

**CONVALIDACIÓN DE LAS OPERACIONES DEL CONVERTIDOR ADAPTADO A
UN TORNO PARALELO**



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

Ingeniería Mecánica

JAVIER SANTIAGO LEAL BUITRAGO

Tunja, Boyacá

2026

**CONVALIDACIÓN DE LAS OPERACIONES DEL CONVERTIDOR ADAPTADO A
UN TORNO PARALELO**



JAVIER SANTIAGO LEAL BUITRAGO

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Primer director:
ING. LUIS FERNANDO ACOSTA JOYA

Segundo director:
ING. FABIÁN LEONARDO HIGUERA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

Seccional Tunja

Facultad de Ingeniería Mecánica

Tunja, Boyacá

2026

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director

Jurado

Jurado

Tunja, Boyacá

2026

HOJA DE EXONERACIÓN

La Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, no se hace responsable por los conceptos emitidos por el autor en el presente trabajo de grado. Las ideas, conclusiones y recomendaciones expresadas son responsabilidad exclusiva del autor.

El contenido de este documento se presenta con fines académicos, como parte del proceso de formación profesional en la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Tunja, Boyacá

2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, que con esfuerzo me brindó las herramientas necesarias para llegar hasta aquí. En especial, a las mujeres de mi hogar, quienes me criaron, me alimentaron y me dieron la oportunidad de estudiar. A ellas les dedico todo lo que he logrado y todo lo que llegaré a lograr gracias a mi formación profesional.

También dedico este trabajo a aquellos familiares y seres cercanos que no han llegado hasta acá. Espero fervientemente reencontrarnos en un futuro, cuando ambos seamos viejos un poco más torpes, más lentos y más complejos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, y a la Facultad de Ingeniería Mecánica por el acompañamiento académico y formativo durante el desarrollo de este trabajo.

A mis directores, ING. LUIS FERNANDO ACOSTA JOYA e ING. FABIÁN LEONARDO HIGUERA, por su orientación, disposición y apoyo técnico durante el proceso de elaboración del proyecto.

A quienes aportaron conocimientos, tiempo y colaboración para la puesta en marcha, verificación y convalidación del equipo convertidor adaptado a un torno paralelo.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue convalidar experimentalmente un convertidor de movimiento, herramienta adaptable para el torno. Este dispositivo está diseñado para convertir el movimiento rotativo del husillo en un movimiento alternativo lineal del porta buril, lo que posibilita llevar a cabo acciones de mecanizado que no se pueden realizar con la configuración tradicional del torno. La metodología que se desarrolló se organizó en cinco etapas. En la etapa inicial, se llevó a cabo la implementación del sistema, asegurándose de que los mecanismos de transmisión, el cabezal divisor, la caja reductora y la brazo estuvieran adecuadamente alineados, montados y funcionando. Después, para la segunda etapa, se realizó la identificación y elección de las operaciones de mecanizado, estableciendo las capacidades funcionales del equipo para llevar a cabo desbaste plano, desbaste angular, elaboración de biseles y preparación de superficies para aplicaciones vinculadas con piñonería. En la cuarta etapa, se elaboró la cartilla de operaciones y la convalidación experimental, en los que se registraron los métodos de instalación, configuración, seguridad recomendada y realización de cada operación. Las pruebas efectuadas posibilitaron la comprobación del comportamiento mecánico del equipo y la confirmación de que las configuraciones preestablecidas funcionan. Por último, en la quinta etapa se llevó a cabo la validación final, que consistió en fortalecer los resultados obtenidos durante las pruebas y examinar el rendimiento total del convertidor. Los resultados mostraron que el aparato realiza de manera satisfactoria su función primordial, que es transformar el movimiento rotacional en movimiento lineal. Por último, en la quinta etapa se llevó a cabo la validación final, que consistió en fortalecer los resultados obtenidos durante las pruebas y examinar el rendimiento total del convertidor. La parametrización de las operaciones y configuraciones del aparato fue la tercera etapa, donde se definieron las variables operativas que cada proceso requiere. El estudio concluyó en que el convertidor es una opción efectiva para expandir las funcionalidades de un torno convencional, ya que posibilita la realización de varias operaciones a través de configuraciones ajustables y métodos estandarizados. Además, se detectó un significativo potencial de mejora a través de futuras modificaciones.

ABSTRACT

The objective of this study was to experimentally validate a motion converter, an adaptable tool for a lathe. This device is designed to transform the rotational motion of the spindle into a reciprocating linear motion of the tool holder, making it possible to perform machining operations that cannot be carried out using the conventional lathe configuration. The methodology developed was organized into five stages. In the first stage, the system was commissioned by ensuring the proper alignment, assembly, and operation of the transmission mechanisms, indexing head, gearbox, and slide assembly. In the second stage, machining operations were identified and selected, establishing the functional capabilities of the equipment to perform flat machining, angular machining, bevel generation, and surface preparation for gear-related applications. The third stage consisted of the parameterization of the device operations and configurations, in which the operating variables required for each process were defined. This stage made it possible to establish repeatable working conditions and document the operating limits of the prototype. In the fourth stage, the operation manual and the experimental validation procedures were developed. These documents included installation methods, configuration procedures, recommended safety measures, and the execution sequence for each operation. The tests carried out enabled the evaluation of the mechanical behavior of the equipment and confirmed the effectiveness of the predefined configurations. Finally, the fifth stage involved the final validation, which consisted of consolidating the results obtained during testing and assessing the overall performance of the converter. The results demonstrated that the device successfully fulfills its primary function of transforming rotational motion into controlled linear motion.

The study concluded that the converter is an effective solution for expanding the capabilities of a conventional lathe, as it enables the execution of various machining operations through adjustable configurations and standardized procedures. Furthermore, significant potential for improvement was identified through future design modifications, which could further increase the versatility and range of applications of the equipment.

Índice general

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Antecedentes	2
1.2.1	Antecedentes internacionales	2
1.2.2	Antecedentes institucionales	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	Objetivo general	3
1.3.2	Objetivos específicos	3
1.4	Alcance	4
1.5	Marco Teórico	5
1.5.1	Fundamentos del mecanizado y operaciones de arranque de viruta	5
1.5.2	El torno paralelo como plataforma de fabricación	6
1.5.3	Conversión de movimiento rotativo a lineal (fundamento cinemático del dispositivo)	7
1.5.4	Operaciones de mecanizado lineal: limado, cepillado y mortajado	8
1.5.5	Criterios y métodos para la convalidación experimental del convertidor	8
1.5.6	Replicación del posicionamiento y de la carrera	9
1.5.7	Verificación de escuadrado y planaridad	9
1.5.8	Evaluación de la rigidez estática y dinámica	9
1.5.9	Protocolo de seguridad operativa	10
1.5.10	Consideraciones finales para la interpretación de resultados	10
1.6	Métodología	10
1.6.1	FASE 1: Puesta en funcionamiento	11
1.6.2	FASE 2: Identificación y selección de potenciales operaciones	12
1.6.3	FASE 3: Parametrización de las operaciones y configuraciones del dispositivo	12

1.6.4	FASE 4: Diseño de la cartilla de operaciones y convalidación experimental	13
1.6.5	FASE 5: Convalidación final	14
1.7	Cronograma	14
2	ANÁLISIS DE DISEÑO, FUNCIONAMIENTO Y DEFINICIÓN DE OPERACIONES	16
2.1	Puesta en funcionamiento	16
2.1.1	Caracterización de sistemas y subsistemas.	17
2.1.2	Precomisionamiento	19
2.1.3	Comisionamiento	22
2.1.4	Puesta en marcha	23
2.2	Identificación y selección de operaciones	25
2.2.1	Desbaste lineal vertical:	26
2.2.2	Desbaste lineal angular:	27
2.2.3	Desabaste lineal horizontal:	28
3	PARAMETRIZACIÓN DE LAS OPERACIONES Y CONFIGURACIONES DEL DISPOSITIVO	30
3.1	Parametrización	30
3.1.1	Parametrización geométrica	31
3.1.2	Parámetros cinemáticos	33
3.1.3	Parámetros operativos	35
3.1.4	Parámetros de seguridad	37
3.1.5	Matriz de limitantes	39
3.2	Configuración de aplicaciones permitidas	40
3.2.1	Resultados de validación	44
4	DISEÑO DE LA CARTILLA Y CONVALIDACIÓN EXPERIMENTAL	48
4.1	Diseño de la cartilla	48
4.1.1	Organización de la cartilla	49
5	Conclusiones y recomendaciones	53
	Anexos	58
	Anexo A. Manual de operaciones	58

Índice de figuras

1.1	Diagrama de fases metodológicas	11
1.2	Diagrama de Gantt	15
2.1	Foto del equipo	17
2.2	Diagrama de sistemas y subsistemas	18
2.3	Diagrama de sistemas	19
2.4	Actividades iniciales de precomisionamiento	20
2.5	Ajuste y alineación del equipo	20
2.6	Fijación en la bancada y lubricación de caja reductora	21
2.7	Integración del cabezal divisor	22
2.8	Pruebas de comisionamiento sin carga y con carga	23
2.9	Foto del equipo en puesta en marcha	24
2.10	Configuración del torno	24
2.11	Velocidad del eje de salida	25
2.12	Prueba de desbaste plano	27
2.13	Desbaste angular	28
2.14	Posicionamiento para desbaste horizontal	29
3.1	Angulo del cabezal y del brazo	41
3.2	Posicionamiento de configuraciones	47
3.3	Posición de brazo en función de piñonería	47

Lista de tablas

2.1	Listado preliminar de operaciones clasificadas por ángulo de trabajo .	26
3.1	Clasificación de zonas del sistema	30
3.2	Parámetros geométricos del convertidor	33
3.3	Tabla de parámetros cinemáticos	35
3.4	Tabla de parametrización de operaciones	37
3.5	Parámetros de seguridad del equipo convertidor	39
3.6	Tabla de limitantes	40
3.7	Configuraciones operativas del convertidor	42
3.8	Operaciones de mecanizado permisibles con el convertidor	43
3.9	Matriz consolidada de parámetros experimentales del convertidor . . .	44
3.10	Matriz consolidada de validación experimental	45
4.1	Cajetín de identificación de la cartilla técnica	48
4.2	Riesgos y fallas frecuentes del equipo convertidor	49
4.3	Registro de operación inicial del equipo convertidor	51
4.4	Tabla de parámetros de operación	52

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Los procesos de mecanizado son cruciales y específicos para la elaboración de componentes con geometrías complejas y específicas dentro del campo de la ingeniería mecánica. Según lo dicho en el artículo investigativo de [1] los tornos paralelos se utilizan ampliamente en entornos de producción, talleres, laboratorios e instituciones educativas por su capacidad de realizar operaciones de torneado, roscado y acabado superficial, a su vez estos son equipos con alta adaptabilidad. No obstante, su diseño tradicional limita sus procesos a la creación de geometrías de revolución y no permite el mecanizado lineal para la fabricación de chavetas o el fresado de engranajes, mecanizado que convencionalmente requiere herramientas variadas o complementos adicionales que elevan los costos. Según lo investigado en [2] para la fabricación de engranajes o piñones dentro de la industria metalmecánica, se requiere maquinaria especializada como lo serían fresadoras universales equipadas con platos divisores o máquinas talladoras de engranajes. Sin embargo, el torno es la máquina más común utilizada dentro de la industria metalmecánica, en versiones convencionales y de control numérico computarizado CNC según [4].

En este contexto, un grupo de profesionales de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Santo Tomás ha diseñado y patentado un convertidor adaptable a la bancada de tornos paralelos para el mecanizado plano, actualmente se requiere convalidar su funcionamiento operativo y su aplicabilidad a diferentes tipos de mecanizado bajo sus diversas configuraciones y su respectivo registro con parámetros de corte como velocidad, torque y ángulo de corte en condiciones de laboratorio. Lo anterior, resalta la convalidación como solución para determinar de manera técnica y práctica la viabilidad del equipo en función del objetivo para

el cual fue creado. La falta de validación restringe su posible uso en contextos industriales y académicos, donde puede ser implementado como herramienta pedagógica de alto valor para instituciones con enseñanzas prácticas de los sistemas de transmisión mecánicos y los procesos de fabricación, además la falta de un manual de procedimiento normalizado fundamentado en las normas nacionales e internacionales hace imposible definir estándares y lineamientos técnicos para limitar los riesgos y medidas de aseguramiento de calidad, y aplicar normativas a los procesos de mecanizado.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes internacionales

Diseño y fabricación de un accesorio de mordaza de fresado para torno paralelo

Autores: A. Muhammad Aziz Aznil, A. A. Kamarul Adnan Institución: Faculty of Engineering Technology, Manufacturing Engineering, University College TATI (UC TATI).

En este artículo académico se propone diseñar y fabricar un accesorio de tornillo de banco para torno, permitiéndolo operar como una máquina de fresado. Exponen que disponer de un torno y una máquina fresadora es costoso y requiere de un área considerable. Para esto proponen un accesorio mecánico desmontable y adaptable a tornos convencionales. El accesorio fue aprobado mediante tres tipos de operaciones: fresado frontal, perforado y fresado superficial. Las mediciones fueron tomadas con un vernier digital y los errores se calcularon como porcentaje de diferencia con respecto al mecanizado convencional

1.2.2 Antecedentes institucionales

MODELO DE UN CONVERTIDOR PARA MECANIZADO PLANO COMO ACCESORIO ADICIONAL DE UN TORNO PARALELO CON BASE UNIVERSAL

Autores: Bastidas Nonsoque Marco Alejandro, Rivera Gamboa Cristian Felipe, Ing. Luis Fernando Acosta Joya Codirector: Ing. Fabián Leonardo Higuera Institución: Universidad Santo Tomás, División de Arquitectura e Ingeniería, Tunja (2024)

Este proyecto se enfoca en la fabricación y adaptación del equipo convertidor de la patente NC2022/0003151, el cual convierte el movimiento circular en lineal. El dispositivo fue rediseñado como un equipo-herramienta adaptable a amplios modelos de bancadas y propone mejorar la eficiencia y productividad de los tornos paralelos. El equipo emplea las tablas de relación de velocidades del torno objetivo para controlar la conversión y reducción de velocidad de desplazamiento, mejorando los acabados en diferentes materiales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Convalidar las operaciones del convertidor para mecanizado lineal en un torno paralelo, mediante el desarrollo de una cartilla de operación.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Analizar el diseño y funcionamiento del convertidor y definir las operaciones de mecanizado que se pueden desarrollar con este dispositivo.
2. Definir los parámetros óptimos de operación de las diversas funciones de mecanizado y los diferentes tipos de configuraciones adaptables al dispositivo convertidor.
3. Desarrollar una cartilla de operación y funcionamiento de los diversos procedimientos de mecanizado que se pueden ejecutar con el dispositivo convertidor rotativo.

1.4 Alcance

El proyecto parte desde la adecuación de la máquina diseñada y existente en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja; equipo el cual consta con literatura previa, planos de construcción y diseños realizados en el software Autodesk Inventor, y tiene como alcance la identificación, análisis y convalidación de todas las operaciones de mecanizado que pueden ser configuradas mediante el convertidor, considerando varias configuraciones de desbaste lineal y la adaptación del equipo a diversos parámetros. Para la reactivación del equipo inactivo, se puede recurrir a las normativas internacionales de seguridad y calidad, las cuales establecen las siguientes necesidades: inspección, validación funcional y control de riesgos previo a su puesta en marcha.

Ante la ausencia de manuales específicos de los fabricantes se estudiará el análisis del diseño, el principio de funcionamiento y la conducta cinemática del convertidor después del período de instalación en la bancada del torno. El objetivo será determinar los movimientos que permite el equipo, grados de libertad y limitaciones mecánicas que definirán a futuro las operaciones de mecanizado ejecutables. A partir de este estudio se evaluará de manera experimental las operaciones posibles de desbaste y acabado lineal, además de la generación de perfiles geométricos sencillos, utilizando buriles como herramienta de corte.

Se contemplan varias configuraciones del sistema, como la orientación del cabezal divisor, la inclinación del portaherramientas y los parámetros operativos (velocidad, avance y profundidad de corte), con el objetivo de definir el conjunto total de procesos que el convertidor puede realizar en condiciones de laboratorio.

Como entregable final se elaborará una cartilla de procedimientos y operaciones. Este manual documentará los procedimientos de mecanizado. Se realizará seguimiento y registro de los procesos para generar indicaciones claras de configuración y operación, incluyendo sugerencias de seguridad y parámetros técnicos relacionados con cada operación. Este proyecto solo describe el uso general y establece actividades específicas para su correcta aplicación en un ambiente académico, no tomará en cuenta investigación de producción en masa, automatización del sistema o la realización de operaciones como perforado, taladrado o roscado, no va a cubrir requisitos de mantenimiento ni

verificaciones eléctricas, ni procedimientos de almacenamiento prolongado o rutinas de lubricación.

