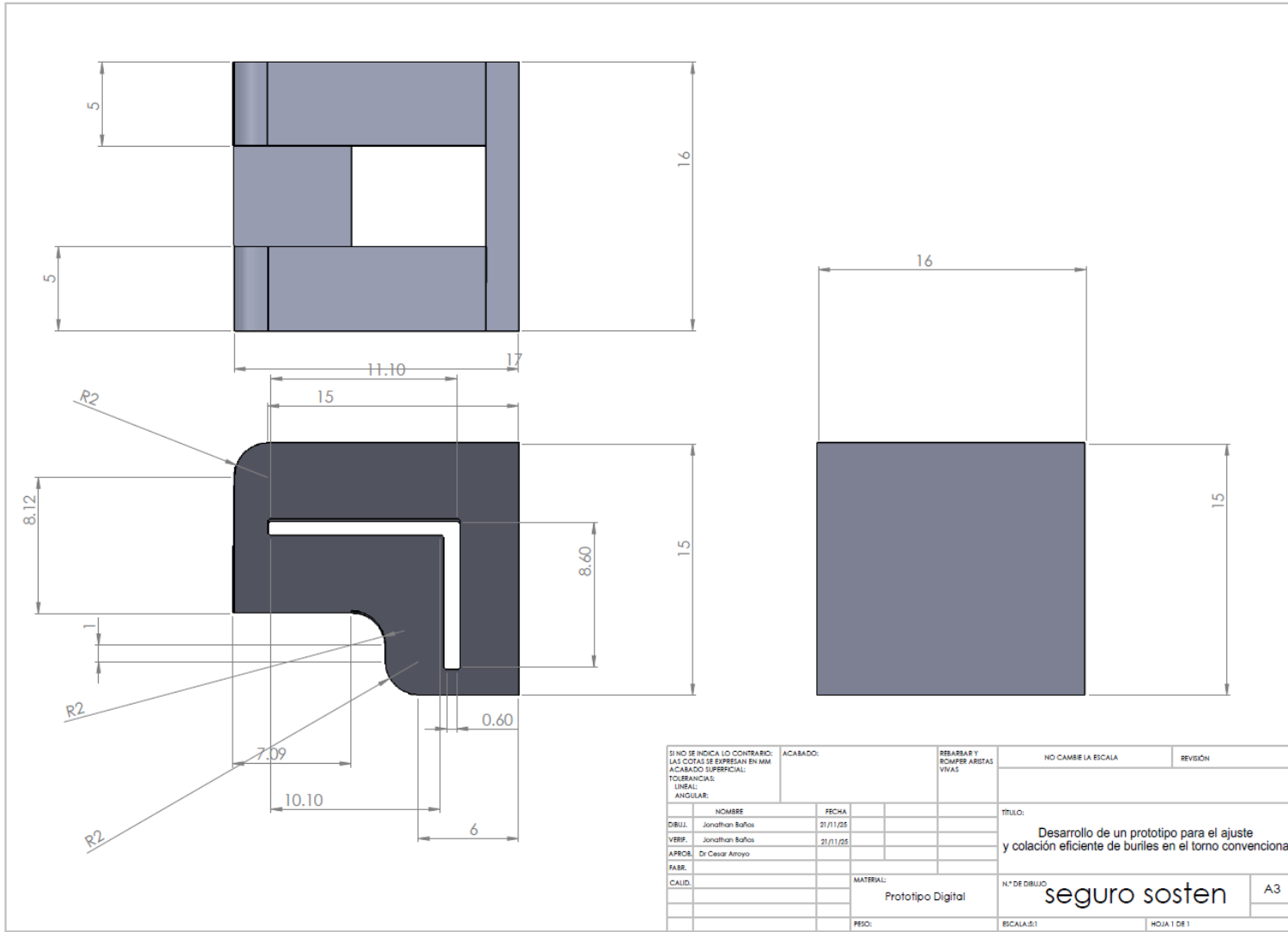
Plano 12 Portaherramienta izquierda de 1/2 pulg, Elaboración Propia



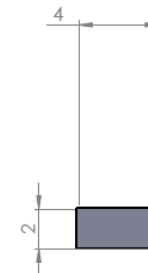
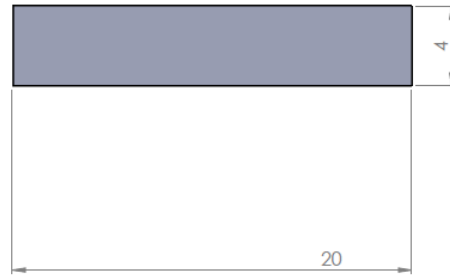
Plano 13 Tornillo de ajuste de porta herramienta Elaboración Propia



