



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE USO DE
CORTADORA-GRABADORA LÁSER Y ROUTER CNC,
CASO DE ESTUDIO FAB LAB UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE CUENCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

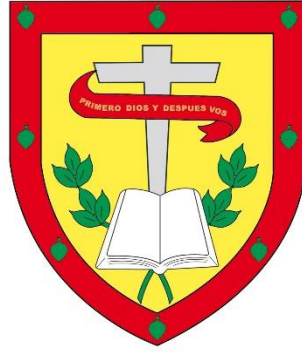
AUTOR: MARTHA MAGDALENA MINGO MOROCHO

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS GARATE AGUIRRE, MGS

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE USO DE
CORTADORA-GRABADORA LÁSER Y ROUTER CNC,
CASO DE ESTUDIO FAB LAB UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE CUENCA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR: MARTHA MAGDALENA MINGO MOROCHO

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS GARATE AGUIRRE, MBA/MIE.

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Martha Magdalena Mingo Morocho portadora de la cédula de ciudadanía N° **0106217953**. Declaro ser el autor de la obra: “**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE USO DE CORTADORA - GRABADORA LÁSER Y ROUTER CNC. CASO DE ESTUDIO FAB LAB-UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 31 de marzo de 2022

F: 
Martha Magdalena Mingo Morocho
0106217953

CERTIFICACIÓN

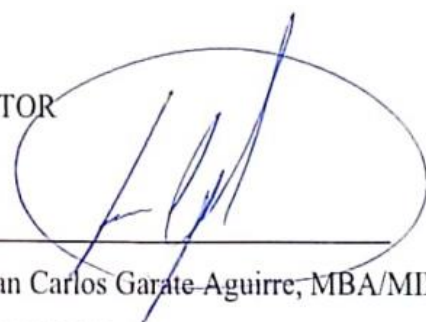
En mi calidad de Tutor del presente Trabajo de Investigación;

CERTIFICO:

Que el informe de investigación denominado “**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE USO DE CORTADORA - GRABADORA LÁSER Y ROUTER CNC. CASO DE ESTUDIO FAB LAB-UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**”, presentado por el señor Martha Magdalena Mingo Morocho de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica de Cuenca, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado.

Cuenca, 31 de marzo de 2022

EL TUTOR



Ing. Juan Carlos Garate-Aguirre, MBA/MIE.

C.C.: 0102628880

DEDICATORIA

A Dios por darme salud y vida, a mis padres Celia y Luis, a mis padres de crianza Joaquín y Griselda quienes con su amor infinito y apoyo incondicional me acompañaron en este proceso de formación académica.

A mis hermanos: Oswaldo, Freddy, Fernando, Viviana, Alexandra, Evelyn y Cinthya por el apoyo incondicional que me brindaron durante esta etapa.

A mis abuelos José y María, por su amor incondicional y a todas aquellas personas que forman parte de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Católica de Cuenca, a los docentes y a quienes forman parte de la Carrera de Ingeniería Industrial por brindar sus conocimientos para formarnos como verdaderos profesionales.

A mi tutor, Ing. Juan Carlos Gárate por la paciencia, comprensión, aportación de ideas y conocimientos para la realización de este trabajo. Al Ing. Rolando Arias por su paciencia y ayuda durante el desarrollo del trabajo.

Agradezco de manera especial al Ing. Andrés Cárdenas por su compromiso y dedicación para culminar con el trabajo de titulación.

RESUMEN

El presente trabajo de tipo experimental realizado en diversas maquinarias de fabricación digital como cortadora y grabadora láser y Router CNC en el Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca, en el que se evaluaron herramientas, materiales y espesores que se utilizan en este tipo de equipos. Estos materiales, fueron expuestos al proceso de corte láser y al mecanizado en Router CNC, con la finalidad de determinar los parámetros adecuados que brinden una calidad óptima en el acabado de los procesos a los que se someten los diversos tipos de materiales como mdf, acrílico, sintra, pino, en diferentes espesores y geometrías. Este trabajo se basó en investigaciones previas y pruebas preliminares en los procesos de corte láser, se definieron parámetros manipulables como potencia de la máquina, velocidad de corte y geometría de la pieza. En el caso del mecanizado, se consideraron las características de la máquina Router CNC existente en Fab Lab para precisar las variables controlables de la misma como: profundidad de paso, velocidad del husillo y velocidad de avance.

Una vez definidos los parámetros del proceso de corte láser y mecanizado en el Router CNC se procedió a realizar el diseño experimental con el cual se determinaron los niveles y número de pruebas necesarios para cada material y herramienta. Los equipos empleados en las pruebas experimentales fueron; la máquina láser modelo DCLM 1600-1000 con potencia de 130W y la máquina Router CNC modelo MODELA MDX-50. Finalmente, los resultados obtenidos se los analizó con el Software Estadístico Minitab, mediante el cual se logró establecer los parámetros que brinden mejor acabado con el menor tiempo de operación y la que ofrezca la mejor precisión de las piezas.