1.5 Marco Teórico

El presente capítulo presenta los principios que sustentan el diseño, la fabricación y la convalidación del convertidor de movimiento adaptado a un torno paralelo. Aborda los principios del mecanizado convencional, las operaciones características del torno en paralelo, el funcionamiento del mecanismo de conversión de movimiento y las máquinas herramienta cuyas funciones el dispositivo busca adaptar e interpretar los resultados experimentales obtenidos.

1.5.1 Fundamentos del mecanizado y operaciones de arranque de viruta

La fabricación de los componentes del convertidor adaptado a un torno paralelo enfocado en los procesos de mecanizado convencional, entendidos como la compilación de operaciones mediante las cuales remueve material de forma controlada para mecanizar a una pieza en bruto la geometría, las dimensiones y el acabado superficial requeridos por el diseño. En estos procesos, la remoción de material ocurre mediante el arranque de viruta: una herramienta de corte más dura que el material de la pieza a trabajar penetra su superficie y la deforma plásticamente hasta fracturar y separar pequeñas partículas denominadas virutas [5]. La calidad del resultado depende directamente de la correcta selección de los parámetros de corte, velocidad superficial, avance y profundidad de pasada. Dentro de este aspecto, el desbaste constituye la etapa inicial del proceso: trabaja con profundidades de pasada elevadas y avances altos para aproximar rápidamente la geometría de la pieza a las dimensiones de diseño, dejando un sobremetal para las operaciones de acabado final. Aunque esta etapa no exige tolerancias estrechas, genera calor y esfuerzos residuales en la superficie del material, lo que obliga a prever un correcto proceso de sujeción y, en piezas de alta precisión, un eventual alivio de tensiones antes del acabado final [6]. Para los ejes, bujes y eslabones

del convertidor, el desbaste en el torno paralelo representa la operación de mayor consumo energético y desgaste de herramienta, razón por la cual la selección del tipo de herramienta de corte (buril) resulta determinante. El buril, o herramienta de corte monofilo, es el elemento crucial tanto en las operaciones de torno como en los mecanismos de corte lineal que el convertidor replica. Su geometría definida por los ángulos de ataque, incidencia y filo lateral determina la formación de viruta y el tipo de operación que este puede realizar, las fuerzas de corte involucradas y la rugosidad superficial obtenida. Los buriles de carburo de tungsteno sinterizado, en sus diferentes grados de dureza y tenacidad, ofrecen la mejor relación entre vida útil y rendimiento de corte para el acero de construcción usado en la fabricación de los componentes del presente dispositivo [7].

1.5.2 El torno paralelo como plataforma de fabricación

El torno paralelo es la máquina-herramienta central en la cadena de fabricación del convertidor. Su principio de operación consiste en girar la pieza de trabajo sujeta al husillo principal mientras la herramienta de corte se dirige en un ángulo desplazado de manera parcial sobre su superficie, generando áreas de revolución con alta precisión dimensional. El movimiento de corte lo aporta el husillo, y los movimientos de avance y penetración son transmitidos mediante el carro longitudinal y el carro transversal, accionados a través del tren de engranajes o la caja Norton de la máquina [8]. Entre las operaciones ejecutadas en el torno para la fabricación de los componentes del convertidor, el refrentado relevante. Esta operación consiste en desplazar la herramienta radialmente sobre la cara frontal de la pieza en el plano perpendicular al eje de giro para generar una superficie plana que sirva como referencia dimensional para las siguientes operaciones. El refrentado exige control sobre la variación de velocidad superficial a lo largo del radio: a medida que la herramienta avanza hacia el centro, el diámetro decrece y, manteniendo las revoluciones constantes, la velocidad de corte disminuye, lo que puede afectar la calidad del acabado en el área central [9]. Por este motivo, en el torno paralelo manual, el operario debe compensar esta variación ajustando la velocidad del husillo durante la operación. Por otra parte, el cilindrado exterior e interior, el ranurado y el roscado son operaciones habituales en la fabricación de los ejes, pasadores

y acoples de mecanismos. La versatilidad del torno paralelo, sumada al uso de accesorios como el cabezal divisor y los portaherramientas especiales, permite abordar una amplia variedad de geometrías con un solo equipo, lo que lo convierte en la plataforma ideal para talleres de procesos de manufactura de series cortas y piezas individuales como las que conforma el convertidor en su convalidación.

1.5.3 Conversión de movimiento rotativo a lineal (fundamento cinemático del dispositivo)

El principio de funcionamiento del convertidor adaptado a un torno paralelo está centrado en la transformación del movimiento rotativo del husillo en un desplazamiento traslacional alternativo de la herramienta de corte. Este principio de conversión cinemática se materializa mediante el mecanismo de biela, manivela y brazo, también denominado mecanismo de varilla y deslizador, en el que la manivela acoplada al husillo convierte su rotación en un movimiento circular; la biela transmite ese movimiento a la brazo, que desplaza linealmente a lo largo de la guía [10]. La longitud de la carrera del deslizador queda determinada por el radio de la manivela, mientras que la relación entre el radio y la longitud de la biela condiciona la sincronización del movimiento: cuanto mayor es la relación biela-manivela, más simétrica y armónica resulta. [11]. Esta conversión de movimiento no es exclusiva para este dispositivo. es el mismo principio que opera en las limadoras industriales y en los motores de combustión interna, donde el movimiento alternativo del émbolo se transforma en rotación del cigüeñal, o viceversa. Esta equivalencia resulta fundamental para la convalidación de las operaciones del convertidor, pues permite evaluar los criterios de desempeño velocidad de corte, carrera, fuerzas transmitidas de equipos convencionales en comparación con el dispositivo adaptado, estableciendo una base técnica sólida para la evaluación experimental. Se debe verificar experimentalmente que la carrera generada es constante y repetible, probar que desplazamiento de la brazo es suficientemente rectilíneo es decir sin desviaciones angulares significativas que afecten el corte. Así mismo la velocidad de corte a lo largo de la carrera se debe mantener dentro de rangos útiles para el mecanizado de materiales.

1.5.4 Operaciones de mecanizado lineal: limado, cepillado y mortajado

La adaptación del convertidor al torno paralelo permite la posibilidad de un conjunto de operaciones para mecanizado lineal que, en condiciones básicas, requieren máquinas independientes. La primera de ellas es el limado mecánico, proceso en el que una herramienta abrasiva de filos múltiples se desplaza linealmente sobre la superficie de la pieza para remover pequeñas cantidades de material, eliminar rebabas y ajustar dimensiones críticas con precisión. Aunque el limado manual es una operación artesanal que requiere de la habilidad del operario, su ejecución mediante el convertidor mejora la repetibilidad del acabado y reduce la fatiga del operador [12]. El cepillado, ejecutado por la limadora industrial, es una operación de arranque de viruta en la que un buril de corte monofilos se desplaza linealmente sobre la pieza para generar superficies planas horizontales, verticales o inclinadas. La limadora opera precisamente con el mismo principio biela-manivela-brazo del convertidor, lo que convierte al dispositivo en una réplica funcional similar a esta máquina acoplada al torno. Esta equivalencia permite que el convertidor ejecute operaciones de cepillado sobre piezas sujetas en la mesa del torno, ampliando las capacidades del taller sin adquirir equipos adicionales [13]. La mortajadora, replica el mismo principio cinemático del cepillado, pero con la herramienta orientada vertical respecto a la mesa de trabajo. Esta configuración es la única que permite mecanizar chaveteros interiores en cubos y bujes, ranuras internas y perfiles en cavidades, geometrías inaccesibles para el torno y la fresadora convencionales. En el convertidor adaptado al torno, la reorientación vertical de la herramienta de corte habilita esta función, lo que resulta relevante para la fabricación de los elementos de transmisión del mecanismo [14].

1.5.5 Criterios y métodos para la convalidación experimental del convertidor

La convalidación de una máquina herramienta o accesorio adaptado requiere un protocolo sistemático que abarque tanto la verificación dimensional y superficial como la evaluación de la rigidez, repetibilidad y seguridad. Con base en los estándares de la industria (ISO 230 series para pruebas de máquinas herramienta,

adaptados al nivel del dispositivo),[15] proponiendo los siguientes criterios para la convalidación del convertidor:

1.5.6 Replicación del posicionamiento y de la carrera

Este proceso evalúa un ciclo de mínimo diez ciclos consecutivos, midiendo la posición de inicio y fin de cada una con el reloj comparador de caratula. Posteriormente se calcula la desviación estándar de las longitudes de carrera; un coeficiente de variación CV igual o inferior al 2 % se considera apto para las operaciones manuales. [17]

1.5.7 Verificación de escuadrado y planaridad

En operaciones de cepillado y refrentado se mecaniza una superficie plana de referencia para verificar su escuadrado respecto a las caras de sujeción mediante goniómetro o escuadra de precisión con galgas de espesores. El error de perpendicularidad debe ser igual o inferior a 0,1 mm por cada 100 mm de longitud mecanizada. [15]

1.5.8 Evaluación de la rigidez estática y dinámica

Se aplica una carga estática conocida como referencia en la dirección de corte sobre la brazo, midiendo la deflexión resultante con el reloj comparador. La rigidez se calcula como:

$$K = \frac{F}{\delta}$$

Para cargas dinámicas durante el mecanizado, se monitorean vibraciones mediante acelerómetro o, a nivel básico, mediante observación de calidad superficial y ausencia de marcas de vibración. Una rigidez estática superior a 500 N/mm se considera aceptable para desbaste lineal en materiales blandos y aceros de baja

aleación. [16]

1.5.9 Protocolo de seguridad operativa

Inspección visual y funcional de la sujeción que va desde el convertidor al torno, la protección de partes móviles brazo, manivela, biela, la ausencia de bordes afilados peligrosos y la estabilidad del conjunto durante la operación. Se define una lista de verificación que debe cumplirse para cada prueba. [15]

1.5.10 Consideraciones finales para la interpretación de resultados

La convalidación del convertidor no pretende demostrar una igualdad de operación con máquinas y herramienta especializadas como limadoras, mortajadoras o tornos multieje. El dispositivo cumple una función provisional y de gran utilidad en talleres, contextos educativos o de reparaciones de urgencia, tal como fue fabricado en el trabajo precedente de referencia directa para este estudio.[18] La convalidación debe interpretarse como la verificación de que el convertidor amplía el alcance operativo del torno paralelo habilitando operaciones de desbaste lineal dentro de márgenes de tolerancia y acabado adecuados para aplicaciones de desbaste, mecanizado previo y manufactura de piezas no críticas, con una configuración de recursos menor que los de equipos especializados.[15],[18].

1.6 Metodología

La investigación convalidará las operaciones de mecanizado plano en un torno paralelo adaptado con el equipo convertidor. Para esta finalidad, se desarrollará una metodología aplicada, con enfoque experimental, orientada a la convalidación de las operaciones y configuraciones del equipo-herramienta. Como parte del proceso, se incorporará una etapa de puesta en marcha, también conocida como *commissioning*, con el propósito de verificar la correcta instalación, el

funcionamiento básico, la seguridad operativa y la disponibilidad del equipo para la experimentación en el espacio de laboratorio. La investigación se dividirá en cinco fases, las cuales se representan en el siguiente diagrama:

Figura 1.1. Diagrama de fases metodológicas



Fuente: Autor.

1.6.1 FASE 1: Puesta en funcionamiento

Se realiza la verificación del montaje, la alineación, la fijación, la lubricación, la estabilidad y el recorrido útil. Para esto, se requiere un proceso estructurado y, adaptando la metodología de comisionamiento, se tomaron las siguientes fases:

- Planificación: se prueban sistemas y subsistemas para su caracterización.
- Precomisionamiento: pruebas funcionales sin carga, inspección estática y limpieza.
- Comisionamiento: pruebas dinámicas con energía y verificación del funcionamiento integrado de los componentes.
- Puesta en marcha: energización del sistema, funcionamiento del sistema y operación inicial.

1.6.2 FASE 2: Identificación y selección de potenciales operaciones

En esta fase del proyecto se determinarán las operaciones que permite realizar el equipo convertidor, teniendo en cuenta el movimiento lineal disponible, la herramienta de corte, la sujeción del material y la capacidad del torno. Esto permite realizar una preselección de operaciones permitidas dentro de las configuraciones de la máquina, como desbaste plano, rebaje plano y ranurado lineal, dando paso a la elaboración de piñonería cónica o piezas que necesiten el giro independiente de la herramienta. Las posibles operaciones serán:

- Desbaste longitudinal plano a 0°
- Ranurado lineal
- Desbaste de caras cilíndricas de componentes
- Desbaste angular entre 0° y 90°
- Preparación de caras para piñonería

1.6.3 FASE 3: Parametrización de las operaciones y configuraciones del dispositivo

Al reconocer las operaciones posibles, se procede a identificar, medir y documentar las variables que determinan el funcionamiento, junto con los factores que limitan cada ajuste y definen el número de configuraciones posibles para el equipo-herramienta. Los límites del funcionamiento pueden ser:

- Limitantes angulares: precisión del graduado angular, rango entre 0° y 90° , repetibilidad y facilidad de ajuste.
- Limitantes de sujeción: diámetro máximo de sujeción, longitud máxima de pieza, tipo de mordaza, estabilidad de piezas cilíndricas, riesgo de giro, interferencia entre buril, pieza y mordaza.

- Limitantes cinemáticas: recorrido lineal, orientación de corte con respecto al ángulo de la pieza, control de avance, retorno del sistema, interferencia en el recorrido y posibilidad de pasadas repetidas.
- Limitante geométrica: tamaño máximo de pieza, altura de la pieza respecto al buril y trabajo en ángulos cercanos a 90°.
- Limitaciones de rigidez y vibración: rigidez del cabezal divisor, rigidez del material, vibración en ángulos altos, flexión del montaje, vibración del buril y estabilidad en cortes profundos.

1.6.4 FASE 4: Diseño de la cartilla de operaciones y convalidación experimental

En esta fase se estructurará la cartilla para realizar posteriormente las pruebas en materiales blandos y de fácil adquisición. La cartilla se plantea como una ficha técnica y procedimental para cada una de las configuraciones realizables por el equipo adaptado al torno. Cada operación tendrá su propia sección-ficha, que posibilite estandarizar el proceso y replicarlo por distintos operarios dentro del área del taller de procesos de la Universidad. Cada ficha de operación incluirá el nombre de la operación, el objetivo de la operación y la descripción general del proceso, junto con los equipos, herramientas y accesorios requeridos para la instalación del equipo y la ejecución de la operación. También incluirá recomendaciones de uso e indicaciones del material blando y de fácil maquinado para las pruebas. En cada operación se tabularán los parámetros de operación del equipo para llevar un registro de mayor precisión.

Dentro de la planeación, está implementar tablas de resultado, limitantes de operación y criterios de aceptación, dependiendo de si la ejecución fue sin interferencias y el desplazamiento fue estable. La cartilla incluye operaciones de desbaste lineal, uso del cabezal divisor y la fórmula de indexación para el procedimiento específico de piñonería cónica, incluyendo el número de dientes, ángulo calculado, ángulo aplicado, observaciones de estabilidad, calidad del desbaste, seguridad y resultado final.