Plano 14 Ronda de tuerca abrazadera de porta herramienta Elaboración Propia

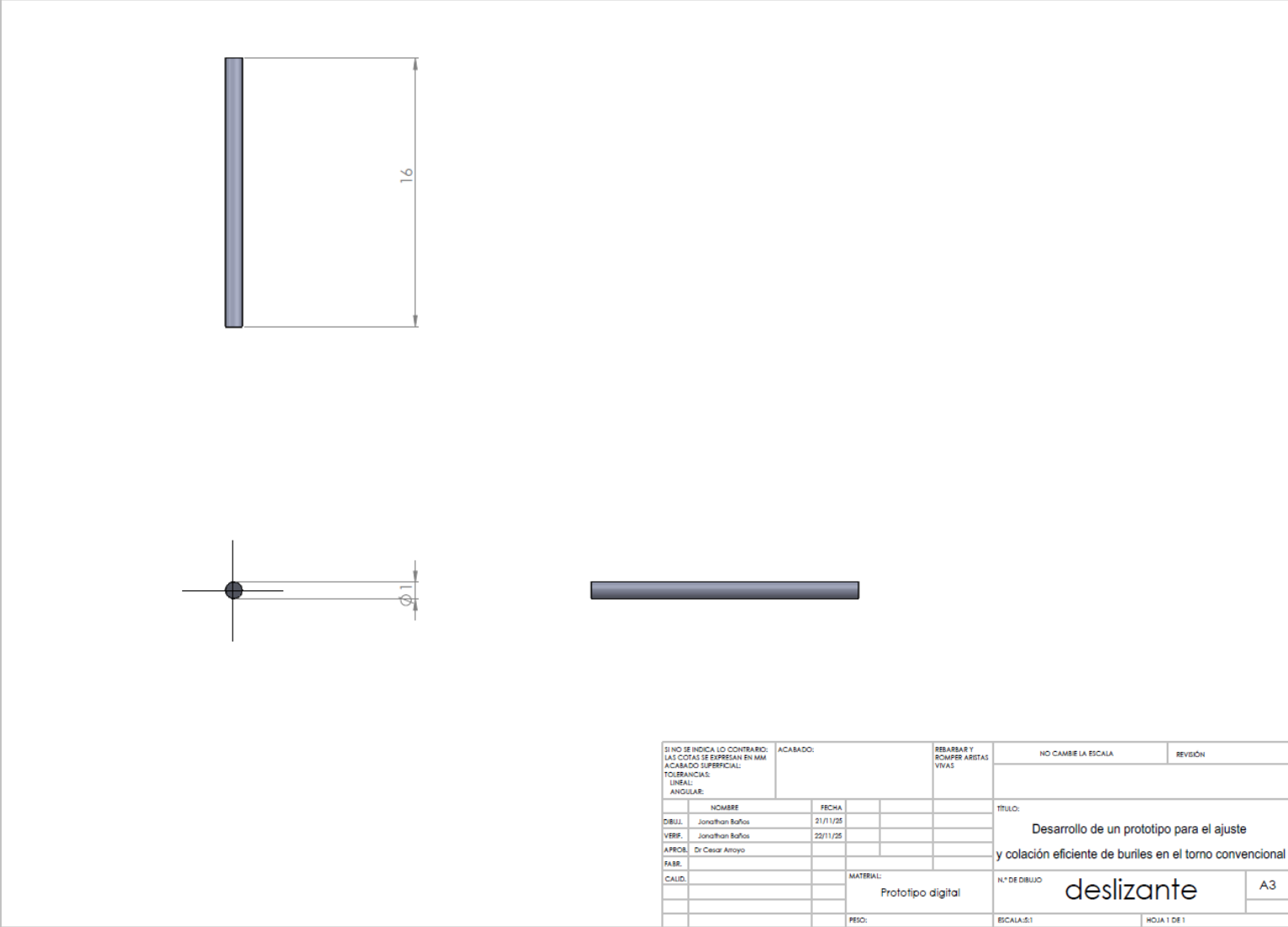


Plano 15 Guarda Seguro de porta herramienta Elaboración Propia



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ: Jonathan Baños		21/11/25	Desarrollo de un prototipo para el ajuste y colación eficiente de buñiles en el torno convencional		
VERIF: Jonathan Baños		21/11/25			
APROB: Dr Cesar Arroyo					
FABR:			MATERIAL:		
CALID:			Prototipo Digital		
			N.º DE DIBUJO		A3
			ESCALA:1		HOJA 1 DE 1
			PESO:		

Plano 16 Seguro de porta herramienta Elaboración Propia



Plano 17 Guía Cilíndrica de seguro de porta herramienta Elaboración Propia

Capítulo 5: Resultados y Discusión

5.1 Comparación con sistemas tradicionales: Análisis de beneficios y limitaciones respecto a métodos previos.

Análisis de Beneficios y Limitaciones Respecto a Métodos Previos del Prototipo Digital

La implementación de una porta herramientas giratorio en el torno busca optimizar la eficiencia operativa y minimizar tiempos improductivos en los procesos de mecanizado. Este análisis técnico compara los beneficios y limitaciones del prototipo digital propuesto frente a los sistemas convencionales, evaluando su impacto en la productividad, precisión, seguridad y mantenimiento.