Palabras Clave: pruebas experimentales, corte láser, Mecanizado CNC, determinación de parámetros

ABSTRACT

This experimental work was carried out on different digital fabrication machinery such as laser cutter and engraver and CNC router in the Fab Lab of the Universidad Católica de Cuenca, in which tools, materials, and thicknesses used in this type of equipment were evaluated. These materials were exposed to the process of laser cutting and machining in a CNC router, to determine the appropriate parameters that provide optimum quality in the finishing processes to which the various types of materials such as MDF, acrylic, syntax, pine, in different thicknesses and geometries, are subjected. This work was based on previous research and preliminary tests in laser cutting processes, manipulable parameters such as machine power, cutting speed and part geometry were defined. In the case of machining, the characteristics of the existing CNC router machine in Fab Lab were considered to specify its controllable variables such as depth of pass, spindle speed, and feed rate. Once the parameters of the laser cutting and machining process in the CNC router were defined, the experimental design was carried out to determine the levels and number of tests required for each material and tool. The equipment used in the experimental tests were; the laser machine model DCLM 1600-1000 with a power of 130W and the CNC router machine model MODELA MDX-50. Finally, the results obtained were analyzed with the statistical software Minitab, through which it was possible to establish the parameters that provide the best finish with the shortest operation time and the one that offers the best precision of the parts.

Keywords: Experimental tests, laser cutting, CNC machining, parameter determination

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

	Pág.
DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
LISTA DE FIGURAS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPITULO I EL PROBLEMA	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Línea y Sublínea de Investigación	1
1.3. Planteamiento del Problema.....	1
1.4. Delimitación del Problema.....	3
1.5. Preguntas de investigación	3
1.6. Definición de la Zona de Estudio.....	3
1.6.1. Ubicación.....	3
1.6.2. Descripción del Área del Negocio.....	3
1.6.3. Delimitación Espacial.....	3
1.7. Justificación de la Investigación	4
1.8. Objetivos	5
1.8.1. Objetivo General.....	5
1.8.2. Objetivos Específicos	5
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Definición de Fab Lab.....	6
2.2. Fab Lab a nivel mundial.....	7

2.3. Principios de un Fab Lab.....	7
2.4. Equipos de un Fab Lab.....	8
2.5. Servicios Prestados de un Fab Lab.....	8
2.6. Fab Lab en Ecuador.....	9
2.7. Corte y Grabado Láser	10
2.7.1. Principio de funcionamiento.....	10
2.7.2. Materia prima del proceso	12
2.8. Router CNC.....	13
2.8.1. Principio de funcionamiento.....	13
2.8.2. Herramientas en el mecanizado	16
2.8.3. Materia prima del proceso	18
2.9. Análisis de estudios previos	19
2.10. Metodología experimental.....	21
2.10.1. Diseño factorial.....	21
CAPITULO III METODOLOGÍA	23
3.1. Enfoque de la Investigación.	23
3.2. Modalidad de la Investigación	23
3.3. Tipo de Investigación.....	23
3.4. Población y muestra	24
3.5. Técnicas de Recolección de Información.....	24
3.6. Procesamiento y Análisis de la Información Recolectada	24
CAPITULO IV DISEÑO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES	25
4.1. Cortadora y grabadora láser	26
4.1.1. Características de máquina	26
4.1.2. Operación.....	27
4.1.3. Materiales para el experimento.....	27
4.1.4. Diseño de las probetas	28