1.6.5 FASE 5: Convalidación final

Para la ejecución de operaciones, ajustes y convalidación por medio de la cartilla, se aplican las fichas indicadas en cada sección para registrar las pruebas, organizando las pruebas por su graduación angular respecto a la bancada. Por esta razón, la convalidación de operaciones de desbaste lineal con posicionamiento angular del material se clasificará en tres niveles de operación:

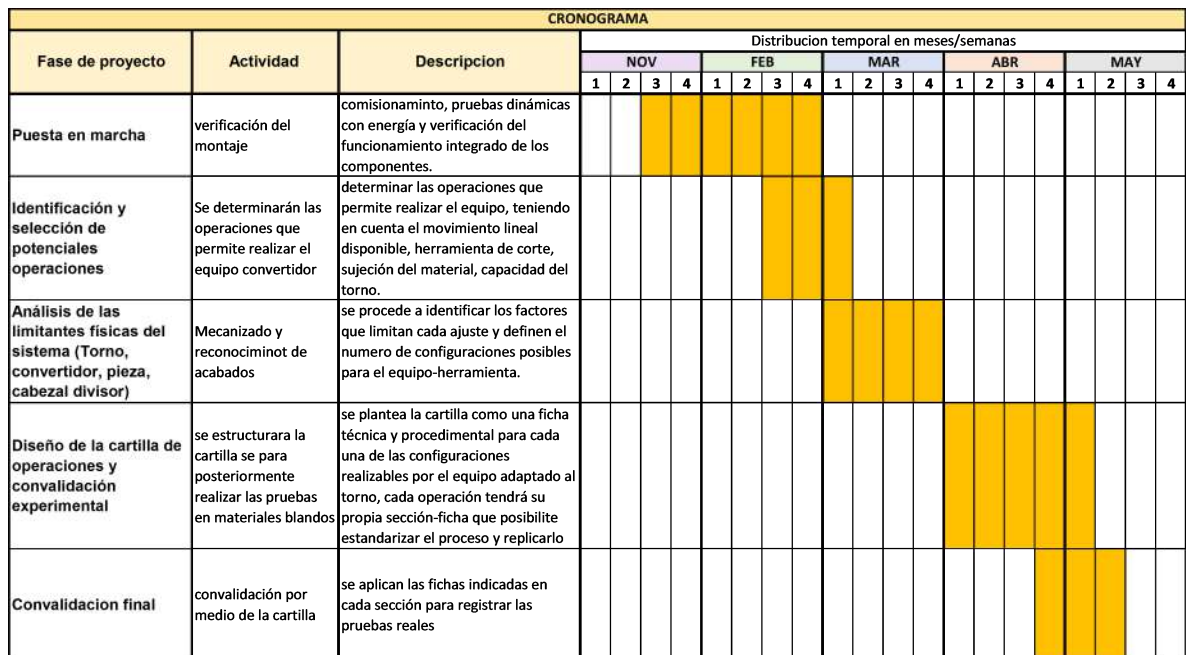
- Operaciones de desbaste lineal vertical
- Operaciones de desbaste lineal horizontal.
- Operaciones de desbaste lineal angular.

Ante esta clasificación, se tabularán los resultados de las operaciones que se pueden considerar convalidadas, con restricciones o no convalidadas por interferencias o el riesgo del equipo y del operador.

1.7 Cronograma

Para consolidar el progreso del trabajo, se organizan las fases del desarrollo en el siguiente diagrama de Gantt.

Figura 1.2. Diagrama de Gantt



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE DISEÑO, FUNCIONAMIENTO Y DEFINICIÓN DE OPERACIONES

Con el motivo de dar solución al primer objetivo y con el propósito de examinar el diseño y la operación del convertidor, así como el determinar que operaciones de mecanizado lineal se pueden desarrollar en con el dispositivo adaptado al torno, se planten dos etapas metodológicas. La primera corresponde a la caracterización del diseño y funcionamiento del convertidor, en esta se determinaron sistemas y subsistemas que integran el equipo, como se adapta y que sistema de transmisión transforma el movimiento. La segunda etapa consiste en la identificación y definición de operaciones realizables. Para ello, emplea como base el movimiento lineal producido, el rango angular que permite en cabezal divisor y condiciones de sujeción, la clasificación de estas operaciones inicialmente se realizara en función de su seguridad y posibilidad de replicación.

2.1 Puesta en funcionamiento

Debido a que el equipo ha estado en estudio durante aproximadamente cinco años y ha estado en un largo período de inactividad, genera incertidumbre acerca de su verdadero estado de funcionamiento. Por esta razón se consideró una etapa previa de Commissioning o puesta en marcha y es un proceso de aseguramiento de calidad que comprueba si los equipos o sistemas de un proyecto cumplen con los objetivos o criterios definidos. Aunque esta actividad no forma parte de la metodología principal ni forma parte del objetivo central, se considera imprescindible para evaluar la condición operativa del equipo, y se opta por utilizar el commissioning como etapa previa a la convalidación y como componente metodológico que garantiza la viabilidad del proyecto para garantizar la replicabilidad de las operaciones. El equipo-herramienta debe ser verificado en los aspectos de:

- Planeación: Caracterización de sistemas y subsistemas.

- Precomisionamiento: Verificación de montaje y desmontaje en la bancada del torno.
- Comisionamiento: Verificación de puesta en marcha inicial y funcionamiento sin interferencias de los demás sistemas
- Puesta en marcha: Operación segura del equipo con carga y revisiones previas para iniciar pruebas de mecanizado.

Este componente comienza su verificación con el desarrollo de los ítems mencionados en la primera etapa de la metodología:

2.1.1 Caracterización de sistemas y subsistemas.

Para esta fase se organiza el proceso antes de la intervención al equipo probando sistemas y subsistemas lo que se conoce comúnmente como caracterización. El sistema principal se compone de torno paralelo, equipo convertidor, cabezal divisor, herramienta de corte y la pieza de trabajo, como se muestra en la figura 2.1.

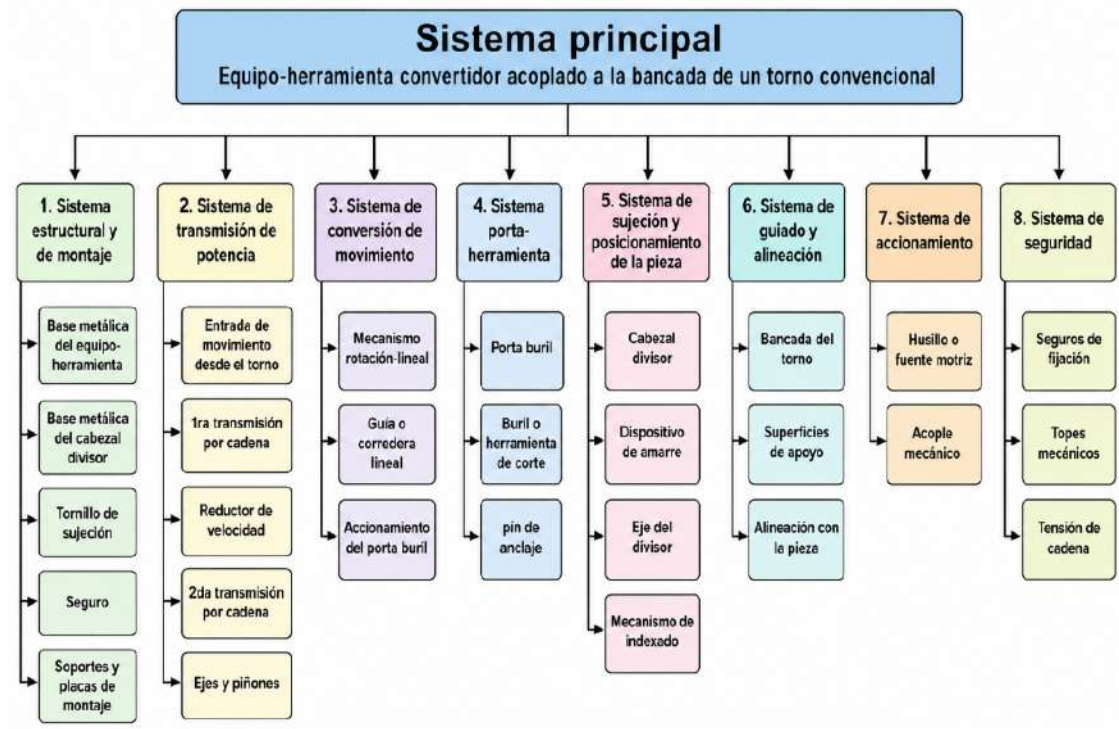
Figura 2.1. Foto del equipo



Fuente: Autor.

El desglose de los sistemas permitirá establecer condiciones de montaje y facilitará disponer de los recursos necesarios al comprobar el funcionamiento del equipo, en la siguiente figura se muestra el desglose de los sistemas y subsistemas.

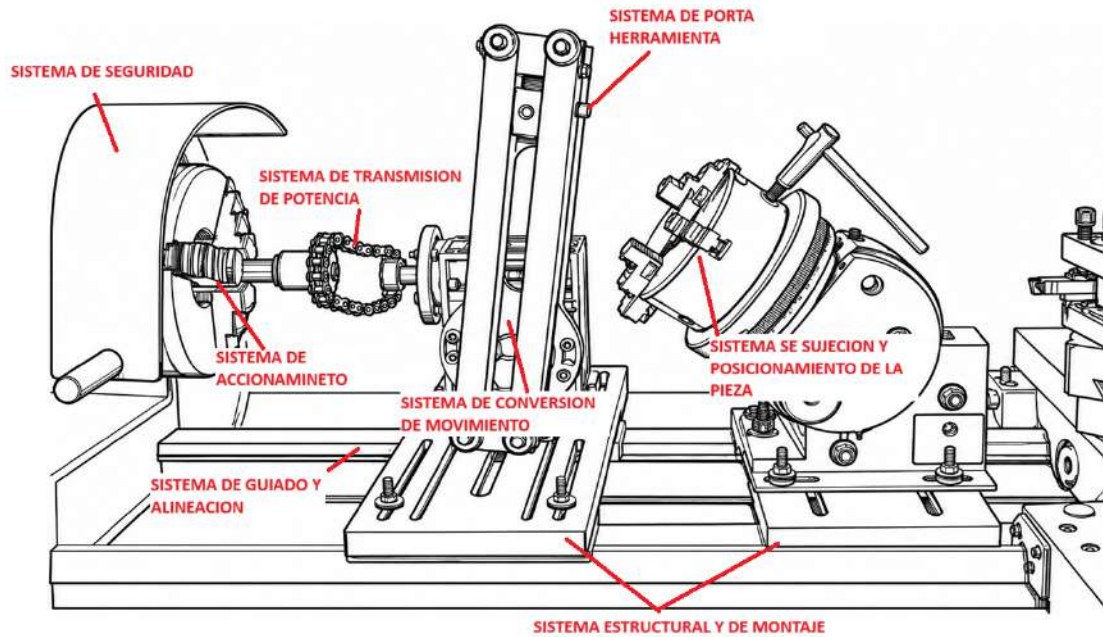
Figura 2.2. Diagrama de sistemas y subsistemas



Fuente: Autor.

A continuación se muestra una figura indicando la ubicación de los sistemas.

Figura 2.3. Diagrama de sistemas



Fuente: Autor.

2.1.2 Precomisionamiento

Corresponde a las verificaciones iniciales y parte de realizar pruebas funcionales sin carga, inspección estática y limpieza. En esta etapa fue indispensable la limpieza de la bancada y de las zonas de contacto, revisión de tornillos, seguros, cadenas, piezas móviles, lubricación, comprobación del bloqueo angular, revisión de holguras y reapriete de elementos de fijación al encontrar partes flojas.

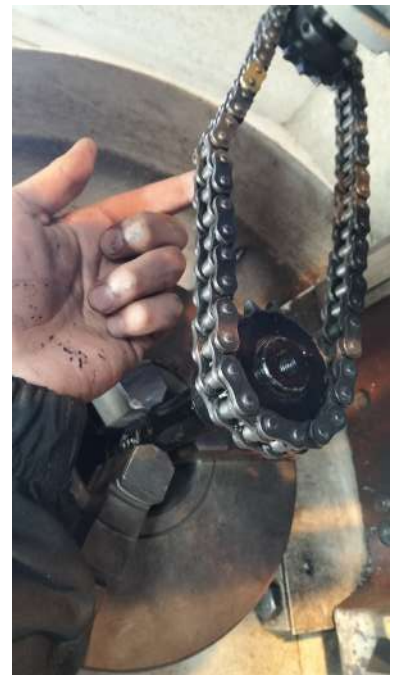
Figura 2.4. Actividades iniciales de precomisionamiento



Limpieza de la bancada



Reapriete de elementos de fijación



Revisión de cadenas

Fuente: Autor.

Esta fase tiene la función de reducir riesgos antes de encender el torno paralelo y aplicar carga de mecanizado al convertidor y sus subsistemas, se realizaron ins-pecciones estáticas sin carga y se verificó que el equipo estuviera limpio, lubricado y correctamente ensamblado, como se muestra en las figuras 2.4 a 2.6.

Figura 2.5. Ajuste y alineación del equipo



Ajuste a la bancada



Alineación del equipo

Fuente: Autor.

Figura 2.6. Fijación en la bancada y lubricación de caja reductora



Fijación en la bancada



Lubricación de caja reductora

Fuente: Autor.

Figura 2.7. Integración del cabezal divisor



Fuente: Autor.

La fase de precomisionamiento culmina cuando se establecen las condiciones de montaje óptimas para la integración de los subsistemas del equipo y se comprueba su buen funcionamiento para comenzar las pruebas de desbaste lineal. También se debe revisar que el cabezal divisor permita graduar y prensar la pieza a maquinar en el ángulo requerido antes de las pruebas dinámicas.

Las pruebas de precomisionamiento resultaron exitosas y adecuaron el sistema para su funcionamiento.

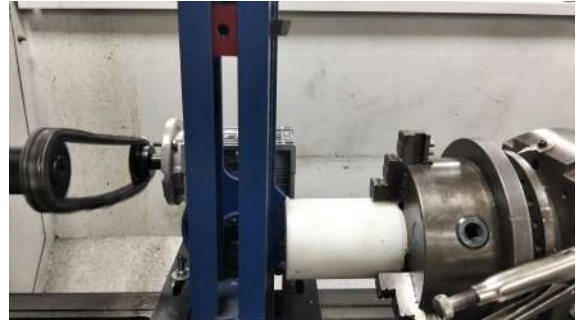
2.1.3 Comisionamiento

Esta etapa implica realizar pruebas dinámicas energizando el sistema, verificando el funcionamiento, integrado los componentes, esperando que este sea adecuado. Para esta fase se comprobará que el movimiento rotativo se transforme correctamente sin carga y con carga de mecanizado como se visualiza en la figura 2.7.

Figura 2.8. Pruebas de comisionamiento sin carga y con carga



Equipo sin carga



Equipo con carga

Fuente: Autor.

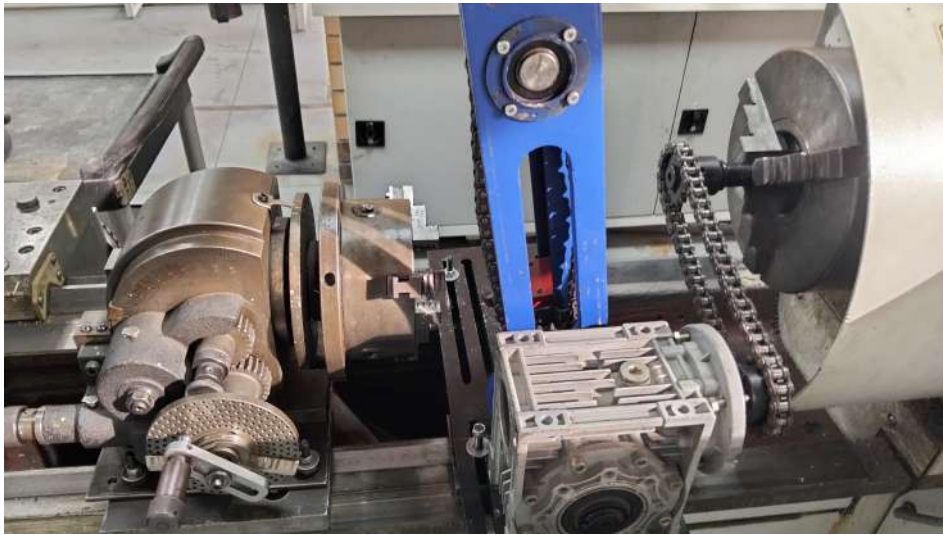
Las pruebas con carga resultaron exitosas y se comprobó que el sistema completo puede trabajar de manera integrada con el torno convencional.

2.1.4 Puesta en marcha

Se realiza cuando el equipo ya se encuentra en condiciones de operación reales y se puede energizar el sistema, se da comienzo a las pruebas de funcionamiento del sistema y a la operación inicial bajo condiciones controladas, se dan las primeras pasadas de desbaste ligero, en un material real, inspeccionando el corte, observación de las vibraciones del equipo que permitirán definir y ajustar un rango de velocidad óptimo, para que el equipo opere de manera estable, con menor golpeteo, menor vibración y sin evidenciar condiciones anormales de operación.

En las siguientes figuras apreciamos la puesta en marcha del equipo y las configuraciones de velocidad, las cuales se encuentran ubicadas en la parte superior del cabezal del torno, donde se encuentran palancas que gradúan las revoluciones (RPM) del plato y el husillo, en este caso se dejó la configuración en 500 RPM, debido a que las pruebas se realizarán en material teflón.

Figura 2.9. Foto del equipo en puesta en marcha



Fuente: Autor.

Figura 2.10. Configuración del torno



Fuente: Autor.