5.1.1. Beneficios del Prototipo digital Propuesto

El prototipo digital propuesto, basado en un sistema de porta herramientas giratorio hexagonal, representa una innovación significativa frente a los sistemas tradicionales de sujeción y cambio de herramientas en tornos convencionales. Su diseño optimiza los tiempos de operación, mejora la precisión del mecanizado y reduce los costos asociados a la ineficiencia operativa. Además, incorpora elementos de seguridad y ergonomía que favorecen el desempeño del operador, garantizando un proceso continuo, confiable y con menor riesgo de error humano.

El prototipo digital se distingue por su estructura modular y giratoria, que permite alojar múltiples porta herramientas en una misma base, facilitando el cambio de herramienta sin detener el torno. Esto genera un impacto positivo directo en la productividad, la calidad del producto final y la reducción de costos a corto y largo plazo.

5.1.1.1. Reducción de Tiempos Improductivos

Los métodos tradicionales requieren el desmontaje manual de los portaherramienta, lo que genera tiempos improductivos significativos. La incorporación de la porta herramientas giratorio permite realizar cambios de herramienta de forma inmediata, optimizando el flujo de trabajo y reduciendo tiempos muertos en la operación del torno.

5.1.1.2. Incremento en la Productividad y Continuidad Operativa

El diseño hexagonal del sistema permite alojar hasta seis herramientas de corte, facilitando la selección del porta herramienta sin necesidad de detener la máquina. Esto incrementa la capacidad de producción y mejora la continuidad del proceso, minimizando interrupciones y optimizando el rendimiento del equipo.

5.1.1.3. Mejora en la Ergonomía y Reducción del Esfuerzo Operativo

El nuevo diseño permite realizar cambios de herramienta de manera más ágil y segura, reduciendo la carga física del operador. La incorporación de un mecanismo de bloqueo automático mejora la ergonomía del sistema y reduce la posibilidad de errores humanos en la sujeción de los porta herramienta.

5.1.1.4. Aseguramiento de la Precisión y Calidad en el Mecanizado

El sistema incorpora un mecanismo de fijación basado en pernos y resortes de alta resistencia, que garantiza una sujeción estable y minimiza las vibraciones durante el proceso de mecanizado. Esto se traduce en una mayor precisión dimensional en las piezas fabricadas y en una reducción del desgaste de los portaherramienta.

5.1.1.5. Aplicación del Principio Poka-Yoke para Seguridad Operativa

El diseño de la porta portaherramienta integra un mecanismo de bloqueo automático, basado en el principio poka-yoke, que impide el montaje incorrecto de los portaherramienta. Este sistema de seguridad minimiza errores de sujeción y evita accidentes por fijaciones defectuosas.

5.1.1.6. Versatilidad en la Configuración de Herramientas

El prototipo digital propuesto permite el montaje de portaherramienta de ½ pulgada y geometrías, lo que amplía su aplicación en una variedad de procesos de torneado sin necesidad de realizar ajustes mecánicos adicionales.

El sistema de sujeción de portaherramienta giratorio hexagonal desarrollado en esta tesis incorpora el principio Poka-Yoke como elemento central de diseño. Su implementación se refleja en varios aspectos funcionales del modelo:

1. Sistema de Sujeción Retráctil con Alineación Única

Cada cavidad del porta-portaherramienta fue diseñada para que el portaherramienta solo pueda colocarse en una posición correcta. Esto elimina la posibilidad de un montaje incorrecto, asegurando que el ángulo y la orientación del portaherramienta sean precisos en todo momento.

2. Mecanismo de Bloqueo de Seguridad

Se integró un tornillo de fijación con recorrido limitado, que impide sobre apretar o colocar el portaherramienta fuera de posición. Este sistema actúa como un tope físico de error, característica típica de un diseño Poka-Yoke.

3. Movimiento Controlado de 90° y Giro de 360°

El sistema retráctil permite subir o bajar el porta-portaherramienta con libertad controlada, garantizando que cada posición de trabajo sea segura antes de accionar el torno. Este mecanismo asegura un ajuste estable sin intervención excesiva del operador.

5.1.2. Limitaciones del Prototipo Digital Propuesto

5.1.2.1. Inversión Inicial en Materiales y Fabricación

El uso de materiales de alta resistencia, como acero reforzado para la base, titanio para las cajas de portaherramienta y hierro fundido para la estructura principal, implica un costo de fabricación superior al de los sistemas tradicionales. Sin embargo, esta inversión se justifica por la reducción de tiempos improductivos y el incremento en la vida útil de las herramientas.