4.1.5. Definición de las variables	28
4.1.6. Selección de parámetros de entrada.....	29
4.1.7. Determinar el número de pruebas experimentales	30
4.1. Router CNC de escritorio	31
4.1.1. Materiales para el experimento.....	32
4.1.2. Diseño de las probetas	32
4.1.3. Herramientas de mecanizado del Laboratorio	33
4.1.4. Definición de las variables	36
4.1.5. Selección de parámetros de entrada.....	37
4.1.6. Determinar el número de pruebas experimentales	38
CAPITULO V ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	40
4.2. Recolección de datos	40
4.2.1. Cortadora y grabadora láser.....	40
4.2.2. Router CNC	44
4.3. Análisis de los resultados	47
4.3.1. Análisis de tiempo y tolerancia geométrica de corte láser	47
4.3.2. Análisis de tiempo, indicador y tolerancia geométrica del Router CNC....	61
4.4. Selección de los resultados.....	72
4.4.1. Tiempo y tolerancia geométrica óptimo de corte láser.....	73
4.4.2. Tiempo, indicador y tolerancia geométrica óptimo del Router CNC.....	75
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
5.1. Conclusiones	77
5.2. Recomendaciones.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79
GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS.....	84
ANEXOS.....	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Ventajas y desventajas Láser C02	12
Tabla 2 Parámetros de mecanizados en el Router CNC	15
Tabla 3 Ventajas y desventajas del Router CNC	16
Tabla 4 Características de la cortadora-grabadora láser	26
Tabla 5 Materiales para corte láser	27
Tabla 6 Factores controlables, no controlables y variables de salida del proceso	29
Tabla 7 Parámetros seleccionados a través de las pruebas preliminares	29
Tabla 8 Nivel de los factores de corte láser	30
Tabla 9 Número de experimentos para cada material.....	30
Tabla 10 Descripción del Router CNC de escritorio	31
Tabla 11 Materiales del experimento.....	32
Tabla 12 Herramientas disponibles del laboratorio (a).....	34
Tabla 13 Herramientas disponibles del laboratorio (b).....	35
Tabla 14 Herramientas seleccionadas	36
Tabla 15 Factores controlables, no controlables y de salida.....	37
Tabla 16 Selección de variables de entrada para el mecanizado 2D y 3D	38
Tabla 17 Variables de entrada y niveles	38
Tabla 18 Niveles de parámetros de Router CNC.....	39
Tabla 19 Número de experimentos para cada herramienta.....	39
Tabla 20 Registro de las pruebas de corte láser en mdf.....	41
Tabla 21 Registro de las pruebas de corte láser en acrílico	42
Tabla 22 Registro de las pruebas de corte láser en sintra	43
Tabla 23 Indicador de esfuerzo de la fresa	44
Tabla 24 Registro de las tolerancias geométricas-punta bola de 2mm, Z2	44
Tabla 25 Registro del tiempo e indicador-fresa punta plana de 3mm, Z1	45
Tabla 26 Registro del tiempo e indicador-fresa punta plana de 2mm, Z2.....	46
Tabla 27 Análisis de varianza de tiempo de mdf 3mm.....	47
Tabla 28 Análisis de varianza de tolerancias geométricas, mdf 3mm	48
Tabla 29 Análisis de varianza de tiempo en mdf de 4mm.....	49
Tabla 30 Análisis de varianza de la tolerancia geométrica en mdf de 4mm.....	50
Tabla 31 Análisis de varianza de tiempo de acrílico 3mm	51

Tabla 32	Análisis de varianza de las tolerancias geométricas acrílico 3mm.....	53
Tabla 33	Análisis de varianza del tiempo acrílico 2mm.....	54
Tabla 34	Análisis de varianza de tolerancia geométrica acrílico 2mm	55
Tabla 35	Análisis de varianza de tiempo de sintra 3mm	56
Tabla 36	Análisis de varianza de tolerancia geométrica sintra 3mm.....	58
Tabla 37	Análisis de varianza de tiempo de sintra 2mm	59
Tabla 38	Análisis de varianza de tolerancia geométrica sintra 2mm.....	60
Tabla 39	Análisis de varianza del tiempo-fresa de 3mm 1Z	61
Tabla 40	Análisis de varianza del indicador de la fresa de 3mm-1Z.....	62
Tabla 41	Análisis de varianza de tolerancia geométrica-fresa 3mm 1Z.....	63
Tabla 42	Análisis de varianza del tiempo de la fresa de 2mm, 2Z.....	66
Tabla 43	Análisis de varianza de indicador - fresa de 2mm 2Z.....	67
Tabla 44	Análisis de varianza de las tolerancias geométricas de 2mm, 2 filos	68
Tabla 45	Análisis de varianza de tiempo fresa 3mm, 2Z.....	70
Tabla 46	Análisis de varianza de indicador fresa 3mm, 2Z.....	71
Tabla 47	Parámetros de corte para el tiempo óptimo de mdf	73
Tabla 48	Parámetros de corte para el tiempo óptimo en acrílico.....	73
Tabla 49	Parámetros de corte para el tiempo óptimo sintra.....	74
Tabla 50	Parámetros de corte para la tolerancia geométrica óptimo sintra	74
Tabla 51	Parámetros de corte para el tiempo de mecanizado óptimo-fresa plana.....	75
Tabla 52	Parámetros de corte para el indicador de fresa óptimo fresa plana	75
Tabla 53	Parámetros de corte para el tiempo de mecanizado óptimo fresa plana	75
Tabla 54	Parámetros de corte para el tiempo de mecanizado óptimo.....	76
Tabla 55	Parámetros de corte para el indicador de fresa óptimo	76