Una vez hecha la inspección de la máquina para prevenir el riesgo de desgaste en sus componentes por velocidades excesivas, se observó que el equipo tiende a oscilar, el ruido y las vibraciones aumentan indicando condiciones menos favorables de trabajo. Se utilizó un tacómetro de contacto para conocer la velocidad promedio del eje de salida, al mantener velocidad del husillo estable en 500 RPM hacia el eje

de entrada, se identificó, después de varias tomas que la velocidad promedio del eje de salida del reductor sin fin corona es de 14.9 RPM, apreciables en la figura 2.10.

Figura 2.11. Velocidad del eje de salida



Fuente: Autor.

Nota: El quipo permite realizar operaciones reales de desbaste en material teflón debido a su facil adquisicion y manejo y así se puede comenzar la fase que convalidación operativa.

2.2 Identificación y selección de operaciones

Durante esta fase se identifica el potencial operacional del quipo (capacidad de realizar desbaste, indexado angular y repetibilidad del posicionamiento), para ejecutar operaciones de mecanizado que combinan el desbaste lineal o longitudinal

plano, con el posicionamiento angular proporcionado por el cabezal divisor. Para ello se definen de operaciones de desbaste lineal, debido a que el convertidor tiene movimiento longitudinal, con finalidad de preparar caras para piñonería y mecanizado de superficies planas en piezas prensadas.

Con el fin de definir las operaciones de desbaste relacionadas con posicionamiento del material respecto al brazo del convertidor, se elaboró una tabla de operaciones según los ángulos de trabajo correspondientes, la cual se puede ajustar dependiendo de los resultados experimentales.

Tabla 2.1. Listado preliminar de operaciones clasificadas por ángulo de trabajo

Operación	Ángulo cabezal respecto a bancada	Ángulo brazo respecto a bancada	Finalidad
Desbaste lineal vertical	0°	90°	Mecanizar una cara plana, en un plano vertical de la pieza
Desbaste lineal angular	0-90°	0°-90°	Mecanizar superficies inclinadas a diversos ángulos
Desbaste lineal horizontal	0°	0°	Mecanizar una cara plana, en un plano vertical

Fuente: Autor.

2.2.1 Desbaste lineal vertical:

Corresponde a la operación que se realiza con el brazo de la corredera posicionado a 90° respecto a la bancada del torno y el cabezal divisor posicionando a 0°. En esta configuración, el movimiento del elemento de corte se lleva a cabo de forma perpendicular a la bancada, permitiendo la generación de ranuras, refrentados y superficies mecanizadas mediante el avance vertical. La operación se puede apreciar en la siguiente imagen.

Figura 2.12. Prueba de desbaste plano



Fuente: Autor.

2.2.2 Desbaste lineal angular:

Corresponde a las operaciones relacionadas con el brazo ajustado en una posición entre 0° y 90° respecto a la bancada. Adicionalmente, el cabezal divisor puede estar orientado angularmente entre 0° y 75° , siempre y cuando el ángulo sea diferente al configurado en el brazo. Esta disposición permite generar superficies inclinadas, perfiles angulares y geometrías que requieran diferente orientación de corte.

Figura 2.13. Desbaste angular



Fuente: Autor.

2.2.3 Desabaste lineal horizontal:

Corresponde a la operación que se realiza con el brazo de la corredera posicionado a 0° respecto a la bancada del torno y el cabezal divisor posicionando a 0° . En esta configuración, el desplazamiento del elemento de corte ocurre de forma paralela a la bancada, permitiendo operaciones de desbaste longitudinal. En consecuencia, a las limitaciones geométricas actuales del sistema, esta configuración requiere el desarrollo de una base adaptadora que permita desplazar lateralmente el cabezal divisor para evitar interferencias con la corredera y garantizar el recorrido completo de la herramienta de corte.

Figura 2.14. Posicionamiento para desbaste horizontal



Fuente: Autor.

CAPÍTULO 3

PARAMETRIZACIÓN DE LAS OPERACIONES Y CONFIGURACIONES DEL DISPOSITIVO

3.1 Parametrización

La parametrización del convertidor implica determinar y describir las variables de seguridad, operativas, cinemáticas y geométricas que afectan su funcionamiento. Este procedimiento posibilitará definir los límites de operación, las configuraciones permitidas y las restricciones del equipo, lo que hace viable el uso del equipo en las condiciones apropiadas para realizar operaciones de mecanizado y garantiza las condiciones adecuadas para su validación y documentación.

Identificar los diferentes sistemas que conforman el equipo fue el primer paso; ahora corresponde identificar el espacio funcional de cada sistema y establecer cuáles áreas deben ser evaluadas y calificadas como zonas de análisis. Las limitaciones de espacio se presentaron en una lista y, para priorizar el orden, se dividirán en una sección mediante niveles representados en la siguiente tabla.

Tabla 3.1. Clasificación de zonas del sistema

Zonas de análisis	Se revisa	Importancia
Espacio en bancada	Area para montaje y desplazamiento del equipo	La disponibilidad de espacio en la bancada permite conocer la viabilidad de instalación del convertidor y del cabezal divisor, permite identificar interferencias mecanizas.

Transmision	cadenas, reductor, plato y acoples	Revisar el sistema de transmisión facilita verificar la correcta transmisión de potencia y de movimiento hacia el convertidor, su evaluación permitirá identificar desgaste prematuros y limitaciones de velocidad.
Recorrido lineal	carrera del porta herramienta	Revisar el recorrido permite determinar la capacidad de desplazamiento de la corredera dentro del brazo. Este parámetro influye en la productividad y en la variedad de operaciones.
Zona de trabajo	Espacio entre buril, material y cabezal divisor	Analizar la zona de trabajo permite determinar las dimensiones máximas de las piezas que pueden ser mecanizadas y garantiza que exista el espacio suficiente para una operación segura.
Cabezal divisor	Posibles contactos entre el cabezal al inclinar el material y estructura del convertidor	El cabezal divisor determina la capacidad de sujeción posicionamiento y rotación de las piezas y su correcto funcionamiento es directamente proporcional con la precisión de operación.
seguridad de operario	Area de trabajo, zona para observar y graduar el equipo	Las revisiones a las condiciones de seguridad operativa identifican riesgos relacionados con el montaje, transmisión, sujeción, y operación del equipo. Su estudio protege al operario y a la integridad del equipo.

Fuente: Autor.

3.1.1 Parametrización geométrica

Los parámetros geométricos son configuraciones físicas del convertidor y son fundamentales para asegurar que el convertidor funcione de manera correcta y precisa, los parámetros más importantes se describen a continuación y serán tabulados en la tabla 3.2:

- **Ángulo de inclinación del brazo:** Es el ángulo de inclinación de la brazo en relación con la base de la máquina. Un ajuste correcto posibilita el desbaste de superficies inclinadas de manera óptima y asegura la exactitud del maquinado.
- **Rango angular del cabezal divisor:** El cabezal divisor permite ajustar los ángulos del material prensado para hacer cortes precisos. Es esencial ajustar el ángulo de manera adecuada para asegurar que las operaciones de maquinado se ajusten de manera correcta en las inclinaciones requeridas.
- **Zona útil de la bancada:** Hace referencia al espacio libre sobre la bancada del tono utilizada para el movimiento y posicionamiento del cabezal divisor de manera operativa, teniendo en cuenta que el convertidor esta instalado de forma fija a la bancada. Esta es el área que asegura el libre desplazamiento del cabezal divisor, sin obstáculos mecánicos o colisiones con respecto al convertidor.
- **Recorrido lineal:** Este parámetro refiere a la distancia máxima que el porta buril es capaz de recorrer durante el proceso de mecanizado. Identificas la longitud de carrera útil posibilita cubrir varias longitudes de piezas sin la necesidad de reconfigurar el equipo.
- **Distancia entre elementos de transmisión:** La separación entre elementos de transmisión como son la cadena y el reductor garantizan una transmisión eficaz del movimiento. En un diseño apropiado la distancia entre estos elementos reduce las pérdidas de energía y optimiza la reacción del equipo en la operación.
- **Diámetro máximo de sujeción:** Se refiere al diámetro máximo de un material cilindrico que las mordazas del cabezal divisor son capaces de prensar adecuadamente sin poner en riesgo la estabilidad de la pieza ni la seguridad del procedimiento.
- **Altura de corte:** Corresponde a la distancia que existe entre el filo activo del elemento de corte y la superficie de la bancada del torno, la cual determina el espacio útil para realizar las operaciones de mecanizado y la capacidad para posicionar piezas de trabajo.

Tabla 3.2. Parámetros geométricos del convertidor

Elemento	Parámetro	Valor medido	Unidad	Método de medición
Brazo	Ángulo de inclinación (θ_c)	0-90	grados	Goniómetro
Cabezal divisor	Rango angular (θ_d)	0–75	grados	Según configuración
Bancada	Zona útil	200	mm	Verificar en montaje
Porta herramientas	Recorrido lineal	350	mm	Flexómetro
Convertidor	Distancia entre elementos de transmisión	300	mm	Flexómetro
Pieza de trabajo	Diámetro máximo de sujeción	110	mm	pie de rey
Buril	Altura de corte	250	mm	Alinear con eje

Fuente: Autor.

3.1.2 Parámetros cinemáticos

Estos parámetros son importantes para entender el comportamiento dinámico del convertidor y su habilidad para ejecutar operaciones de mecanizado, los parámetros principales se describen a continuación y serán tabulados en el cuadro 3.3.

- Velocidad del giro del husillo: Este parámetro indica la velocidad a la que rota el

husillo del torno, generalmente se expresa en revoluciones por minuto (RPM). La rapidez a la que gira el husillo tiene un impacto directo en la calidad del acabado de la pieza y en el rendimiento del corte.

- RPM de entrada: refiere a la velocidad de giro que es transmitido por el sistema motor al eje de entrada de la caja reductora y se expresa en revoluciones por minuto (RPM).
- Relación de la transmisión por cadena: la relación de transmisión de la cadena se define como la proporción existente entre la velocidad de rotación del husillo y la velocidad a la que se mueve la cadena enviando movimiento al reductor.
- Relación de la reducción de la caja reductora: Este parámetro caracteriza la correlación entre la velocidad de salida y la de entrada del reductor. Una relación de reducción permite incrementar el par motor, a la vez que se reduce la velocidad de rotación.
- RPM de salida: Se refiere a la velocidad de giro que entrega el sistema de reducción de movimiento, se expresa en revoluciones por minuto (RPM).
- Velocidad lineal del porta buril: En los procesos de mecanizado, la velocidad lineal del porta buril es la rapidez con la que este se desplaza a lo largo de la brazo.

Tabla 3.3. Tabla de parámetros cinemáticos

Parámetro	Valor	Unidad	Método de medición
RPM del husillo	500	RPM	Tacómetro
RPM entrada reductor	500	RPM	Cálculo
Relación transmisión cadena	1:1	Relación	Numero de dientes
Relación de reducción	1:30	Relación	Placa de reductor
RPM salida	16.7	RPM	Cálculo
Vel lineal del portaburil	3396	mm/min	Medición y cálculo

Fuente: Autor.

3.1.3 Parámetros operativos

Los parámetros operativos son necesarios para planificar y optimizar las operaciones de mecanizado en el equipo-herramienta convertidor, a continuación, se describen los principales parámetros que se encuentran tabulados en la tabla correspondiente.

- **Profundidad de corte:** Este parámetro variable se refiere al volumen de material que es eliminado con cada pasada del elemento de corte. La profundidad de corte tiene que ser ajustada con cuidado, debido a que afecta la calidad del acabado superficial y la eficiencia del maquinado. Si se incrementa de manera excesiva la profundidad del corte, existe el riesgo de desgaste prematuro de la herramienta, disminución de la precisión y daños en la máquina por deformación o trabajo excesivo.
- **Numero de pasadas:** La cantidad de pasadas señala el número de veces que

es necesario recorrer con el porta buril para conseguir la geometría requerida, este parámetro tiene que ver con la longitud del mecanizado y el nivel de profundidad del corte. Un número de pasadas apropiado reduce el riesgo de sobrecalentamiento de la herramienta de corte.

- Longitud de mecanizado: Este parámetro se refiere a la distancia total a lo largo en la cual se lleva a cabo el corte en la pieza maquinada. Se requiere este parámetro para calcular el tiempo total de funcionamiento y la cantidad de material que se puede retirar.
- Tiempo de mecanizado: Este parámetro hace referencia a la duración de tiempo total necesaria para finalizar el proceso de maquinado, está determinado por múltiples elementos. Para optimizar la productividad, es necesario analizar el tiempo de mecanizado.
- Profundidad de pasada: Se denomina profundidad de pasada a la cantidad de material removido por el elemento de corte durante una pasada de mecanizado, es medida como la penetración perpendicular del buril respecto a la superficie de la pieza maquinada. Afecta directamente al cavado superficial y a la estabilidad del proceso.
- Velocidad angular del torno: Corresponde a la rapidez de guro del husillo del torno, se expresa en revoluciones por minuto (RPM). Este parámetro determina la velocidad de rotación transmitida al sistema y afecta al comportamiento dinámico del equipo.

Tabla 3.4. Tabla de parametrización de operaciones

Parámetros	Rango	Unidad
Profundidad de pasada	3	mm
N.º de pasadas	4	-
Longitud de mecanizado	350	mm
Avance lineal	3396	mm/min
Velocidad angular del torno	500	RPM
Tiempo de operación	14	seg/ciclo

Fuente: Autor.

3.1.4 Paramertros de seguridad

Los parámetros de seguridad operativa son un conjunto de condiciones, verificaciones y sugerencias que se tienen que cumplir antes, durante y después del uso del convertidor de movimiento adaptable al torno. Su evaluación tiene como objetivo minimizar los riesgos para el operario, evita el deterioro de componentes y garantiza la correcta ejecución de las operaciones de mecanizado. Se creo la tabla 3.5 de parámetros de seguridad que compila los aspectos mas relevantes identificados en las pruebas de montaje y funcionamiento del equipo. Los parámetros se describen a continuación:

- Guardas y protecciones del torno: Las guardas y protecciones del torno son la primera barrera de seguridad contra los componentes móviles de la máquina. Su inspección posibilita comprobar que las partes móviles y los componentes de transmisión permanezcan resguardadas reduciendo el riesgo de atrapamiento.
- Sujeción del equipo: Para garantizar la estabilidad del sistema, es necesario que el cabezal divisor y el convertidor estén correctamente fijados sobre la

bancada. Una mala sujeción provoca vibraciones excesivas.

- Alineación de transmisión: La alineación de los piñones, cadenas y componentes de transmisión, garantizan una la transmisión de potencia adecuada.
- Elementos de protección personal (EPP): Es indispensable reducir los riesgos relacionados con procesos de mecanizado, es indispensable el uso de elementos de protección personal, se recomienda el uso de gafas de seguridad, botas de seguridad, protección auditiva y ropa de trabajo.
- Área de trabajo: El área de trabajo debe conservarse despejada, organizada y libre de obstáculos que pueden interferir con la operación del equipo. La acumulación de viruta, residuos o herramientas pueden obstaculizar los movimientos del operario.
- Parada de emergencia: La disponibilidad y correcto funcionamiento del sistema de parada de emergencia permiten la detención inmediata de la operación en caso de una falla inesperada.

Tabla 3.5. Parámetros de seguridad del equipo convertidor

Parámetro	Condición segura	Verificación
Guardas y protecciones del torno	Instaladas y sin interferencias con el equipo	Revisión visual
Sujeción del equipo	Firme en la bancada	Revisión de tornillos y apoyos
Alineación de transmisión	Cadena y catarinas alineadas	Observación y medición antes del arranque
Elementos de protección personal (EPP)	Gafas, bata y calzado de seguridad	Lista solicitada para el laboratorio
Área de trabajo	Libre de obstáculos y viruta acumulada	Inspección y limpieza de la bancada
Parada de emergencia	Accesible	Prueba previa al accionamiento

Fuente: Autor.

3.1.5 Matriz de limitantes

Esta matriz es una herramienta de análisis que se emplea para detectar y categorizar las restricciones funcionales, operativas y técnicas que se han notado en el proceso de desarrollo y validación del convertidor. Su propósito es registrar los factores que afectan el rendimiento del sistema, determinando sus posibles causas y consecuencias, dando la oportunidad futura para mejorar el prototipo. La elaboración de esta matriz permitió la organización de limitantes identificadas en los ensayos experimentales.