5.1.2.2. Necesidad de Capacitación para la Operación del Sistema

Debido a la implementación de un mecanismo giratorio con bloqueo automático, es necesario proporcionar capacitación técnica a los operadores para garantizar el correcto uso y mantenimiento del sistema. Esto representa un periodo de adaptación que puede impactar inicialmente la eficiencia operativa.

5.1.2.3. Requerimientos de Mantenimiento Preventivo

A diferencia de los sistemas tradicionales de sujeción de portaherramienta es, el nuevo prototipo digital incorpora elementos mecánicos de precisión que requieren lubricación periódica y ajustes de calibración para garantizar su óptimo funcionamiento. Un mantenimiento deficiente podría afectar la estabilidad de la sujeción y comprometer la precisión del mecanizado.

5.1.2.4. Posibles Ajustes en Parámetros de Corte

El sistema de porta portaherramienta es giratorio puede alterar la distribución de cargas y vibraciones en el torno, lo que podría requerir ajustes en los parámetros de corte, como velocidad de avance, profundidad de pasada y fuerza de sujeción, para mantener una operación estable y eficiente.

5.1.3. Comparación con Métodos Previos

Parámetro	Método convencional	Prototipo digital
Continuidad operativa	Interrupciones frecuentes	Optimización de flujo de trabajo
Precisión de sujeción	Dependiente del operador	Alta (mecanismo de bloque seguro)
Seguridad operativa	Riesgo de error humanos	Sistema poka-yoke que evita fallos
Costo inicial	Bajo	Moderado (recuperable a mediano plazo)
Mantenimiento	Bajo, pero con imprecisiones	Preventivo, pero con mayor estabilidad
Versatilidad	Limitada a un solo tipo de buril	Compatible con múltiples herramientas
Ergonomía	Mayor esfuerzo en el montaje	Operación más intuitiva y ágil
Vida útil de herramientas	Desgaste acelerado por vibraciones	Mayor durabilidad y menor desgaste

Tabla 5 Comparación de métodos previos Elaboración Propia

5.2 Implicaciones para el sector manufacturero: Impacto potencial del sistema en la eficiencia y en los costos de producción.

La implementación del sistema de porta portaherramienta es giratorio hexagonal tiene un impacto directo y positivo en la eficiencia operativa y en la reducción de costos de producción.

5.2.1. Impacto en la Eficiencia Operativa

5.2.1.1. Reducción de Tiempos Muertos

El sistema propuesto permite cambiar los portaherramienta es sin necesidad de desmontar la porta buriles o interrumpir el funcionamiento del torno, lo que elimina tiempos muertos asociados al ajuste manual de herramientas. Esto garantiza un flujo continuo en las operaciones y un mejor aprovechamiento de las horas máquina.

5.2.1.2. Incremento en la Velocidad de Configuración

La capacidad de la porta portaherramienta es para alojar hasta seis herramientas de diferentes tamaños y geometrías reduce la necesidad de ajustes frecuentes. Esto facilita la configuración rápida del equipo y permite trabajar en una mayor variedad de piezas sin reprogramar el torno.

5.2.1.3. Mejora en la Precisión y Calidad del Trabajo

El sistema asegura una fijación estable del portaherramienta, minimizando vibraciones y desviaciones durante el mecanizado. Esto impacta positivamente en la calidad del producto final, reduciendo retrabajos y piezas defectuosas.

5.2.1.4. Continuidad Operativa

El diseño robusto y el uso de materiales de alta resistencia en la porta portaherramienta y sus componentes aseguran que el sistema pueda operar de manera confiable incluso en condiciones de carga elevada. Esto disminuye la necesidad de paradas por mantenimiento no planificado y mejora la disponibilidad del equipo.

5.2.1.5. Ergonomía y Seguridad

El sistema integra un mecanismo poka-yoke que reduce la posibilidad de errores humanos al asegurar y liberar los portaherramienta. Además, su diseño ergonómico facilita la manipulación de herramientas, reduciendo el esfuerzo físico y el tiempo empleado por los operadores en tareas repetitivas.

5.2.2. Impacto en los Costos de Producción

5.2.2.1. Reducción de Costos Operativos

Eliminando los tiempos muertos y optimizando los cambios de herramienta, el sistema aumenta la capacidad de producción sin incrementar los recursos necesarios. Esto reduce el costo operativo por pieza fabricada y mejora la rentabilidad del proceso.

5.2.2.2. Prolongación de la Vida Útil de las Herramientas

El sistema asegura una sujeción precisa y estable del portaherramienta, lo que reduce el desgaste y prolonga su vida útil. Esto disminuye la frecuencia de reemplazo de herramientas y los costos asociados a su compra.

5.2.2.3. Optimización del Uso de Recursos Humanos

Al simplificar las tareas de configuración y cambio de herramientas, el prototipo digital permite que los operadores realicen más actividades en menos tiempo, incrementando la eficiencia laboral. Esto también reduce la necesidad de supervisión constante, optimizando los costos relacionados con el personal.