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Proceso de Fabricación Digital	6
<i>Figura 2.</i> Mapa Mundial de Red Fab Lab	7
<i>Figura 3.</i> Mapa de Cuenca de Red Fab Lab	9
<i>Figura 4.</i> Corte Láser.....	11
<i>Figura 5.</i> Router CNC	14
<i>Figura 6.</i> Fresa con punta de bola	16
<i>Figura 7.</i> Brocas para madera.....	17
<i>Figura 8.</i> Brocas para acrílico	17
<i>Figura 9.</i> Broca para aluminio.....	18
<i>Figura 10.</i> Puntos de diseño de un experimento.....	22
<i>Figura 11.</i> Diagrama general de las pruebas experimentales	25
<i>Figura 12.</i> Cortadora y grabadora láser.....	26
<i>Figura 13.</i> Diagrama de flujo de operación de la máquina láser.....	27
<i>Figura 14.</i> Probetas para corte láser	28
<i>Figura 15.</i> Variables de entrada y salida en el corte láser	28
<i>Figura 16.</i> Router CNC de escritorio	31
<i>Figura 17.</i> Diagrama de flujo de operación de Router CNC.....	32
<i>Figura 18.</i> Probeta en 3D para la fresa con punta de bola.....	33
<i>Figura 19.</i> Probeta en 2D.....	33
<i>Figura 20.</i> Partes de una fresa	33
<i>Figura 21.</i> Variables de entrada y salida en el mecanizado	36
<i>Figura 22.</i> Número de pruebas experimentales	40
<i>Figura 23.</i> Número de pruebas experimentales	40
<i>Figura 24.</i> Gráfico de interacción de tiempo (mdf 3mm)	48
<i>Figura 25.</i> Gráfico de interacción de tolerancia geométrica mdf 3mm.....	49
<i>Figura 26.</i> Gráfico de interacción de tiempo mdf de 4mm	50
<i>Figura 27.</i> Gráfico de interacción de tolerancia geométrica mdf 4mm.....	51
<i>Figura 28.</i> Gráfico de interacción para tiempo acrílico 3mm	52
<i>Figura 29.</i> Gráfico de interacción de tolerancia geométrica acrílico 3mm	53
<i>Figura 30.</i> Gráfico de integración de tiempo acrílico 2mm	54
<i>Figura 31.</i> Gráfico de interacción de tolerancia geométrica acrílico 2mm	55

<i>Figura 32.</i> Gráfico de interacción de tiempo sintra 3mm.....	57
<i>Figura 33.</i> Gráfico de interacción de tolerancia geométrica sintra 3mm	58
<i>Figura 34.</i> Gráfico de interacción de tiempo sintra 2mm.....	59
<i>Figura 35.</i> Gráfico de interacción de sintra 2mm.....	60
<i>Figura 36.</i> Gráfico de interacción de tiempo-fresa 3mm Z1	62
<i>Figura 37.</i> Gráfico de efectos principales.....	63
<i>Figura 38.</i> Gráfico de efectos principales de cajado cuadrado	64
<i>Figura 39.</i> Gráfico de interacción del ranurado.....	65
<i>Figura 40.</i> Gráfico de interacción de tiempo-fresa 2mm 2Z.....	66
<i>Figura 41.</i> Gráfico de interacción del ranurado-fresa 2mm 2Z.....	67
<i>Figura 42.</i> Gráfico de interacción del cajado circular- fresa 2mm 2Z.....	69
<i>Figura 43.</i> Gráfico de interacción de tiempo-fresa 3mm 2Z.....	70
<i>Figura 44.</i> Gráfico de interacción de indicador-fresa 3mm 2Z.....	72

INTRODUCCIÓN

El surgimiento de la Fabricación Digital como una alternativa para la manufactura ha traído consigo el desarrollo de nuevas formas de producción que tiendan a obtener sistemas de fabricación digital personalizados de libre acceso. Es así que esta idea da origen en el año 2002 a los Fab Labs, pequeños laboratorios en distintos lugares del mundo fuera del contexto industrial dotados de equipos de fabricación digital necesarios (Máquina CNC, cortadora láser, impresora 3d, etc.) para poder transformar la materia prima en un bien útil (Cárdenas, 2018).

Es así que en la actualidad existen 1168 laboratorios a nivel mundial y una gran cantidad de usuarios. Esta ideología ha llegado a nuestro país, de tal manera que Fab Lab Ecuador (2015) menciona los 10 talleres que existen a nivel nacional, siendo la ciudad de Cuenca el portador de dos laboratorios, de los cuales uno de ellos se encuentra albergado por la Universidad Católica de Cuenca. El cual se ha enfrentado al problema de que los parámetros de trabajo estimados por el fabricante no siempre generan un óptimo resultado debido a la diversidad de materia prima existente en el mercado provocando defectos de calidad en el acabado, pérdida de materia prima, además de que contribuyen a la reducción de la vida útil del equipo y de las herramientas.

Por lo antes mencionado, el presente proyecto busca aportar conocimientos sobre los distintos parámetros de uso que se deben considerar al accionar la cortadora-grabadora láser y el Router CNC que posee el Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca. Analizando diferentes factores que influyen sobre estos como las características de los materiales, tipo de herramientas y especificaciones técnicas de las máquinas con la finalidad de facilitar las condiciones de operación para los usuarios. La presente investigación se encuentra estructurada de la siguiente manera:

En primer lugar, se aborda las cuestiones teóricas que sustentan el problema que se investiga, posteriormente, los aspectos teóricos relacionados al tema que se investiga como; surgimiento de los Fab Labs, descripción del principio de funcionamiento de corte láser y mecanizado en el Router CNC. Por otra parte, se describe los aspectos relacionados a la metodología de investigación. Así mismo, se presenta el diseño de las pruebas experimentales, en el cual se define el número de pruebas a realizarse, los materiales y herramientas empleadas, después se describe el procesamiento y análisis de la información sobre las pruebas experimentales. Finalmente, se detalla las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio con finalidad de contribuir a la mejora de la productividad y favorecer los intereses de laboratorio Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema

El tema de estudio corresponde a la: “Determinación de parámetros de uso de cortadora - grabadora láser y Router CNC. caso de estudio Fab Lab-Universidad Católica de Cuenca”

1.2. Línea y Sublínea de Investigación

Dentro de las líneas de Investigación de la Universidad Católica de Cuenca, el problema de investigación hace referencia a la línea de investigación “Energía Eléctrica y Tecnologías de la Información para la Innovación y el Desarrollo Sostenible” y al ámbito de “Modelo Automatización y Control” (Universidad Católica de Cuenca, 2016)

Con relación al tema, la línea y el ámbito de investigación institucional se argumentan los siguientes manifiestos:

- Corresponde a la línea de Energía Eléctrica y Tecnologías de la Información para la innovación y el desarrollo sostenible.
- Pertenece al ámbito de Modelo Automatización y Control.

1.3. Planteamiento del Problema

En los últimos años, el avance de la tecnología ha contribuido al crecimiento y desarrollo de las empresas industriales, ya que nuevos métodos están cada día más inmersos en los procesos de fabricación, lo que permite optimizar las líneas de producción y recursos tanto humanos como materiales, que conllevan al ámbito manufacturero a despojar de los métodos convencionales y desarrollar nuevas técnicas de producción como es la fabricación digital.

En el Ecuador no ha sido la excepción, pues se ha dado la apertura de espacios denominados Fab Labs en la cual las personas pueden diseñar y crear cualquier tipo de objetos mediante el uso de las nuevas tecnologías. La Revista Ingeniería (2016) define a Fab Lab como una red global de laboratorios en el que se puede experimentar y desarrollar prototipos a través de la fabricación digital. Así mismo, estos talleres permiten la interacción entre los usuarios, el intercambio de conocimiento y libre acceso a la información.

Estos centros están a la vanguardia de la tecnología, puesto que poseen máquinas y herramientas que facilitan los procesos de producción, mediante equipos controlados por ordenadores, como impresoras 3D, cortadora y grabadora láser, Router CNC, plotter de impresión, scanner 3D portátil, etc. De esta manera, los usuarios de un laboratorio de este tipo

deben estar en constante trabajo colaborativo y mantener la documentación de la información para garantizar el crecimiento continuo de la red global.

Es así que en la Universidad Católica de Cuenca cuenta con un laboratorio Fab Lab que dispone de múltiples maquinarias, herramientas y equipos, como son la máquina de corte-grabado láser y Router CNC que sirven para realizar cortes de manera automatizada facilitando la fabricación de diversas figuras en diferentes tipos de materiales. Sin embargo, en el Laboratorio se ha identificado problemas en el uso de los equipos debido a que los parámetros establecidos por los fabricantes no se adaptan en su totalidad a las características que posee la materia prima existente en el mercado.

Este problema afecta a la calidad del corte, provoca quemaduras en el material, pérdidas de materia prima, además reduce de forma significativa la vida útil de los componentes de los equipos. Centrándose en este último punto, para el caso de la cortadora y grabadora láser el componente que más reduce su vida útil debido a una inadecuada calibración en la potencia de trabajo es el tubo láser. Según, Acuña, et al., (2018) definen como un “Tubo sellado que contiene una mezcla de gases como; Dióxido de carbono (CO₂), Helio (He), Hidrógeno(H) y Nitrógeno(N) que por la interacción de los mismos permite la concepción de fotones¹, responsables de la generación de luz láser” (p. 1).

De esta manera, se puede concluir que el tubo láser se trata de un componente vital para el correcto desempeño de la cortadora láser, cuya sustitución representa un elevado costo económico debido a que dependiendo de la potencia que requiera el equipo su valor oscila entre \$200 hasta las \$2000 de acuerdo con Importadora GB (2020).

Por otra parte, en el Router CNC una incorrecta calibración de parámetros como velocidad corte, profundidad de pasada y velocidad de avance pueden reducir de forma considerable la vida útil de las herramientas, dando como resultado una mala calidad en el terminado de los elementos y si bien su costo no es elevado como en el caso del tubo láser, la compra reiterada de estos se puede constituir en un monto significativo y poco deseable. Además, no se cuenta con una guía de parámetros por los fabricantes de las herramientas para mecanizar materiales derivados de la madera, de esta manera los diferentes tipos de fresas que dispone el Laboratorio no disponen de parámetros de mecanizado para los materiales como madera, mdf y otros.