Tabla 3.6. Tabla de limitantes

Elemento	Limitante	Consecuencia	Medida de control
Brazo	El ángulo está limitado entre 0° y 90°	Colisión mecánica con el divisor o con el husillo	Ajustar ángulos que no superen los 90°
Brazo	Para ángulos entre 50°-80°	Bloqueo del desplazamiento	Compensar el ángulo de trabajo con el cabezal divisor
Elemento de corte	Interferencia entre el porta buril y el cabezal	Colisión y pérdida de carrera útil	Reposicionar herramienta de corte
Cadena de transmisión	Tensión inadecuada	Holgura y salto de cadena	Alinear transmisión, ajustar la distancia entre plato y reductor y tensar cadena
Cadena brazo	Tensión inadecuada y holgura	Desgaste en los eslabones de la cadena y pérdida potencia	Adicionar o suspender eslabones
Elemento de sujeción	Geometría de la pieza no compatible	Limitación en operaciones de mecanizado	Seleccionar mordaza o cabezal adecuado
Medio eslabón fabricado	Pieza no comercial	Riesgo de rotura	Sustituir componente
Caja reductora	Relación de transmisión de potencia	Daño interno	Limitar recorrido y no exceder torque nominal
Porta buril	Vibración dentro de la guía de la corredera	Golpe estructural	Revisión de recorrido sin carga y ajuste de la sujeción del dado
Buril	Existe una única pieza	Defectos dimensionales y limitación de acabados	Reajuste y afilado de nuevos buriles
Profundidad de corte	No exceder los 4 mm por pasada	Vibración o flexión de la estructura brazo	Reducir pasada
Velocidad de transmisión	Velocidad angular a la entrada del reductor	Vibraciones anormales desde 700 RPM	Ajustar la velocidad del torno a 500 RPM
Peso del equipo	No manipular el equipo manualmente por una sola persona	Lesiones en antebrazos y espalda del operario	Utilizar ayudas mecánicas

Fuente: Autor.

3.2 Configuración de aplicaciones permitidas

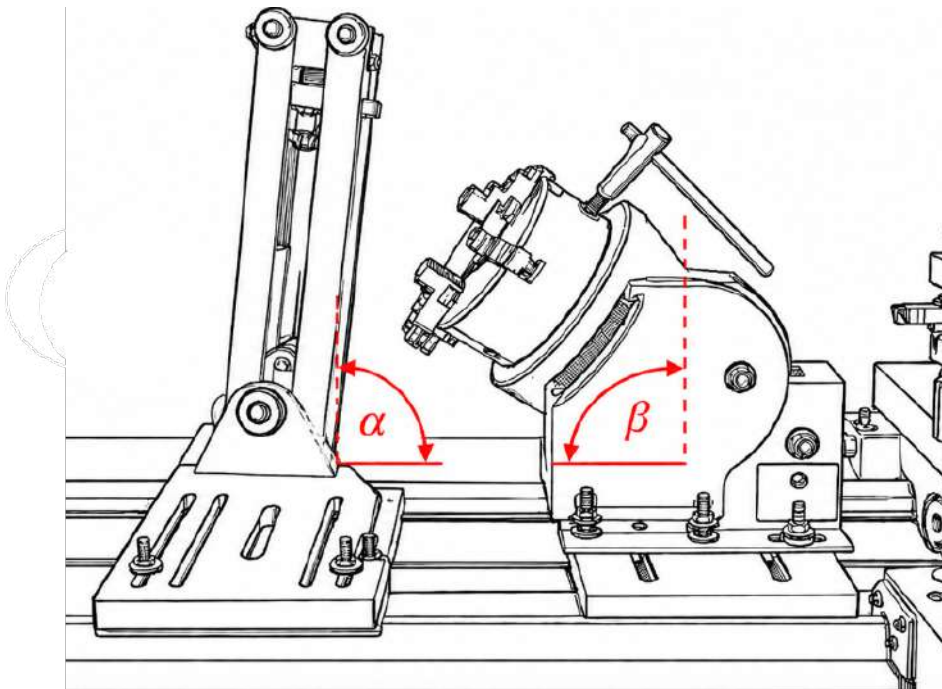
El convertidor es una herramienta que posibilita realizar desbaste lineal, pero al mismo tiempo efectuar diversas operaciones de mecanizado mediante ajustes y configuraciones angulares, estas configuraciones angulares permiten al operario adaptar el equipo a la necesidad del proceso de desbaste.

Con base en las capacidades mecánicas identificadas en el desarrollo del proyecto y en los rangos de movimiento disponibles en el convertidor se propone una

matriz preliminar de configuración de operaciones. Esta matriz tiene como objetivo determinar las configuraciones necesarias para ejecutar distintos procesos de mecanizado que ampliaran el rango operativo en el torno paralelo, considerando aspectos como el sistema de sujeción, posición angular del brazo, orientación del cabezal divisor y componentes auxiliares requeridos para cada operación.

En el transcurso de este estudio se puede determinar que el equipo se encuentra en una fase de validación funcional. Debido a esto, aún tiene la posibilidad de mejorar en aspectos como, espacio de trabajo, adaptación del cabezal divisor y optimización de ciertos componentes. Por lo tanto, las propuestas expuestas deben considerarse como una propuesta inicial de operación. Dependiendo de los ángulos del brazo, cabezal y prensa o torreta, como se muestra en la figura 3.1, a continuación, se presenta la tabla 3.7 de las configuraciones permisibles del conjunto.

Figura 3.1. Angulo del cabezal y del brazo



Fuente: Generación propia.

Tabla 3.7. Configuraciones operativas del convertidor

Configuración	Ángulo de brazo	Ángulo de cabezal	Angulo Torreta	Operación
C1	0°	0°	NA	Desbaste plano horizontal
C2	0°	90°	NA	NA
C3	0°	15°- 30°	NA	Desbaste plano angular
C4	90°	0°	NA	Desbaste plano vertical
C5	90°	0°- 75°	NA	Desbaste plano angular
C6	90°	90°	NA	Desbaste plano vertical
C7	0°- 90°	0°- 90°	NA	Desbaste plano angular
C8	0°	NA	0°	Desbaste plano horizontal
C9	0°- 90°	NA	0°	Desbaste plano angular
C10	90°	NA	0°	Desbaste plano vertical

Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta los criterios de configuración angulares y de sujeción, a continuación, se presenta una tabla 3.8 de las operaciones de mecanizado permisibles con el uso del convertidor.

Tabla 3.8. Operaciones de mecanizado permisibles con el convertidor

Operación de mecanizado	Elemento de sujeción	Geometría del material base	Configuraciones	Herramienta de corte	Complementos
Mecanizado de piñones rectos	Cabezal divisor	Cilíndrica	C1	Buril de punta aguda	Requiere base adaptadora lateral que permita el desplazamiento del brazo
Mecanizado de piñones cónicos	Cabezal divisor	Cilíndrica	C3, C5 o C7	Buril perfilado	Ajustar el ángulo del brazo o del cabezal según se requiera
Chavetas	Cabezal divisor	Cilíndrica	C1 o C6	Buril recto	Requiere revisar alineación respecto al eje de la pieza
Polígonos regulares	Cabezal divisor	Cilíndrica	C1	Buril recto	Según geometría de la pieza utilizar divisiones controladas del cabezal
Estriado Interno o externo	Cabezal divisor	Cilíndrica	C1	Buril de perfil	Utilizar dispositivo de corte especial para interiores
Desbaste o pulido angular cilíndrico (generación de conos)	Cabezal divisor	Cilíndrica	C3, C5 o C7	Buril recto	Ajustar brazo firmemente en posición adecuada
Desbaste o pulido plano	Prensa torreta o	Geometría plana	C8 o C10	Buril recto	Realizar múltiples pasadas cuidando la profundidad
Desbaste o pulido angular plano (generación de biseles)	Prensa torreta o	Geometría plana	C9	Buril recto	Realizar múltiples pasadas cuidando el ángulo del bisel
Ranurado	Cabezal divisor, Prensa torreta o	Cilíndrica o Geometría plana	C1 o C6, C8	Buril ranurador	Requiere revisar alineación respecto al eje de la pieza o la superficie plana

Fuente: Autor.

3.2.1 Resultados de validación

Como etapa previa a la validación, se determinaron los parámetros funcionales del convertidor con sus rangos de operación permitidos además de sus restricciones físicas, los cuales se especifican en la siguiente matriz, donde se relaciona cada variable del equipo-herramienta convertidor.

Tabla 3.9. Matriz consolidada de parámetros experimentales del convertidor

Variable evaluada	Rango o valor experimental	Unidad	Condición	Restricción operativa
Longitud útil de bancada	200	mm	Medido	Verificar en montaje antes de operar
Recorrido lineal del porta herramientas	350	mm	Medido	No superar la carrera disponible
Rango angular del cabezal divisor	0–75	grados	Permitido	Ajustar según la operación requerida
Ángulo de inclinación de brazo	0–90	grados	Permitido	Evitar interferencias entre 80°–50°
Diámetro máximo de pieza	110	mm	Medido	Garantizar sujeción segura en el cabezal
Profundidad de pasada	3	mm	Validado	No exceder 4 mm por pasada
Número de pasadas	4	–	Validado	Incrementar de forma progresiva
Velocidad angular del husillo	500	RPM	Validado	Reducir si aparecen vibraciones
Velocidad lineal del porta buril	3396	mm/min	Calculado	Mantener alineación y lubricación
Tiempo de carrera	14	seg/ciclo	Medido	Supervisar el ciclo completo de corte

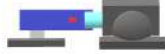
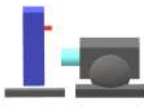
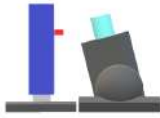
Fuente: Autor.

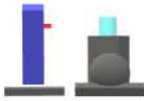
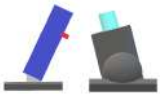
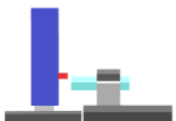
Posteriormente, en la etapa de validación, donde las operaciones evaluadas se desarrollaron fijando las piezas de trabajo exclusivamente en el cabezal divisor, debido a que no se cuenta con una prensa de sujeción ajustable a la bancada que permita el trabajo sobre superficies planas. Además, las pruebas

se realizaron en material polimérico teflón de geometría cilíndrica, teniendo en cuenta su disponibilidad y a las condiciones de montaje del sistema durante la fase experimental.

Los resultados se presentados en la tabla 3.10, pertenecen únicamente a las operaciones que pudieron ser ejecutadas y evaluadas durante el desarrollo de este trabajo, debido a que el convertidor se encuentra en un estado de validación funcional y necesita algunos accesorios o aditamentos complementarios que permitan realizar todas las configuraciones anteriormente mencionadas.

Tabla 3.10. Matriz consolidada de validación experimental

Operación	Configuración	Montaje	Observación
Desbaste plano horizontal	C1		Esta configuración permite maquinado de piñones rectos, polígonos regulares, chavetas y estriados. Necesita una base adicional que permita el desplazamiento lateral del elemento de sujeción.
NA	C2		Esta configuración no permite efectuar operaciones de mecanizado, debido al no contacto entre el elemento de corte y la pieza.
Desbaste plano angular	C3		Esta configuración permite maquinado de piñones cónicos y desbaste angular cónico. El rango de graduación angular del cabezal esta limitado a ángulos entre 15 y 30 grados Necesita una base adicional que permita el desplazamiento lateral del elemento de sujeción.
Desbaste plano vertical	C4		Esta configuración permite maquinado para preparación de caras. No requiere equipos adicionales.
Desbaste plano angular	C5		Esta configuración permite maquinado de piñones cónicos y desbaste angular cónico. El rango de graduación angular del cabezal no está limitado No requiere equipos adicionales.

Operación	Configuración	Montaje	Observación
Desbaste plano vertical	C6		Esta configuración permite maquinado de chavetas, chaveteros y ranurados. No requiere equipos adicionales.
Desbaste plano angular	C7		Esta configuración permite maquinado de piñones cónicos y desbaste o pulido angular cónico. El rango de graduación angular no está limitado, ni por el brazo ni el cabezal. No requiere equipos adicionales.
Desbaste plano horizontal	C8		Esta configuración permite maquinado plano en superficies horizontales. Se requiere un elemento de sujeción de la pieza, que puede ser una prensa o la torreta del torno.
Desbaste plano angular	C9		Esta configuración permite maquinado plano angular para la generación de biseles. Se requiere un elemento de sujeción de la pieza, que puede ser una prensa o la torreta del torno.
Desbaste plano vertical	C10		Esta configuración permite maquinado plano en superficies verticales. Se requiere un elemento de sujeción de la pieza, que puede ser una prensa o la torreta del torno.

Fuente: Autor.

Nota: En todas las configuraciones se hace necesario un elemento de sujeción para diferentes herramientas de corte o buriles especializados.

Los resultados de las configuraciones analizadas permitieron identificar las posiciones mas adecuadas para realizar operaciones de mecanizado plano. Esta información ayuda a la toma de decisiones en el proceso de preparación del equipo y reduce los tiempos de preparación y operación. En las siguiente figura se puede ver el montaje de una configuracion.

Figura 3.2. Pociónamiento de configuraciones



Fuente: Autor.

En la configuración C1 el brazo debe estar en ángulo de 0° con respecto a la bancada del torno para llevar a cabo operaciones de mecanizado para piñonería recta y cuñeros. Esta disposición permite el movimiento del elemento de corte en dirección paralela al eje longitudinal de la pieza. Esta posición se muestra en la siguiente imagen.

No obstante, en la configuración actual del sistema, el posicionamiento del brazo de la brazo a 0° está limitado por restricciones de espacio debido a la proximidad entre el convertidor y el cabezal divisor; por lo tanto, se propone añadir como mejoras futuras que posibiliten el desplazamiento lateral, generando el espacio operativo necesario para el recorrido libre de la brazo.

Figura 3.3. Posición de brazo en función de piñonería



Fuente: Autor.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA CARTILLA

4.1 Diseño de la cartilla

La cartilla describe el uso del equipo-herramienta encargado de convertir el movimiento giratorio del husillo del torno en un movimiento lineal de desbaste con variación angular. Para ello, utiliza un buril como elemento de corte y un cabezal divisor como sistema de sujeción y posicionamiento angular.

Lo primero que tendrá el documento es el cajetín de identificación de la cartilla técnica, es el bloque de control documental. Tiene la función de documentar la información para convalidar y rastrear el documento, lo que permite llevar un control de la versión vigente, el código de la cartilla, la fecha de emisión y los responsables de la emisión y aprobación de los protocolos. El cajetín es apreciable en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Cajetín de identificación de la cartilla técnica

Código del documento	MO-EC-001
Versión	1.0
Fecha de emisión	19 de junio de 2026
Área responsable	
Elaborado por	
Revisado por	
Aprobado por	

Fuente: Autor.

4.1.1 Organización de la cartilla

La cartilla será organizada en secciones inspiradas en manuales de instrucciones e instalación. Las secciones se mencionan a continuación:

1. **Objetivo de la cartilla:** En donde se define el propósito técnico y operativo del documento.
2. **Alcance:** especificando los usuarios autorizados y las actividades cubiertas por el procedimiento.
3. **Descripción del equipo:** con sus componentes principales y principio de funcionamiento.
4. **Componentes principales:** Es la identificación general del equipo, incluyendo nombre, ubicación, responsables y datos básicos de control documental.
5. **Condiciones de seguridad:** incluyendo inspección visual, uso de elementos de protección y verificación del montaje.
6. **Riesgos y fallos frecuentes:** Menciona los riesgos y fallas mas comunes identificados durante los procesos de mecanizado con el equipo.

A continuación, está la tabla de riesgos y fallas frecuentes, es un instrumento técnico que se emplea para detectar, registrar y examinar las condiciones inseguras, conductas anormales y potenciales fallas mecánicas que pueden ocurrir en la instalación, configuración y funcionamiento de convertidor de movimiento. El objetivo principal de esta tabla es organizar los riesgos operativos y errores que se detentan experimentalmente, lo cual permite la creación de recomendaciones y toma de acciones preventivas y correctivas.

Tabla 4.2. Riesgos y fallas frecuentes del equipo convertidor

Situación	Causa probable	Acción recomendada
Vibración excesiva	Fijación deficiente o desalineación	Revisar anclaje y alineación

Movimiento irregular	Holgura o mala tensión en cadena	Ajustar tensión y verificar desgaste
Mal acabado superficial	Buril mal afilado o mal posicionado	Corregir geometría y ajuste del buril
Sobrecalentamiento	Sobrecarga o lubricación deficiente	Reducir carga y revisar lubricación
Error angular	Ajuste incorrecto del cabezal divisor	Recalibrar posición angular

Fuente: Autor.