5.2.2.4. Reducción de Retrabajos y Material Descartado

La mejora en la precisión del mecanizado disminuye la cantidad de piezas que requieren retrabajo o que son rechazadas debido a defectos. Esto impacta directamente en la reducción del desperdicio de materiales y en un uso más eficiente de los insumos.

5.2.2.5. Ahorro en Mantenimiento

Aunque el sistema requiere mantenimiento preventivo periódico, su diseño robusto y de alta durabilidad reduce las paradas por fallas o ajustes inesperados. Esto disminuye los costos asociados a reparaciones correctivas y al tiempo de inactividad del equipo.

5.2.3. Impacto a Largo Plazo en la Producción

5.2.3.1. Aumento de la Capacidad Productiva

Con un flujo de trabajo más continuo y tiempos reducidos en los procesos de mecanizado, la empresa puede atender un mayor volumen de producción sin necesidad de realizar inversiones adicionales en maquinaria.

5.2.3.2. Flexibilidad y Adaptabilidad

El diseño versátil de la porta portaherramienta permite su uso en una amplia variedad de operaciones y tipos de piezas, ampliando las capacidades del torno y adaptándose a los requerimientos de diferentes proyectos.

5.2.3.3. Recuperación de la Inversión

Aunque la implementación inicial del sistema puede representar un costo superior debido a los materiales utilizados y al diseño innovador, los ahorros acumulados en tiempo, mantenimiento, herramientas y retrabajos permiten recuperar rápidamente la inversión inicial.

5.2.3.4. Limitaciones Potenciales en los Costos

- **Costo Inicial Elevado:** La fabricación del sistema con materiales de alta resistencia (como acero reforzado y titanio) implica un costo inicial elevado. Sin embargo, este costo se amortiza con los beneficios obtenidos a mediano y largo plazo.
- **Capacitación del Personal:** La correcta operación del sistema puede requerir capacitación especializada para los operadores, lo que genera un gasto adicional en etapas iniciales.
- **Mantenimiento Preventivo:** Si bien los costos de mantenimiento son bajos en comparación con las ventajas obtenidas, su periodicidad y la necesidad de técnicos capacitados deben considerarse en los planes operativos.

Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Resumen de los hallazgos más importantes.

Resumen de los Hallazgos Más Importantes

Los hallazgos confirman que la porta portaherramienta giratorio hexagonal es una solución efectiva para optimizar los procesos de mecanizado, incrementando la eficiencia, reduciendo costos y mejorando la calidad del trabajo. Su implementación representa una mejora significativa en la productividad industrial y la competitividad de la empresa.

El desarrollo e implementación de la porta portaherramienta giratorio hexagonal ha permitido identificar mejoras significativas en la eficiencia operativa y la reducción de costos en los procesos de mecanizado

Optimización de Tiempos Muertos:

- Se logró una reducción en los tiempos de cambio de herramienta sin necesidad de detener el torno, lo que mejora la productividad y la continuidad operativa.
- La configuración del sistema permite el acceso rápido a los portaherramienta, facilitando la operación y minimizando interrupciones.

Mejora en la Precisión y Calidad del Mecanizado:

- La sujeción estable de los portaherramienta evita vibraciones y errores dimensionales, lo que se traduce en una mayor precisión en las piezas mecanizadas.
- Se redujo el índice de piezas defectuosas y la necesidad de retrabajos, optimizando el uso de materiales.

Reducción de Costos Operativos:

- La mayor durabilidad de los portaherramienta, debido a su correcta inmovilización, permite reducir los costos de herramientas y mantenimiento.
- Se minimiza el desperdicio de material al garantizar cortes más precisos y evitar defectos de fabricación.

Diseño Funcional y Ergonómico:

- El sistema cuenta con un poka-yoke de seguridad, que previene errores humanos al cambiar los portaherramienta.
- Su mecanismo giratorio hexagonal facilita el acceso a diferentes herramientas sin necesidad de ajustes manuales complejos.

Impacto Económico y Recuperación de la Inversión:

- Aunque la inversión inicial en materiales resistentes (acero reforzado y titanio) es elevada, la reducción de tiempos improductivos y costos operativos permite recuperar la inversión en el corto y mediano plazo.

- Se incrementa la capacidad productiva sin necesidad de invertir en maquinaria adicional.

Flexibilidad y Adaptabilidad del Sistema:

- Su diseño modular permite su integración en distintos modelos de torno y su uso en una amplia variedad de aplicaciones industriales.
- Puede ajustarse a diferentes tipos de portaherramienta, brindando versatilidad y compatibilidad con distintos procesos de mecanizado.