Debido a las circunstancias mencionadas anteriormente, nace la necesidad de establecer los parámetros de uso acorde a las características de la materia prima, herramientas,

¹ Fotón: Partícula de luz portadora de la integración electromagnética.

especificaciones de las máquinas y los tipos de trabajos más frecuentes en el proceso de corte láser y mecanizado de piezas en el Router CNC, con la finalidad de mejorar las condiciones de trabajo para los usuarios y favorecer los intereses del laboratorio Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca

1.4. Delimitación del Problema

El presente trabajo de investigación se desarrollará de octubre 2020 a enero del año 2022, en el proceso de corte en la cortadora-grabadora láser y mecanizado de piezas básicas en 3D y 2D en el Router CNC del laboratorio Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca. El trabajo es de tipo experimental en el cual se establecerá la metodología a seguir para ejecutar las pruebas correspondientes en los diferentes materiales, y se generarán los resultados y conclusiones en base a los datos registrados durante los ensayos con el fin de establecer los parámetros de uso que sirvan de guía tanto para el usuario como para el Laboratorio.

1.5. Preguntas de investigación

El trabajo de investigación busca dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Influyen de manera significativa la variación de los parámetros de corte láser en los diferentes materiales?
- ¿Influyen de manera significativa la variación de los parámetros de mecanizado en el material y las herramientas?

1.6. Definición de la Zona de Estudio

1.6.1. Ubicación

Provincia: Azuay

Cantón: Cuenca

Parroquia: Bellavista

1.6.2. Descripción del Área del Negocio

El trabajo de investigación se enfoca en el área de manufactura, modelado y prototipado, específicamente en el proceso de corte automatizado.

1.6.3. Delimitación Espacial

El estudio se realizó en el laboratorio Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca, la cual se encuentra ubicado en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción en la calle Gral. Torres y Avda. de las Américas, el estudio se realizará en el proceso de corte y el mecanizado de piezas básicas en 2D y 3D en la cortadora-grabadora láser y en el Router

CNC respectivamente. El trabajo de investigación se desarrolló en el periodo comprendido entre octubre 2020 y febrero 2022, aproximadamente.

1.7. Justificación de la Investigación

Actualmente, el laboratorio Fab Lab cuenta con diferentes tipos de máquinas automatizadas que facilitan el proceso de corte y grabado en una gran variedad de materiales, sin embargo, al no contar con un manual de operación donde se muestren los parámetros de uso de los equipos acorde a las características de los materiales disponibles en el mercado se generan diversos problemas que afectan a los recursos materiales de los que dispone el Laboratorio, como por ejemplo la reducción de la vida útil de componentes o el desperdicio de materia prima.

Adicionalmente, no solo los recursos materiales de los que dispone el laboratorio se encuentran condicionados por esta problemática, sino que también los recursos económicos se ven altamente afectados debido a que en el caso de la cortadora-grabadora láser tiene componentes críticos como el tubo láser bajo la influencia de parámetros erróneos reduce su vida útil; misma que según la empresa LiquiLaser (2020) debe tener una duración de 2500 y 6000 horas dependiendo de la potencia de la máquina, cuyo repuesto presenta un elevado costo de adquisición. Por otra parte, en el Router CNC al no tener en cuenta las características de los materiales, el tipo de herramienta a emplear y las especificaciones de la máquina pueden afectar a la calidad de acabado y reducir la vida útil de las herramientas, provocando la compra reiterada de dichas herramientas.

Por tal motivo, la presente investigación busca establecer estos parámetros de operación en la máquina láser y Router CNC, a través de la ejecución de diversas pruebas empleando diferentes parámetros de trabajo en las maquinarias con la finalidad de encontrar los más óptimos que permitan maximizar la vida de útil de los componentes y contribuir a los intereses de la organización.

Así mismo, contribuir con información, con la cual el personal del laboratorio y cualquier usuario capacitado en el uso de esta maquinaria pueda cumplir los estándares de para la producción, satisfacer las necesidades del cliente, optimizar el tiempo de trabajo, y reducir los costos, además son muy escasos los estudios realizados en los que se han abordado investigaciones similares sobre la configuración de parámetros de la máquina láser y Router CNC y de los materiales aptos para el uso en las mismas. Con lo cual el presente proyecto busca convertirse en una guía para el desarrollo de estudios futuros para los estudiantes de la Universidad Católica de Cuenca.

Desde el enfoque social externo servirá de apoyo para organizaciones similares y futuros emprendedores que pretendan abordar el tema y que los resultados de esta investigación sirvan como punto de partida en investigaciones posteriores. De esta forma, el laboratorio de fabricación digital de la Universidad Católica de Cuenca, sigue uno de los principios fundamentales de los Fab Labs que es el flujo de conocimientos y libre acceso a la información, alineándose a dichos principios.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo General

Determinar los parámetros de uso de la cortadora-grabadora láser CO₂ y Router CNC para los materiales más utilizados del laboratorio Fab Lab-Universidad Católica de Cuenca.