7. **Responsabilidades:** Incluye las funciones y obligaciones de las personas implicadas en la operación del equipo, responsables y datos básicos del personal quien llevara el control documental.
8. **Herramientas y elementos:** Menciona las herramientas, instrumentos de medición, accesorios y elementos necesarios para realizar la correcta instalación, ajuste y operación del equipo.
9. **Procedimientos operativos:** Describe de forma secuencial las actividades a ejecutar para realizar operaciones de mecanizado con el equipo.
10. **Parámetros de operación:** Presenta los parámetros variables que deben ser controlados para la correcta adaptación del equipo y su posterior puesta en marcha.

Registro de operación inicial del equipo convertidor:

Con el fin de documentar y controlar las condiciones de operación y mecanizado del equipos, se emplea una tabla de registro de operación visible en la tabla 4.3, cuya función consiste en registrar las configuraciones empleadas y los parámetros de trabajo. La información recopilada permitirá el futuro análisis del comportamiento del convertidor, la validación de configuraciones funcionales y la creación de una base técnica que permita mejorar el prototipo y ampliar las capacidades operativas

Tabla 4.3. Registro de operación inicial del equipo convertidor

Campo	Registro
Fecha	
Operador	
Supervisor	
Pieza trabajada	
Material	
Operación realizada	
Ángulo programado	
Buril utilizado	
Velocidad del husillo	
Configuración del reductor	
Estado de cadenas	
Resultado de prueba en vacío	
Resultado del corte	
Observaciones de vibración	
Observaciones de acabado	
Ajustes realizados	
Fallas detectadas	
Recomendaciones	
Aprobación del procedimiento	

Fuente: Autor.

11. **Formato de operación:** Presenta el registro de las tres operaciones principales que se pueden realizar y su configuración. Entre las configuraciones pueden incluirse velocidad de giro, profundidad de pasada, ángulos de trabajo y dimensiones de la pieza. **Parámetros de operación**
La tabla de parámetros presentada a continuación es un modelo técnico empleado para registrar y clasificar las variables necesarias para realizar

operaciones de mecanizado con el equipo convertidor de manera adecuada. Su objetivo principal es el establecer las configuraciones operativas que el equipo debe seguir en los lapsos de pre mecanizado y durante la operación de mecanizado, esta tabla permite mantener condiciones de trabajo controladas, seguras y repetibles. La tabla contiene variables medibles y presentes en la cartilla de procedimientos.

Tabla 4.4. Tabla de parámetros de operación

Parámetro	Valor / Observación
Material de la pieza	
Dimensiones de la pieza	
Ángulo de trabajo	
Tipo de buril	
Velocidad del husillo	
Profundidad de pasada	
Configuración del reductor	
Estado de tensión de cadena	
Número de pasadas	
Resultado del acabado	
Observaciones de vibración	

Fuente: Autor.

12. **Criterios de aceptación:** Establece las condiciones y requerimientos mínimos que se deben cumplir para considerar a la operación de mecanizado como una operación satisfactoria. Estos criterios pueden incluir estabilidad del equipo, correcto funcionamiento y cumplimiento de los requisitos descritos en la cartilla.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La convalidación experimental hizo posible verificar funcionamiento adecuado del equipo-herramienta convertidor, demostrando su capacidad para convertir el movimiento rotatorio del husillo del torno en un movimiento lineal alternativo del porta buril. Además, se verificó que las operaciones de desbaste angular, desbaste plano, generación de biseles, rebajes angulares y acondicionamiento de superficies para aplicación de piñonería son viables.
- La parametrización de las configuraciones y operaciones del dispositivo adaptable permitió establecer condiciones laborales seguras y repetibles, al determinar los ajustes requeridos para el posicionamiento del cabezal divisor, la inclinación de la brazo y los parámetros operativos. Además, la creación de la cartilla de operación y el reconocimiento de las limitaciones del sistema colaboraron con la normalización de los procesos y la reducción de riesgos en su utilización dentro de la institución.
- El convertidor desarrollado ofrece una opción funcional para incrementar las capacidades de mecanizado de un torno convencional y, además, presenta un significativo potencial de mejora. Si se añade en el futuro una base móvil para el cabezal divisor, sería posible aumentar la amplitud de movimiento de la brazo habilitando nuevas operaciones como el ranurado lineal y la generación de engranajes rectos.
- Se debe establecer una base móvil para el cabezal divisor con el fin de extender el recorrido útil de la brazo y aumentar operaciones facilitando el desarrollo de las operaciones futuras.
- Antes de cada puesta en marcha, ya sea práctica o prueba de mecanizado, ejecutar revisiones regulares de alineación, de tensión de cadenas, lubricación, desgaste de cadenas, desgaste de piñones y ajuste de componentes mecánicos.
- Crear nuevas pruebas experimentales, el trabajo está limitado solo a la

convalidación de operaciones con un único material dentro de los rangos de operación considerados seguros, se debe experimentar con distintas velocidades, materiales y profundidad de pasadas para extender el rango operativo seguro del convertidor

- Es necesario que el equipo este bajo vigilancia continua del operario durante la operación, revisando de manera constante el estado de la transmisión, el ajuste de los componentes de fijación y la estabilidad del elemento trabajando.
- Se aconseja verificar el adecuado prensado del material trabajado ubicado entre las mordazas del cabezal divisor, a consecuencia de las fuerzas de dirección vertical que se producen durante el mecanizado las piezas se pueden desplazar o soltar.
- En procesos de desbaste profundo, el esfuerzo del buril puede provocar que la pieza y el cabezal divisor se levanten parcialmente. Por lo tanto, es recomendable realizar pasadas de poca profundidad y disminuir la remoción de material entre 3 y 5 pasadas de 3mm de profundidad.
- Para optimizar el diseño del equipo en el futuro, se sugiere reducir la distancia entre los ejes del sistema de transmisión en la zona de el brazo, si este trayecto puede variar, sería posible reducir desplazamientos innecesarios, el tiempo de espera entre cada ciclo se reduciría y permitiría ajustar mejor el sistema al tamaño máximo de sujeción.
- Por último, se recomienda implementar un sistema independiente de ajuste o control de velocidad que facilite el incremento de RPM disponibles sin la necesidad de depender directamente de las modificaciones en los cambios del torno.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MITMA AYVAR, Hernán Oscar. Implementación de un torno mecánico para el mecanizado de piezas metálicas en el taller de mantenimiento de la municipalidad distrital de Chivay, Arequipa. Arequipa: Universidad Continental, 2019. 79 p. Trabajo de investigación (Ingeniería Mecánica). Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8086/3/IV_FIN_111_TI_Mitma_Ayvar_2020.pdf
- [2] SANDVIK ESPAÑOLA S.A. – División Coromant. Fabricación de engranajes [en línea]. s. l.: Sandvik Coromant, s. f. Disponible en: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/gear-manufacturing>
- [3] LASERCOR. ¿Qué es el mecanizado? [en línea]. Madrid: LaserCor, 2024. Disponible en: <https://www.lasercor.com/mecanizado/> [Consulta: 11 de octubre de 2025].
- [4] FERROTALL. ¿Cuál es la maquinaria industrial metalmecánica que más se utiliza? [en línea]. s. l.: Ferrotall, s. f. Disponible en: <https://www.ferrotall.com/es/cual-es-la-maquinaria-industrial-metalmecanica-que-mas-se-utiliza/>
- [5] KALPAKJIAN, Serope y SCHMID, Steven R. Manufacturing engineering and technology. 7. ed. [en línea]. Pearson Education, 2014. Disponible en: https://dl.ojocv.gov.et/admin_/book/Manufacturing%20Engineering%20And%20Technology%20Seventh%20Edition%20By%20Steven%20R.%20Schmid%20and%20Serope%20Kalpakjian.pdf
- [6] VOESTALPINE HIGH PERFORMANCE METALS PERÚ. Manual de aceros especiales [en línea]. Perú: voestalpine, 2024. Disponible en: https://www.voestalpine.com/highperformancemetals/peru/app/uploads/sites/284/2024/08/Manual-de-Aceros-Bohler-Uddeholm-voestalpine_compressed.pdf.

- [7] SANDVIK COROMANT. Parámetros de la herramienta de corte según ISO 13399 [en línea]. 2022. Disponible en:
<https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/cutting-tool-parameters>
- [8] BOOTHROYD, G. y KNIGHT, W. A. Fundamentals of Machining and Machine Tools. 3.^a ed. CRC Press, 2006.
- [9] MECANIZADOS GARRIGUES. Operaciones de mecanizado en torno [en línea]. 26 diciembre 2022 [citado 13 mayo 2026]. Disponible en: <https://www.mecanizadosgarrigues.es/blog/operaciones-mecanizado-torno/>
- [10] NORTON, R. L. Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. 4.^a ed. McGraw-Hill, 2011.
- [11] LAYOSA, CARLICIA. Conversión de movimiento rotatorio a lineal [en línea]. Blog de MISUMI, 29 noviembre 2017. Disponible en:
https://us-misumi-ec-com.translate.goog/blog/rotary-to-linear-motion/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- [12] SALVITI, J. The state of the mass finishing department: a call to modernize [en línea]. Metal Finishing News, mayo 2025. Disponible en:
https://mfn.li/archive/issue_view/2482/1
- [13] ARTIZONO. Step-by-step guide to operating a CNC gear shaving machine [en línea]. 4 julio 2025. Disponible en: <https://artizono.com/step-by-step-guide-to-operating-a-cnc-gear-shaving-machine/>
- [14] INSTITUTO MÁQUINA-HERRAMIENTA (IMH). Mortajado [en línea]. 2019. Disponible en: <https://www.imh.eus/es/imh/comunicacion/docu-libre/procesos-fabricacion/mecanizado/arranque-de-viruta/mortajado>
- [15] ISO. ISO 230-1:2012. Test code for machine tools — Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions [en línea]. Ginebra: ISO, 2012 [citado 14 mayo 2026]. Disponible en:
<https://www.iso.org/standard/46449.html>
- [16] FORMACIÓN MECANIZADO. Rigidez y parámetros de corte en máquinas herramienta [en línea]. 2024 [citado 14 mayo 2026]. Disponible en: <https://formacionmecanizado.com/rugosidad-superficial-en-mecanizado/>

- [17] RAPIDDIRECT. Tabla de rugosidad superficial: guía de valores Ra para mecanizado [en línea]. 2024 [citado 14 mayo 2026]. Disponible en: <https://www.rapiddirect.com/es/blog/surface-roughness-chart/>
- [18] RIVERA GAMBOA, Cristian Felipe y BASTIDAS NONSOQUE, Marco Alejandro. Manufactura de un convertidor para mecanizado plano en un torno paralelo y elaboración de una base universal como accesorio adicional [en línea]. Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2024 [citado 14 mayo 2026]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/58077>

ANEXOS

Anexo A. Manual de operaciones

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

CARTILLA DE OPERACIONES

Equipo Herramienta Convertidor

Equipo-herramienta encargado del proceso de convertir movimiento giratorio de husillo del torno en desbaste lineal con variación de ángulos utilizando buril como elemento de corte y el dispositivo cabezal divisor como elemento de sujeción y de posicionamiento angular.

Código del documento	MO-EC-001
Versión	1.0
Fecha de emisión	19 de junio de 2026
Área responsable	Laboratorio de procesos de manufactura
Elaborado por	Javier Santiago Leal Buitrago
Revisado por	Ing. Luis Fernando Acosta Joya
Aprobado por	Ing. Luis Fernando Acosta Joya

Documento técnico para uso interno

19 de junio de 2026

Glosario

A.

Ángulo de mecanizado

Valor angular definido para llevar a cabo una operación de corte sobre una pieza de trabajo, cuya correcta definición incide tanto en la geometría resultante de la pieza como en el comportamiento y desgaste de la herramienta durante el proceso.

B.

Bancada del torno

Base estructural del torno sobre la cual se integran y articulan los demás componentes de la máquina, brindando la rigidez necesaria para que elementos como el carro y el contrapunto se desplacen con alineación constante a lo largo del mecanizado.

Buril

Herramienta empleada en torneado cuya función es la remoción progresiva de material sobre la pieza, donde las características geométricas del filo y la composición del material con que está fabricado condicionan tanto el acabado obtenido como el rendimiento del corte.

C.

Cabezal divisor

Accesorio de precisión que permite girar y fijar una pieza en posiciones angulares determinadas, siendo de uso frecuente en operaciones donde se deben generar geometrías repetidas y distribuidas simétricamente respecto a un eje de referencia.

Cadena de transmisión

Componente de transmisión flexible constituido por una serie de eslabones metálicos articulados, destinado a transferir movimiento y potencia entre piñones, resultando adecuado en aplicaciones que demandan sincronización de giro y capacidad para soportar cargas mecánicas considerables.

Caja reductora

Sistema de engranajes cuya finalidad es reducir la velocidad angular de salida de un motor, obteniendo como contrapartida un incremento en el par torsor transmitido hacia los elementos accionados.

Convertidor

Dispositivo que toma una forma de movimiento o energía y la convierte en otra distinta para satisfacer los requerimientos de una etapa concreta dentro del proceso de mecanizado o de la cadena de transmisión de potencia.

Brazo

Elemento guía que posibilita el desplazamiento rectilíneo de herramientas o partes móviles de la máquina, con un diseño orientado a garantizar que dichos desplazamientos se realicen de forma controlada y sin pérdida de precisión durante la operación.

D.

Desbaste

Primera fase del proceso de mecanizado, orientada a extraer volúmenes importantes de material en pasadas sucesivas, con lo cual se obtiene una aproximación a la forma deseada de la pieza dejando márgenes suficientes para las etapas de acabado posteriores.

Desbaste angular alto

Operación de mecanizado llevada a cabo con una inclinación elevada del brazo, empleada para crear perfiles angulares altos o superficies con pendientes pronunciadas.

Desbaste angular bajo

Operación de mecanizado que se lleva a cabo con mínimas inclinaciones del brazo para crear superficies que están un poco anguladas en relación con el eje de referencia.

Desbaste angular medio

Se trata de un proceso de eliminación de material que se realiza con inclinaciones intermedias en el brazo, lo que posibilita la creación de superficies moderadamente

inclinadas. Desbaste plano: Proceso de mecanizado que emplea el desplazamiento lineal alterno del buril para crear superficies planas

E.

EPP

Abreviatura de elementos de protección personal, hace referencia al conjunto de equipos e indumentaria destinados a reducir la exposición del operario a los riesgos presentes durante el trabajo con máquinas, herramientas y materiales.

G.

Generación de biseles

Proceso de mecanizado diseñado para crear superficies inclinadas o chaflanes en bordes cilíndricos o planos, a través de la inclinación controlada del brazo.

H.

Husillo

Eje de rotación principal del torno, responsable de transmitir el movimiento generado por el motor hacia el plato de sujeción o al dispositivo que retiene la pieza durante el mecanizado.

M.

Mecanizado

Conjunto de operaciones de manufactura orientadas a modificar la forma, las dimensiones o el acabado superficial de una pieza mediante la extracción selectiva y controlada de material.

P.**Preparación de caras para piñonería**

Operación de mecanizado que tiene como objetivo preparar superficies planas o geometrías anteriores requeridas para los procesos futuros de fabricación de engranajes.

Piñón

Engranaje de menor tamaño relativo dentro de un sistema de transmisión, cuya función es recibir o entregar movimiento y potencia a través del contacto con una cadena u otro elemento acoplado.

Porta buril

Accesorio de fijación destinado a retener el buril en la posición requerida durante el corte, aportando la rigidez necesaria para mantener la estabilidad dimensional y la calidad del mecanizado.

R.**RPM**

Sigla correspondiente a revoluciones por minuto, empleada como unidad convencional para cuantificar la velocidad de rotación de ejes, husillos y demás componentes giratorios presentes en las máquinas.

S.**Sujeción**

Operación mediante la cual se inmoviliza una pieza o componente para que permanezca estable durante el mecanizado, evitando desplazamientos no deseados, vibraciones o cualquier movimiento que pueda comprometer la seguridad o la precisión del proceso.

T.**Torque**

Magnitud que expresa la capacidad de una fuerza para generar o sostener la rotación de un cuerpo en torno a un eje, determinando en el contexto del mecanizado la potencia efectiva disponible para vencer la resistencia del corte.

V.**Verificación preoperacional**

Inspección sistemática realizada antes de poner en marcha un equipo o máquina, con el objetivo de comprobar que todas sus partes se encuentran en condiciones óptimas y seguras para iniciar la operación.