6.2 Aportes de la investigación: Contribuciones teóricas y prácticas del estudio. Contribuciones Teóricas y Prácticas del Estudio

Esta tesis presenta importantes contribuciones tanto teóricas como prácticas en el ámbito de la optimización de sistemas de sujeción para tornos. Desde una perspectiva teórica, amplía el conocimiento sobre el diseño y análisis de sistemas de porta portaherramienta, introduciendo un prototipo digital innovador de base giratoria hexagonal que integra conceptos de ergonomía, eficiencia y precisión en el mecanizado. Además, proporciona un marco conceptual para optimizar tiempos y minimizar errores en procesos industriales, destacando la interacción entre herramientas y maquinaria. Asimismo, se profundiza en métodos de optimización de producción, proponiendo un diseño que reduce tiempos muertos y mejora la continuidad de los procesos en torno. También se refuerza la importancia de los sistemas a prueba de errores mediante la integración de principios de poka-yoke, vinculando la manufactura esbelta con el diseño de herramientas.

Desde el punto de vista práctico, el prototipo digital desarrollado demuestra una notable reducción en los tiempos muertos asociados con el cambio de portaherramienta, lo que incrementa directamente la eficiencia en las líneas de producción. La continuidad de las operaciones elimina pausas prolongadas, mientras que la reducción del desgaste innecesario de herramientas disminuye los costos operativos y de mantenimiento. Además, el diseño ergonómico mejora la experiencia del operador, al facilitar el montaje y la selección de herramientas, reduciendo el esfuerzo físico y los errores. Este sistema también contribuye a disminuir defectos en las piezas mecanizadas, lo que reduce el desperdicio de material y los costos asociados al retrabajo.

El sistema es escalable y adaptable a diferentes tipos de tornos y herramientas, haciéndolo aplicable en industrias como la automotriz, aeronáutica y manufactura general. Su modularidad permite actualizaciones futuras sin rediseños completos, favoreciendo la incorporación en otros procesos de mecanizado. Esto lo convierte en una solución práctica para mejorar estándares de calidad y eficiencia, ayudando a las empresas a ser más competitivas en mercados globales.

En conclusión, el estudio proporciona una valiosa aportación teórica al ampliar la comprensión de sistemas de porta herramientas, mientras que, en la práctica, el prototipo digital propuesto impacta positivamente en la productividad, la reducción de costos y la experiencia del operador. Esto consolida su relevancia como una herramienta clave para la mejora de procesos industriales y la competitividad empresarial.

6.3 Recomendaciones para futuras investigaciones: Sugerencias para trabajos futuros y posibles mejoras al sistema propuesto.

Sugerencias para Trabajos Futuros y Posibles Mejoras al Sistema Propuesto

El sistema de porta portaherramienta desarrollado en este estudio ha demostrado ser una solución eficiente para optimizar los tiempos y operaciones en tornos. Sin embargo, existen áreas que pueden ser exploradas y mejoradas en futuros trabajos, con el fin de maximizar su desempeño, ampliar su aplicación y adaptarse a diferentes entornos industriales.

Sugerencias para Trabajos Futuros

Materiales Alternativos y Análisis Avanzado:

Se recomienda investigar el uso de materiales alternativos, como aleaciones de última generación, que puedan ofrecer una combinación más óptima de resistencia, durabilidad y ligereza. Además, el análisis mediante simulaciones computacionales más avanzadas, como el método de elementos finitos (FEM), permitiría evaluar el comportamiento estructural bajo condiciones extremas de carga, vibración y desgaste.

Automatización del Sistema:

Una línea de investigación prometedora sería integrar el sistema con dispositivos automatizados o robóticos que puedan cambiar los portaherramienta de manera automática, eliminando completamente la intervención manual y aumentando aún más la eficiencia en líneas de producción de alta demanda.

Monitorización Inteligente:

Incorporar sensores y tecnología de monitoreo inteligente, como el Internet de las Cosas (IoT), para registrar el estado de la porta portaherramienta, el desgaste de las herramientas y el desempeño del sistema en tiempo real. Esto permitiría optimizar el mantenimiento preventivo y reducir aún más los tiempos de inactividad no planificados.

Adaptación Multimáquina:

Diseñar un sistema más versátil que pueda adaptarse fácilmente a otros tipos de máquinas-herramienta, como fresadoras, taladros CNC o centros de mecanizado, ampliando su aplicabilidad industrial y optimizando otras operaciones de manufactura.

Pruebas Comparativas en Escenarios Reales:

Realizar pruebas más amplias en diferentes entornos industriales para validar la eficiencia del sistema en una variedad de materiales, configuraciones de herramientas y condiciones de operación. Esto permitirá generar datos comparativos con otros métodos tradicionales.

Posibles Mejoras al Sistema Propuesto

Optimización del Mecanismo de Giro:

Refinar el mecanismo giratorio de la base hexagonal para asegurar un movimiento más suave y preciso, utilizando cojinetes o sistemas de lubricación avanzados para reducir la fricción y el desgaste.