1.8.2. Objetivos Específicos

- Definir las pruebas experimentales de corte láser y mecanizado en Router CNC.
- Ejecutar pruebas experimentales de corte para la cortadora láser considerando: materiales, potencia y velocidad de corte.
- Ejecutar pruebas experimentales de mecanizado en Router CNC considerando: material de corte y tipo de herramienta.
- Determinar los parámetros de corte que deben ser empleados en la máquina láser y el Router CNC.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de Fab Lab

Fab Lab se puede definir con un taller local cuya orientación es la fabricación personalizada empleando herramientas de fabricación digital. Autores como Marreo (2017) lo definen como: “Un espacio creativo y colaborativo de fabricación digital, a disposición de profesionales y particulares que quieran desarrollar sus proyectos. Está compuesta por red global de laboratorios conectados a través del *Open Source*² en aproximadamente 30 países” (p. 3). Posee dos enfoques principales: el conocimiento compartido por medio de la red *Open Source* y el uso de softwares abiertos a todo el mundo, lo que favorece al desarrollo y evolución de los diferentes diseños, y la autoproducción. Su principal rasgo característico es el pequeño tamaño que presentan al ser contrastado con talleres de fabricación masiva y su carácter social al permitir el libre acceso a sus instalaciones.

Este tipo de fabricación también trae consigo una serie de ventajas como; la precisión en detalles miniaturizados con respecto a la realización manual reemplazando a las máquinas enfocadas en un proceso específico por máquinas con capacidad de ejecutar múltiples operaciones dando así origen a la producción flexible. Así mismo, incrementando el valor de los procesos y la capacidad de una planta (Siemens, 2020). De esta manera, la fabricación digital está cada vez más inmersa en la industria provocando la modificación de los procesos de la manufactura tradicional, comenzando por un diseño digital para el cual se emplean softwares CAD/CAE/CAM³, tecnologías que permiten el diseño asistido por computador para la generación de archivos digitales(ver Figura 1), también disminuyendo la mano de obra, pero no la elimina en su totalidad debido a que aún requiere de su interacción para la generación de diseños, mantenimiento de los equipos, la operación y supervisión de los procesos.

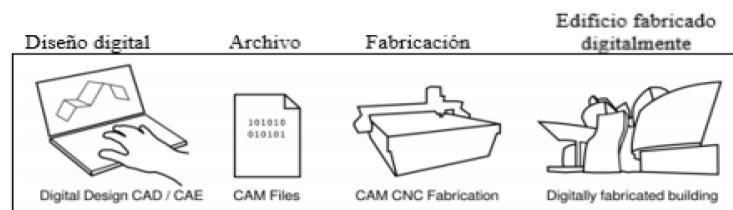


Figura 1. Proceso de Fabricación Digital
Fuente: (García & Pérez, 2018)

² Open Source: Red de flujo de conocimiento

³ CAD/CAE/CAM: Diseño asistido por computadora/Ingeniería asistida por computadora/ Fabricación asistida por computadora

Por otra parte, a medida que este proceso de fabricación fue introduciéndose en la industria, despertó el interés por un nuevo enfoque, el de la fabricación personal en donde la automatización, conectividad y el libre acceso a la información están al alcance del usuario.

Fue así como en el año 2000, Neil Gershenfeld, profesor de MIT⁴ en EEUU creó el proyecto “*Center for bits and atoms (CBA*⁵)” cuyo enfoque fue proporcionar el medio y la tecnología necesaria para hacer los proyectos con bajos costos y de forma rápida, en cualquier parte del mundo, poniéndolas a disposición de todas las personas, tanto profesionales, emprendedores, estudiantes, etc (FabFoundation, 2020). Para el año 2002 el proyecto decide montar un laboratorio en la India y en Boston con la finalidad de identificar que hacía la gente con estos equipos ya no en un medio científico o industrial sino cotidiano, a este tipo de instalaciones se les dio el nombre de “Fab Labs”, las cuales despertaron mucho interés y se fueron multiplicando en diferentes partes del mundo

2.2. Fab Lab a nivel mundial

De acuerdo con Fab Foundation (2020) desde la idea inicial en la India y Boston hasta la actualidad la red Fab Lab a nivel mundial está constituida por 1168 laboratorios distribuidos alrededor del mundo (ver Figura 2).



Figura 2. Mapa Mundial de Red Fab Lab
Fuente: (FabFoundation, 2020)

Todos estos laboratorios se encuentran conectados a través de la red *Open Source* y colaboran en actividades de investigación

2.3. Principios de un Fab Lab

Según Fab Lab Alicante (2020) los principios fundamentales para el desarrollo de un Fab Lab son los siguientes:

⁴ MIT: Instituto Tecnológico de Massachusetts

⁵ CBA: Centro para Bits y átomos

- Ser reconocida como una red global de laboratorios interconectados, cuyo fin es permitir a cualquier individuo poder usar herramientas de fabricación digital, de este modo promoviendo la creatividad y libertad de conocimiento.
- Constituirse como universal al permitir el uso de los equipos del laboratorio para la fabricación de cualquier objeto sin perjudicar a ningún individuo.
- Fomentar la autoeducación debido a que cualquier usuario debe aprender por sí mismo y a su vez promover el sentimiento de compartir, ya debe usar el laboratorio con otros usuarios.
- Ser confiable y que sus usuarios lo perciban de esta manera, ya que busca la protección de los derechos intelectuales, sin embargo, todos los procesos desarrollados en laboratorio tienen que ser de libre acceso para el resto de usuarios.
- Promover la educación y aprendizaje compartido mediante el desarrollo de proyectos.