Índice

Control de cambios	8
1. Objetivo	8
2. Alcance	8
3. Descripción del equipo	8
4. Componentes principales	10
5. Condiciones de seguridad	11
6. Riesgos y fallas frecuentes	13
7. Responsabilidades	13
7.1. Operador	13
7.2. Supervisor	13
7.3. Personal de mantenimiento	13
8. Herramientas y elementos requeridos	14
9. Procedimiento operativo	14
9.1. Preparación previa	14
9.2. Montaje del equipo	15
9.3. Ajuste inicial	19
9.4. Prueba en vacío	19
9.5. Operación de desbaste	20
9.6. Cierre de operación	20
10. Parámetros de operación	20
11. Formato de registro de operación	21
11.1. OPERACIÓN N°1	22

11.2. OPERACIÓN N°2 24

11.3. OPERACIÓN N°3 26

12.Criterios de aceptación 28

Aprobaciones 28

Control de cambios

Versión	Fecha	Sección modificada	Descripción del cambio	Responsable
1.0	10 de mayo de 2026	Documento inicial	Emisión inicial del manual	Javier Santiago Leal
1.1	19 de junio de 2026	Control de cambios	Actualización del registro de cambios	Javier Santiago Leal

1. Objetivo

Definir condiciones de seguridad, operativas y técnicas para utilizar el equipo herramienta convertidor en el laboratorio, creado con el propósito de convertir el movimiento rotacional de plato y husillo de un torno convencional en movimiento lineal de desbaste a través de un sistema reductor y transmisión por cadena, dentro de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja. El equipo se emplea en procesos de desbaste vertical con ángulos variables, empleando una herramienta de corte y un cabezal divisor como parte de posicionamiento angular. Esto permite llevar a cabo operaciones de desbaste plan controlado dirigido a la producción de piñones, biselado de cilindros y superficies planas, preparación de caras para piñones, lo que incrementa las operaciones de mecanizado en torno paralelo.

2. Alcance

Esta cartilla es aplicable a los operadores (estudiantes), ajustadores, supervisores y personal de mantenimiento autorizado (ingenieros encargados de supervisar al estudiantado) que participan en la revisión previa a la operación, el ensamble, el ajuste, la operación, el desensamble y la inspección del equipo herramienta convertidor montado sobre la bancada del torno convencional en el laboratorio de procesos de la universidad.

3. Descripción del equipo

El convertidor es un accesorio-herramienta diseñado para instalarse sobre la bancada de trabajo del torno y cuenta con componentes de sujeción ajustables, exactos y seguros. Su función principal es transformar el movimiento rotatorio del husillo mediante el acople de una Catarina, que transmite el movimiento por medio de una cadena hacia el reductor.

El avance lineal logrado durante el proceso se realiza en una estructura del brazo, la cual está conformada por cuatro perfiles, una base y un soporte del brazo. Estos elementos funcionan como guía para el porta buril, el cual está asegurado mediante pines a la cadena de transmisión conectada en la salida de la caja reductora. Este desplazamiento del porta buril, equipado con el elemento de corte, y guiado por la estructura del brazo permite el desbaste lineal de la pieza trabajada. La eliminación de material se realiza en ciclos de baja velocidad angular utilizando el buril. La variación angular del proceso se controla con ayuda del cabezal divisor, que permite ajustar los grados de libertad en función del ángulo de sujeción de la estructura, y la estructura del brazo permite unos grados de libertad ajustando su sujeción a la brida de la caja reductora. Estos ajustes son factibles mientras no interfieran con el movimiento del cabezal divisor o la transmisión entre el plato del torno y la caja reductora. Es importante destacar que el equipo no debe ser manejado por una sola persona debido a su peso y dimensiones. Para ajustar las configuraciones específicas de este modelo, el cual está sujeto a mejoras, es fundamental conocer la constante del cabezal divisor, la cual se encuentra en el manual del equipo. Además, es indispensable para la manipulación del equipo utilizar los elementos de protección personal (EPP) adecuados y operar dentro de los parámetros operativos que se especificarán en esta cartilla. A continuación se muestra una figura del equipo instalado.



Figura 1: Equipo herramienta convertidor

4. Componentes principales

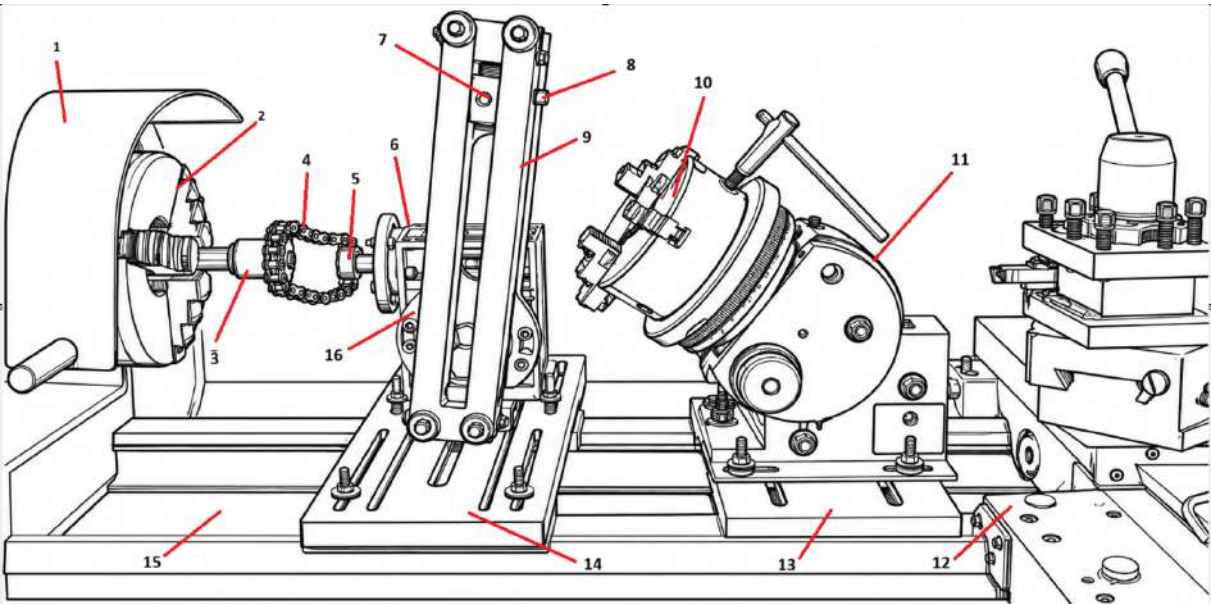


Figura 2: Componentes principales del equipo herramienta convertidor

Tabla 2: Listado de componentes principales del equipo herramienta convertidor

Número de ítem	Componente
1	Cubierta protectora del torno
2	Plato de tres mordazas
3	Piñón motriz
4	Cadena de entrada 428H
5	Piñón de entrada
6	Caja reductora DIXUS 80B14
7	Porta buril
8	Buril
9	Estructura del brazo
10	Mordaza del cabezal
11	Cabezal divisor
12	Carro porta herramienta
13	Base del cabezal divisor
14	Base del convertidor
15	Bancada de torno
16	Brida de cuello

5. Condiciones de seguridad

A continuación, se describen las condiciones de seguridad en la pre-operación y operación del equipo.

- **No levantar, instalar o retirar el equipo por una sola persona.**

La manipulación inadecuada puede provocar lesiones musculoesqueléticas, atrapamientos de extremidades superiores, golpes por caída de componentes y daños al equipo.

- **Utilizar ayudas mecánicas para el desplazamiento de los equipos.**

El cabezal divisor que integra el sistema tiene un peso cercano a los 30kg, por lo cual sin ayudas mecanizadas supone un riesgo considerable para el operador. Así mismo, la presencia de elementos sobresalientes, puntos de apoyo y espacios reducidos, puede provocar atrapamiento de dedos y manos en las maniobras de montaje y desmontaje. Las medidas preventivas deben ser:

- Emplear un carro de servicio o plataforma de transporte para mover el convertidor dentro del espacio de trabajo.
- Utilizar una grúa hidráulica (gato pluma) para las actividades de elevación.
- Para asegurar la elevación de la carga, utilizar eslingas, amarres o componentes de izaje que estén certificados, verificando previamente su capacidad de carga.

- **Verificar el estado del sistema de transmisión por cadenas antes de cada operación.**

Durante la operación puede ocurrir: ruptura de la cadena, pérdida de control del movimiento y desprendimiento de componentes. Con el fin de asegurar la operación hay que comprobar el estado del sistema de transmisión por cadena antes de cada puesta en marcha, la revisión debe realizarse con el equipo completamente parado y apagado.

- **Verificar que la cadena esté tensada, y que el candado y eslabón de unión estén correctamente ajustados**

Revisar el estado estructural de todos los elementos de transmisión. Se debe prestar especial atención al medio eslabón fabricado, por ser uno de los puntos críticos del sistema al estar expuesto a esfuerzos mecánicos.

- **Confirmar la correcta fijación del equipo sobre la bancada.**

Riesgo de pérdida de alineación, vibraciones anormales, desprendimiento de partes y proyectiles durante la operación. Es necesario asegurarse de que el equipo esté correctamente instalado para prevenir desplazamientos no deseados causados por las cargas dinámicas producidas durante el proceso de corte

- **Verificar el reajuste de los componentes de sujeción antes de cambiar de operación.**

Para asegurar la seguridad del operario y la exactitud del mecanizado, es esencial que el conjunto sea estable. Una fijación inadecuada puede provocar vibraciones muy fuertes, desajuste entre los componentes de transmisión, deterioro anticipado de las partes mecánicas, generando riesgo de separación total o parcial del equipo.

- **Inspeccionar el estado y apriete del buril antes de iniciar el corte.**

Antes de comenzar cualquier operación, es esencial inspeccionar la condición del buril, que es la herramienta de corte, esto incluye que no haya deterioro o deformaciones que puedan afectar la calidad del corte.

- **Verificar elafilado de la punta o elemento de corte**

Es crucial debido que un buril en mal estado tiende a generar cortes imprecisos incrementar el tiempo de mecanizado y en el peor de los casos ocasionar fallos en la pieza.

- **Realizar prueba en vacío antes de mecanizar una pieza.**

Es crucial hacer una prueba vacía antes de comenzar el proceso de mecanizado en una pieza concreta. Esto significa hacer que el equipo funcione sin ningún material prensado para asegurar que cada uno de los componentes trabaja adecuadamente.

- **Identificar si hay ruidos anormales**

la detección de ruidos anormales pueden señalar un mal funcionamiento, el mal ajuste de parámetros y la identificación de problemas mecánicos.

- **No intervenir el equipo con el torno en movimiento.**

Es de suma importancia el no realizar ninguna acción en el equipo mientras el torno esté en marcha. Esto abarca modificaciones, alteraciones de herramientas o cualquier forma de manipulación. El no acatar esta indicación puede ser muy peligroso al actuar sobre el equipo cuando el torno está en movimiento. El contacto accidental con piezas móviles tiene el potencial de provocar heridas graves al operador. Asimismo, cualquier modificación que se haga en estas condiciones podría afectar la exactitud del mecanizado y perjudicar tanto el equipo como la pieza de trabajo

- **Usar los elementos de protección personal requeridos.**

Es necesario que los operadores usen en todo momento el equipo de protección personal (EPP) apropiado, que contiene, guantes adecuados, gafas de seguridad y ropa adecuada (overol) y botas de seguridad. Indispensable para resguardar al operador de posibles lesiones.

6. Riesgos y fallas frecuentes

Situación	Causa probable	Acción recomendada
Vibración excesiva	Fijación deficiente o desalineación	Revisar anclaje y alineación
Movimiento irregular	Holgura o mala tensión en cadena	Ajustar tensión y verificar desgaste
Mal acabado superficial	Buril mal afilado o mal posicionado	Corregir geometría y ajuste del buril
Sobrecalentamiento	Sobrecarga o lubricación deficiente	Reducir carga y revisar lubricación
Error angular	Ajuste incorrecto del cabezal divisor	Recalibrar posición angular

7. Responsabilidades

7.1. Operador

- Realizar la inspección previa del equipo.
- Ejecutar el montaje y ajuste conforme al procedimiento.
- Registrar los parámetros y observaciones del proceso.

7.2. Supervisor

- Verificar la correcta aplicación del procedimiento.
- Comprobar condiciones de seguridad y operación.
- Autorizar ajustes o modificaciones operativas.

7.3. Personal de mantenimiento

- Inspeccionar y corregir anomalías mecánicas.
- Inspeccionar el estado del reductor, cadenas y fijaciones.

8. Herramientas y elementos requeridos

- Equipo herramienta convertidor
- Torno convencional
- Buril
- Cabezal divisor
- Llave mixta de 13mm
- Llaves mixta de 1/4in, 1/2in
- Llaves de bristol de 3mm,6mm,9mm
- Llaves expansivas de 6in x2
- Elementos de izaje o apoyo para manipulación
- Lubricantes ISO 320 Y Grasa para cadena
- Carro de servicio
- Martillo de bola
- Atonillador estrella
- nivel de burbuja
- Elementos de medición: pie de rey, flexometro, goniómetro y escuadra de 90
- Formato de registro de operación
- Elementos de protección personal (EPP)

9. Procedimiento operativo

9.1. Preparación previa

1. Verificar que el torno se encuentre apagado.
2. Inspeccionar visualmente el equipo convertidor.
3. Revisar el estado del reductor, cadenas y fijaciones.
4. Confirmar disponibilidad de apoyo para manipulación segura.
5. Verificar el estado del buril y del cabezal divisor.

9.2. Montaje del equipo

1. Alistamiento de herramientas y traslado del cabezal divisor

- a)* Solicitar en la bodega del laboratorio las herramientas requeridas para la operación.



- b)* Identificar y verificar la ubicación del cabezal divisor en la zona de fresadoras.



- c)* Utilizando una llave de 1/4 in, aflojar y retirar los tornillos de fijación que sujetan el cabezal divisor a la bancada de la fresadora.
- d)* Ubicar el carro de servicio lo más cerca posible del equipo, asegurando una trayectoria libre de obstáculos.
- e)* Con apoyo del supervisor o de un segundo operario, levantar y trasladar cuidadosamente el cabezal divisor hasta el carro de servicio, evitando golpes o movimientos bruscos.
- f)* Transportar el cabezal divisor mediante el carro de servicio hasta el área de trabajo designada o hasta el torno donde se realizará el montaje.



2. Preparación del área de trabajo

- a) Despejar la bancada del torno retirando herramientas, accesorios y elementos ajenos al proceso de montaje.
- b) Desplazar el carro porta-herramientas y el contrapunto hacia los extremos de la bancada, con el fin de maximizar el espacio disponible para la instalación del equipo.
- c) Realizar una inspección visual de la bancada y efectuar la limpieza de virutas, residuos de lubricante y demás elementos que puedan interferir con el montaje.



- d) Verificar que el convertidor de movimiento y el cabezal divisor se encuentren en buenas condiciones físicas, comprobando la integridad de sus componentes, elementos de fijación y superficies de contacto.
- e) Confirmar que se dispone de todos los componentes, accesorios y herramientas requeridos para el procedimiento de montaje.
- f) Ubicar temporalmente el convertidor de movimiento y el cabezal divisor en zonas seguras próximas al torno, garantizando que no interfieran con el desplazamiento de los operarios ni limiten la movilidad de los elementos de la máquina.
- g) Verificar que el área de trabajo cuente con iluminación adecuada y que las rutas de acceso y evacuación permanezcan libres de obstáculos.

Precaución: En caso de que el peso de los componentes exceda la capacidad de manipulación manual del operario, utilizar ayudas mecánicas o solicitar apoyo de personal adicional para su movilización.

3. Ubicación y fijación del equipo sobre la bancada del torno

- a) Utilizando los elementos de protección personal (EPP) requeridos y aprovechando el espacio previamente acondicionado, posicionar el convertidor de movimiento con su base de fijación sobre la bancada del torno, verificando que los elementos de anclaje de la base encajen correctamente en las estrías o guías de la bancada.
- b) Posicionar la base del cabezal divisor sobre la bancada, comprobando que sus elementos de fijación se alineen y acoplen adecuadamente con las estrías de la bancada del torno.



- c) Ubicar las platinas de fijación en la parte inferior de la bancada, alineándolas con los orificios de montaje de las bases del convertidor y del cabezal divisor.



- d) Introducir los tornillos de sujeción a través de las bases y las platinas de fijación, verificando que atraviesen correctamente todos los elementos de ensamble.