Sistema de Fijación Más Robusto:

Mejorar el sistema de aseguramiento del portaherramienta mediante el uso de materiales con mayor resistencia al impacto y sistemas de bloqueo más seguros, como mecanismos hidráulicos o magnéticos, que aseguren la estabilidad incluso en operaciones de alta carga.

Reducción de Tamaño y Peso:

Considerar la miniaturización del sistema para reducir su peso y espacio ocupado en el torno, sin comprometer su funcionalidad ni su durabilidad, lo que facilitaría su integración en talleres con limitaciones de espacio.

Diseño Modular y Personalizable:

Implementar un diseño modular que permita a los usuarios ajustar el sistema según sus necesidades específicas, como configuraciones con más cavidades o adaptaciones para portaherramienta de formas y tamaños no estándar.

Mejoras en la Ergonomía:

Revisar el diseño para que los operadores puedan manipular los portaherramienta de manera más cómoda y segura, reduciendo el esfuerzo físico y minimizando el riesgo de accidentes laborales.

6.4 Conclusión.

El desarrollo del presente trabajo permitió demostrar que la implementación de un sistema de cambio rápido de portaherramienta en el torno no solo representa una mejora técnica, sino también una solución integral orientada a la eficiencia, la ergonomía y la seguridad operativa. A través de un proceso sistemático de diseño, evaluación comparativa mediante la matriz de Pugh y el análisis de diferentes alternativas, se comprobó que el prototipo digital final constituye la opción más robusta y funcional frente al sistema tradicional y los prototipos previos.

La innovación introducida mediante mecanismos como el poka-yoke, la incorporación de cavidades optimizadas y el diseño de un sistema giratorio con libertad de movimiento, aportan ventajas significativas en la reducción de tiempos muertos, la disminución de errores humanos y la estandarización de los procedimientos de ajuste. Asimismo, este prototipo digital evidencia la relevancia de la reingeniería en procesos productivos, al transformar un método tradicional en un sistema moderno que responde a las exigencias actuales de la manufactura.

En este sentido, se concluye que la propuesta aquí presentada no solo es factible desde el punto de vista técnico, sino que también constituye un aporte práctico y aplicable para la industria, al generar un impacto positivo en la productividad y en la calidad del mecanizado. Finalmente, este trabajo abre la puerta a futuras líneas de investigación enfocadas en la automatización de sistemas de fijación de herramientas, consolidando el camino hacia una manufactura más ágil, precisa y competitiva.

Referencias

- Chastain, T. (2008). *History of the Lathe Machine: Evolution and Development*. Engineering Press.
- DeGarmo, E. P., Black, J. T., & Kohser, R. A. (2011). *Materials and Processes in Manufacturing* (11th ed.). Wiley.
- Davis, J. R. (2005). *Tool Materials*. ASM International.
- Diniz, A. E., Marcondes, F. C., & Coppini, N. L. (2016). *Cutting Tool Technology: Industrial Handbook*. Springer.
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (4th ed.). Wiley.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson.
- Mills, B. (2012). *Machining: Fundamentals and Recent Advances*. Springer.
- Sandvik Coromant. (2018). *Metal Cutting Technology: Training Handbook*. Sandvik AB.
- Trent, E. M., & Wright, P. K. (2000). Metal Cutting. Butterworth-Heinemann.*
- AMF. (2021). *Intelligent Clamping Systems*. AMF GmbH.
- BMW. (2021). *Advanced Magnetic Clamping in Automotive Manufacturing*. BMW AG.
- Davis, J. R. (2015). *Advanced Manufacturing Technologies*. ASM International.
- General Electric (GE). (2021). *Collaborative Robotics in Industrial Assembly*. GE Reports.
- Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of Modern Manufacturing*. Wiley.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2018). *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson.
- Mills, B. (2019). *Machining: Fundamentals and Recent Advances*. Springer.
- OnRobot. (2021). *Collaborative Automation Solutions*. OnRobot A/S.
- Piab. (2021). *Vacuum Solutions for Industrial Automation*. Piab AB.
- Sandvik Coromant. (2020). *Metal Cutting Technology Handbook*. Sandvik AB.

Schunk. (2021). High-Precision Clamping Systems. Schunk GmbH.

Trent, E. M., & Wright, P. K. (2012). Metal Cutting. Butterworth-Heinemann.

Magalhães, R., & Magalhães, R. (2025, April 13). La fascinante historia y el desarrollo de los tornos. COMPRACO Indústria E Construção. https://compraco.com.br/es/blogs/industria/a-fascinante-historia-e-desenvolvimento-dos-tornos?srsId=AfmBOoqWnQdzYal_SRNhksgajErKdfkGXmBrZdedr9QpcZRJ0c3x05B

Tallas y torneados TDG. (2018, April 23). Historia del torno - Tallas y torneados TDG. Tallas Y Torneados TDG. <https://tallasytorneadostdg.com/historia-del-torno/>

Comastech. (2025, April 23). Torno, el pilar histórico de la Fabricación Mecánica. Centre Politècnic Comas. <https://comas.tech/es/torno-pilar-fabricacion-macanica/>

Bersano, G., Pagone, E., & Teti, R. (2020). Smart fixturing systems for adaptive manufacturing processes. Procedia CIRP, 93, 1260–1265.

Liu, J., & Wang, X. (2021). Industrial IoT applications in aerospace manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 60, 501–512.

AL-SAFRIK STEEL. (2024, December 24). Evolution of Lathe Machines: From manual to CNC. Al Safrik Steel. <https://alsafriksteel.com/evolution-of-lathe-machines-from-manual-to-cnc/>

Torneado exterior. (n.d.). Sandvik Coromant. <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/general-turning/external-turning/>

PRINCIPALES OPERACIONES DE UN TORNO. (2011, September 8). Arukasi. <https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/principales-operaciones-de-un-torno/>

Sam. (2024, April 8). Understanding Grooving: The art of Precision Machining | AT-Machining. AT-Machining. <https://at-machining.com/es/grooving-machining/>

Roscado. (n.d.). Sandvik Coromant. <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/threading>

Llobregat, A. (2021, February 10). Acero rápido (HSS) m2 – 1.3343. Aceros Llobregat. <https://www.acerosllobregat.com/acero-rapido-m2-1-3343-hss/>

Buril Calzado 3/8" con Inserto de Carburo #AL6 MICRO 100. (n.d.). <https://www.travers.com.mx/product/buril-calzado-3-8-con-inserto-de-carburo-al6-micro-100-21-100-074>

BURIL CORTADORA CERAMICA – Importadora Ferremakros LTDA. (n.d.). <https://ferremakros.com/Tienda/product/buril-cortadora-ceramic/>

PCD (Policristalino de diamante) | Urgeles Diamant. (n.d.). <https://www.urgelesdiamant.com/pcd-policristalino-de-diamante/>

Martínez, C. (n.d.). Nitruro de boro hexagonal y cúbico | Tecnitool.es. Carlos Martínez. <https://tecnitool.es/tag/nitruro-de-boro/>

Groover, M. P. (2020). Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing (5th ed.). Pearson Education.

Imai, M. (2018). Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success. McGraw-Hill Education.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2018). Manufacturing Engineering and Technology (8th ed.). Pearson.

Pinedo, M. (2020). Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems (6th ed.). Springer.

Rao, P. N. (2017). Manufacturing Technology: Metal Cutting and Machine Tools (3rd ed.). McGraw-Hill.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2017). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation (3rd ed.). Simon & Schuster.

Cross, N. (2008). Engineering Design Methods: Strategies for Product Design (4th ed.). John Wiley & Sons.

Pugh, S. (1991). Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. Addison-Wesley.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). Product Design and Development (6th ed.). McGraw-Hill Education.

Otto, K., & Wood, K. (2001). Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. Prentice Hall.

Imai, M. (2018). Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success. McGraw-Hill Education.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2018). Manufacturing Engineering and Technology (8th ed.). Pearson.

Moyano-Fuentes, J., Sacristán-Díaz, M., & Martínez-Jurado, P. J. (2021). Green Lean Management: Integrating Lean and Sustainability in Manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 281(5), 125–139.

Metalmecánica. (2025, May 20). Sistemas de cambio rápido: VERO-S. Metalmecánica. <https://www.metalmeccanica.com/es/informacion-comercial/sistemas-de-cambio-rapido-vero-s>

El sistema de carga Smart Automation de AMF aumenta la profundidad de producción para el usuario y le permite contrarrestar la escasez de mano de obra cualificada - Stuttgart, Fellbach. (n.d.). <https://www.amf.de/es/soluciones/soluciones-para-clientes/el-sistema-de-carga-smart-automation-de-amf-aumenta-la-profundidad-de-produccion-para-el-usuario-y-le-permite-contrarrestar-la-escasez-de-mano-de-obra-cualificada.html>

MAGNOS MTR - Plato magnético redondo by SCHUNK SE & Co. KG | DirectIndustry. (n.d.). <https://www.directindustry.es/prod/schunk-se-co-kg/product-7038-2174653.html>

López, J. (2025, June 2). Uso de Robots Colaborativos en las Líneas de Producción. Inspenet. <https://inspenet.com/articulo/robots-colaborativos-en-lineas-de-produccion/>

Sistemas de sujeción por vacío eficientes y flexibles de AMF. - Stuttgart, Fellbach. (n.d.). <https://www.amf.de/es/productos/tecnologia-de-sujecion/sistemas-de-sujecion-por-vacio.html>

P Gaya. (2024, May 28). Torreta de Cambio Rápido MULTIFIX - P Gaya. <https://pinachocnc.com/product/torreta-de-cambio-rapido-multifix/>