- e) Comprobar que las platinas de fijación de 20 cm queden completamente apoyadas y encajadas dentro del canal inferior de la bancada, garantizando una adecuada distribución de las cargas de sujeción.
- f) Instalar las tuercas correspondientes y realizar un apriete preliminar, manteniendo la cabeza de los tornillos orientada hacia la parte superior para facilitar futuras labores de inspección y mantenimiento.
- g) Una vez fijada la base del cabezal divisor, levantar y posicionar el cabezal divisor sobre su respectiva base utilizando ayuda mecánica o el apoyo de un segundo operario, según el peso del conjunto.
- h) Verificar la correcta alineación del cabezal divisor con los puntos de fijación de la base e instalar los tornillos de sujeción correspondientes.
- i) Realizar el apriete final de todos los elementos de fijación y comprobar que tanto el convertidor de movimiento como el cabezal divisor permanezcan firmemente sujetos a la bancada, sin presentar desplazamientos o movimientos indeseados.

4. Alineación del equipo en posición de trabajo

- a) Una vez instalados el convertidor de movimiento y el cabezal divisor, utilizar el flexómetro para medir las distancias disponibles entre el husillo del torno y el convertidor, así como entre la base del brazo y el cabezal divisor.
- b) Comprobar que existe espacio suficiente para el montaje de los elementos de transmisión. Posteriormente, instalar el piñón motriz en el husillo del torno y acoplar la cadena de transmisión al piñón de entrada del reductor.

- c) Verificar visualmente la alineación entre el piñón motriz y el piñón de entrada del reductor. En caso de observar desalineaciones, realizar los ajustes necesarios. Confirmar además que la cadena y los piñones no interfieran con la cubierta protectora del torno ni con otros elementos de la máquina.



- d) Una vez ajustados los piñones y la transmisión, utilizar una escuadra para verificar la alineación de las bases del convertidor y del cabezal divisor con respecto a las estrías de la bancada del torno.



- e) Si se requiere realizar correcciones de alineación, aflojar ligeramente los tornillos de fijación de las bases y efectuar pequeños ajustes de posición mediante golpes suaves con un martillo sobre las superficies destinadas para ajuste, evitando dañar los componentes.
- f) Después de corregir la alineación, reapretar los tornillos de fijación de las bases y verificar nuevamente la perpendicularidad y paralelismo de los conjuntos instalados.
- g) Utilizar un nivel para comprobar el correcto asentamiento de las bases y del cabezal divisor sobre la bancada del torno, verificando que no existan inclinaciones o desniveles que puedan afectar el funcionamiento del equipo.
- h) Realizar una inspección final de todos los elementos de fijación y confirmar que el conjunto se encuentra alineado, ajustado y listo para la siguiente etapa de montaje.
- a) Antes de ajustar el material de trabajo, verificar la firmeza y estabilidad del equipo. Utilizando las llaves Bristol correspondientes, reapretar los elementos

de fijación de la estructura del brazo, la unión del porta-buril y el sistema de sujeción del buril.

- b)* Con ayuda de un goniómetro, comprobar el ángulo de inclinación de la base del brazo con respecto a la base principal del convertidor, verificando que corresponda al valor requerido para la operación de maquinado.
- c)* Utilizar una llave Bristol de 9 mm para ajustar el sistema de fijación del brazo y verificar su correcto apriete sobre la brida de cuello, asegurando que no existan movimientos indeseados durante la operación.
- d)* Realizar una inspección general de los elementos de ajuste y confirmar la firmeza del conjunto. Una vez verificado el correcto montaje, proceder con una prueba en vacío para comprobar el funcionamiento del mecanismo y detectar posibles vibraciones, interferencias o ruidos anormales.
- e)* Para la sujeción del material a maquinar, medir previamente el diámetro y la longitud de la pieza, verificando que sus dimensiones sean compatibles con la capacidad de sujeción de la mordaza del cabezal divisor.
- f)* Posicionar la pieza dentro de la mordaza del cabezal divisor de manera que quede correctamente centrada y con la longitud necesaria expuesta para la operación de maquinado.
- g)* Utilizar la llave de ajuste de la mordaza para prensar el material hasta obtener una sujeción firme, evitando deformaciones en la pieza y garantizando que no se presenten desplazamientos durante el proceso de corte.
- h)* Verificar manualmente la estabilidad de la pieza y confirmar que se encuentra correctamente alineada antes de iniciar el maquinado.

9.3. Ajuste inicial

1. Montar el buril en su soporte.
2. Ajustar la altura y orientación del buril.
3. Configurar el cabezal divisor según el ángulo requerido.
4. Revisar tensión y alineación de las cadenas.
5. Confirmar sentido y uniformidad del movimiento lineal.

9.4. Prueba en vacío

1. Poner en marcha el sistema sin contacto con la pieza.

2. Verificar la suavidad del avance lineal.
3. Observar vibraciones, ruido y calentamiento anormal.
4. Detener el equipo y corregir si es necesario.

9.5. Operación de desbaste

1. Posicionar la pieza a maquinar.
2. Confirmar el ángulo programado según la configuración.
3. Graduar el movimiento del husillo a 500 RPM.
4. Modificar el movimiento del cabezal divisor.

El movimiento del cabezal divisor consiste en girar el plato principal a ángulos o fracciones para realizar cortes equidistantes. Difiere del cabezal utilizado; en este caso, el manual nos indica dividir el paso deseado entre 3,1416 para obtener el número de giros que se debe desplazar. La fórmula a continuación se encuentra en el manual del cabezal divisor.

$$\text{Módulo} = \frac{P}{3,1416}$$

5. Ejecutar la pasada de desbaste con avance controlado.
6. Monitorear el comportamiento del equipo durante el corte.
7. Verificar acabado superficial y estabilidad del proceso.

9.6. Cierre de operación

1. Detener el torno y el sistema de trabajo.
2. Inspeccionar el estado del equipo después de la operación.
3. Limpiar la zona de trabajo.
4. Registrar resultados, observaciones y ajustes realizados.

10. Parámetros de operación

Parámetro	Valor / Observación
-----------	---------------------

Material de la pieza	Teflón Polímero
Dimensiones de la pieza	D=100mm L=150mm
Ángulo de trabajo	90°
Tipo de buril	Buril de corte perfilado
Velocidad del husillo	500RPM
Profundidad de pasada	3mm
Estado de tensión de cadena	Tensada
Número de pasadas	5
Resultado del acabado	Distribución homogénea de las marcas de corte
Observaciones de vibración	Sin vibraciones significativas
Observaciones térmicas	sin sobrecalentamiento

11. Formato de registro de operación

Registro de operación inicial del equipo convertidor

Campo	Registro
Fecha	May 5 de 2026
Operador	Javier Santiago leal Buitrago
Supervisor	Ing Gerardo Valderrama
Pieza trabajada	Cilindro
Material	Teflón
Operación realizada	Desbaste angular bajo
Ángulo programado	30°
Buril utilizado	Buril derecho para refrnetado corriente
Velocidad del husillo	500 rpm
Configuración del reductor	1:30
Estado de cadenas	Bueno
Resultado de prueba en vacío	Validado
Resultado del corte	Remoción uniforme
Observaciones de vibración	Niveles bajos de vibracion
Observaciones de acabado	acabado iregular con material sobrante aderido
Ajustes realizados	Posicion de buril, avance de corte y alinacion del mecanismo
Fallas detectadas	Se detectaron fallas mecánicas en el brazo
Recomendaciones	Reapriete de los elementos de fijación
Aprobación del procedimiento	

Hoja de operación y ejecución de operaciones

11.1. OPERACIÓN N°1

Nombre de la operación

Desbaste plano vertical

1. OBJETIVO DE LA OPERACIÓN: Realizar la remoción de material mediante movimiento alternativo lineal generando un corte inclinado sobre una superficie vertical.
2. CONFIGURACIÓN REQUERIDA: Seleccione la configuración, según la operación de mecanizado a desarrollar.

Parámetro	Valor
Material de la pieza	Teflón
Operación realizada	Desbaste plano vertical
Longitud mecanizada	18mm
Buril utilizado	Buril derecho para refrentado corriente
Velocidad del husillo	500 rpm
Profundidad del corte	9mm
Configuración	C4
Ángulo de cabezal/prensa	0°
Ángulo del brazo	90°
Tiempo de operación	10 min

3. HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS:

- a. Llaves Bristol para ajuste de fijaciones.
- b. Goniómetro para verificación del ángulo de trabajo.
- c. Elementos de protección personal para el operador.

4. VERIFICACIONES PREVIAS

Inspeccionar que se cumplan todos los requisitos tabulados en la tabla

Verificación	Cumple
Equipo correctamente fijado sobre la bancada	Sí
Buril instalado y apretado correctamente	Sí
Cadenas alineadas y con tensión adecuada	Sí
Cabezal divisor ajustado al ángulo requerido	Sí
Pieza centrada y firmemente sujeta	Sí

Zona de trabajo limpia y libre de obstáculos	Sí
Elementos de protección personal disponibles	Sí

5. PROCEDIMIENTO PASO A PASO:

- a. Paso 1 instalar el convertidor sobre la bancada
Estado: REALIZADO
- b. Paso 2 Verificar fijaciones mecánicas
Estado: REALIZADO
- c. Paso 3 Configurar ángulo del brazo
Estado: VALOR PROGRAMADO 90°
- d. Paso 4 Configurar ángulo de cabezal
Estado: VALOR PROGRAMADO 0°
- e. Paso 5 Instalar y centrar pieza
Estado: REALIZADO
- f. Paso 6 Montar y revisar el buril
Estado: REALIZADO
- g. Paso 7 Ajustar profundidad inicial
Estado: 3mm
- h. Paso 8 Poner en marcha el torno y ajustar velocidad
Estado: AJUSTADO EN 500 rpm
- i. Paso 9 Realizar pasada de prueba
Estado: REALIZADO
- j. Paso 10 Ejecutar mecanizado
Estado: REALIZADO
- k. Paso 11 Detener y verificar dimensiones
Estado: REALIZADO

6. CONTROL DIMENSIONAL

Característica	Valor esperado	Valor medido
Ángulo de mecanizado	0°	0°
Longitud mecanizada	10 mm	10 mm
Profundidad de corte	9 mm	9 mm
Acabado superficial	Bueno	Aceptable

- ##### 7. RESULTADO FINAL Clasificación: Conforme/Requiere ajuste/ Rechazado
- Resultado: CONFORME

8. OBSERVACIONES: Se requiere mayor ajuste en el brazo y aumentar la velocidad de salida debido al tiempo alto de operación
9. FIRMA DE OPERADOR: Javier Santiago Leal Buitrago

11.2. OPERACIÓN N°2

Nombre de la operación

Desbaste lineal angular

1. OBJETIVO DE LA OPERACIÓN: Realizar la remoción de material en superficies inclinadas en ángulos programados.
2. CONFIGURACIÓN REQUERIDA

Parámetro	Valor
Material de la pieza	Teflón
Operación realizada	Desbaste lineal angular
Longitud mecanizada	100mm
Buril utilizado	Buril derecho para refrentado corriente
Velocidad del husillo	500 rpm
Profundidad del corte	3mm
Configuración	C5
Ángulo de cabezal/prensa	45°
Ángulo del brazo	90°
Tiempo de operación	15 min

3. HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS:

- a. Llaves Bristol para ajuste de fijaciones.
- b. Goniómetro para verificación del ángulo de trabajo.
- c. Elementos de protección personal para el operador.

4. VERIFICACIONES PREVIAS

Inspeccionar que se cumplan todos los requisitos tabulados en la tabla.

Verificación	Cumple
Equipo correctamente fijado sobre la bancada	Sí
Buril instalado y apretado correctamente	Sí
Cadenas alineadas y con tensión adecuada	Sí
Cabezal divisor ajustado al ángulo requerido	Sí

Pieza centrada y firmemente sujeta	Sí
Zona de trabajo limpia y libre de obstáculos	Sí
Elementos de protección personal disponibles	Sí

5. PROCEDIMIENTO PASO A PASO:

- a. Paso 1 instalar el convertidor sobre la bancada
Estado: REALIZADO
- b. Paso 2 Verificar fijaciones mecánicas
Estado: REALIZADO
- c. Paso 3 Configurar ángulo del brazo
Estado: VALOR PROGRAMADO 90°
- d. Paso 4 Configurar ángulo de cabezal
Estado: VALOR PROGRAMADO 45°
- e. Paso 5 Instalar y centrar pieza
Estado: REALIZADO
- f. Paso 6 Montar y revisar el buril
Estado: REALIZADO
- g. Paso 7 Ajustar profundidad inicial
Estado: 3mm
- h. Paso 8 Poner en marcha el torno y ajustar velocidad
Estado: AJUSTADO EN 500 rpm
- i. Paso 9 Realizar pasada de prueba
Estado: REALIZADO
- j. Paso 10 Ejecutar mecanizado
Estado: REALIZADO
- k. Paso 11 Detener y verificar dimensiones
Estado: REALIZADO

6. CONTROL DIMENSIONAL

Característica	Valor esperado	Valor medido
Ángulo de mecanizado	45°	45°
Longitud mecanizada	10 mm	10 mm
Profundidad de corte	3 mm	4 mm
Acabado superficial	Bueno	Aceptable

7. RESULTADO FINAL Clasificación: Conforme/Requiere ajuste/ Rechazado
Resultado: CONFORME

8. OBSERVACIONES: Se requiere mayor ajuste en el brazo y aumentar la velocidad de salida debido al tiempo alto de operación
9. FIRMA DE OPERADOR: Javier Santiago Leal Buitrago

11.3. OPERACIÓN N°3

Nombre de la operación

Desbaste plano horizontal

1. OBJETIVO DE LA OPERACIÓN: Realizar la remoción de material de una cara plana, en un plano vertical respecto al eje de la pieza.
2. CONFIGURACIÓN REQUERIDA

Parámetro	Valor
Material de la pieza	Teflón
Operación realizada	Desbaste plano horizontal
Longitud mecanizada	11mm
Buril utilizado	Buril derecho para refrentado corriente
Velocidad del husillo	500 rpm
Profundidad del corte	9mm
Configuración	C1
Ángulo de cabezal/prensa	0°
Ángulo del brazo	0°
Tiempo de operación	20 min

3. HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS:

- a. Llaves Bristol para ajuste de fijaciones.
- b. Goniómetro para verificación del ángulo de trabajo.
- c. Elementos de protección personal para el operador.

4. VERIFICACIONES PREVIAS

Inspeccionar que se cumplan todos los requisitos tabulados en la tabla.

Verificación	Cumple
Equipo correctamente fijado sobre la bancada	Sí
Buril instalado y apretado correctamente	Sí
Cadenas alineadas y con tensión adecuada	Sí
Cabezal divisor ajustado al ángulo requerido	Sí

Pieza centrada y firmemente sujeta	Sí
Zona de trabajo limpia y libre de obstáculos	Sí
Elementos de protección personal disponibles	Sí

5. PROCEDIMIENTO PASO A PASO:

- a. Paso 1 instalar el convertidor sobre la bancada
Estado: REALIZADO
- b. Paso 2 Verificar fijaciones mecánicas
Estado: REALIZADO
- c. Paso 3 Configurar ángulo del brazo
Estado: VALOR PROGRAMADO 0°
- d. Paso 4 Configurar ángulo de cabezal
Estado: VALOR PROGRAMADO 0°
- e. Paso 5 Instalar y centrar pieza
Estado: REALIZADO
- f. Paso 6 Montar y revisar el buril
Estado: REALIZADO
- g. Paso 7 Ajustar profundidad inicial
Estado: 3mm
- h. Paso 8 Poner en marcha el torno y ajustar velocidad
Estado: AJUSTADO EN 500 rpm
- i. Paso 9 Realizar pasada de prueba
Estado: REALIZADO
- j. Paso 10 Ejecutar mecanizado
Estado: REALIZADO
- k. Paso 11 Detener y verificar dimensiones
Estado: REALIZADO

6. CONTROL DIMENSIONAL

Característica	Valor esperado	Valor medido
Ángulo de mecanizado	0°	0°
Longitud mecanizada	11 mm	11 mm
Profundidad de corte	9 mm	8 mm
Acabado superficial	Bueno	Aceptable

7. RESULTADO FINAL Clasificación: Conforme/Requiere ajuste/ Rechazado
Resultado: CONFORME

- 8. OBSERVACIONES: Se requiere mayor ajuste en el brazo y aumentar la velocidad de salida debido al tiempo alto de operación
- 9. FIRMA DE OPERADOR: Javier Santiago Leal Buitrago

12. Criterios de aceptación

- El equipo debe mantenerse estable durante toda la operación.
- El movimiento lineal debe ser constasten.
- El ángulo mecanizado debe coincidir con el programado.
- No se deben presentar ruidos o vibraciones anormales.
- El acabado superficial debe cumplir con el nivel esperado para tipo de desbaste.

Aprobaciones

Elaborado por:

Revisado por:

Nombre y firma

Nombre y firma

Aprobado por:

Fecha:

Nombre y firma

DD / MM / AAAA