Cada uno de estos principios engloban la definición de un Fab Lab siempre priorizando el libre acceso al conocimiento, el respeto y la responsabilidad por parte de los usuarios.

2.4. Equipos de un Fab Lab

Un Fab Lab al ser un taller debe contar con una serie de equipos estándar que constituyen el inventario básico:

- Cortadora Láser: Para cortar chapas planas principalmente
- Fresadora de grandes dimensiones: Para cortar paneles en madera contrachapada
- Fresadora de precisión de pequeña: Para la fabricación de placas electrónicas y moldes
- Impresora 3D: Impresión de objeto en plástico biodegradable
- Escáner 3D: Obtención de modelados 3D para aplicaciones de ingeniería inversa
- Máquinas y dispositivos para elaborar componentes electrónicos

Este el inventario básico que debe tener cada Fab Lab conectado a la red para facilitar la colaboración entre laboratorios.

2.5. Servicios Prestados de un Fab Lab

Los principales servicios que presta un Fab Lab, según Hernandez, Guadalupe, & Guadalupe (2017) son:

- Fabricación y producción: A través del uso de las herramientas se generan los prototipos 3D con base a las especificaciones técnicas dictadas por el fabricante.
- Consultoría: Brindar servicios de asesoría técnica a particulares en el desarrollo de productos y servicios.

- Educación: Impartición de cursos, talleres y capacitaciones a particulares en temas de fabricación digital.

2.6. Fab Lab en Ecuador

A nivel nacional dentro de la red mundial Fab Lab se encuentran registrados 10 laboratorios, siendo la ciudad de Quito la que mayor concentración de talleres. Así como también en la provincia de Cuenca se registran 2 laboratorios (ver Figura 3):

- Laboratorio Drot
- Fab Lab Universidad Católica de Cuenca



Figura 3. Mapa de Cuenca de Red Fab Lab
Fuente: (FabFoundation, 2020)

A continuación, se detalla la información sobre el Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca:

El modelo de negocio está orientado a la fabricación personal de maquetas, prototipos, partes y piezas, brindando a sus usuarios las herramientas académicas y de manufactura necesarias para conseguirlo.

El Laboratorio tiene como misión: Promover el desarrollo académico, investigativo y económico de la región, mediante el uso de tecnologías de fabricación digital y metodologías de aprender haciendo, que permiten la creación de prototipos, productos, servicios y procesos innovadores construyendo así al desarrollo y empresarial.

El Fab Lab de Universidad Católica de Cuenca tiene los siguientes servicios:

- Creación de prototipos, procesos y productos de innovación
- Asesorías en temas de desarrollo de productos, emprendimiento, creación de modelos de negocio, metodologías para la innovación
- Capacitaciones en las áreas de: diseño de objetos 3D, Robótica con Lego, Domótica y dron con Arduino, Industria 4.0 y seguridad Raspberry, Muebles y módulos, Scratch e introducción a la programación

Así mismo, cuenta con las siguientes máquinas y equipos:

- Creación de prototipos, procesos
- Impresora 3D, *Flash Forge* (Área de impresión 14 x 14 x 14 cm)
- Impresora 3D, en resina (Área de impresión 14,5 x 14,5 x 17,5 cm)
- CNC de gran formato (Área de trabajo 1,22 x 2,44 m)
- CNC de escritorio (Área de trabajo 40 x 30,5 x 13,5 m)
- CNC mini (Área de trabajo 23 x 15,24 x 6,5 m)
- Cortadora láser (Área de trabajo 1,60 x 1,00 m y 15mm máx. de espesor)
- Scanner 3D portátil
- Micro Procesadores Arduino
- Plotter de impresión
- Impresora / cortadora de inyección de tinta
- Lego Mindstorms
- Raspberry Pi
- Impresora UV Cama Plana
- Paquetes computacionales: Autodesk y Adobe

Como el presente proyecto se enfoca en análisis de los parámetros de la cortadora – grabadora láser y el Router CNC, se ha desarrollado una investigación sobre sus principios de funcionamiento y materiales aptos.

2.7. Corte y Grabado Láser

2.7.1. Principio de funcionamiento

La cortadora y grabadora láser es una máquina controlada mediante un ordenador, considerada como una herramienta versátil para el corte y el grabado. Para realizar estas operaciones emplea un láser CO₂, cuyo principio de funcionamiento es la transformación de energía eléctrica, generada por la transición en los niveles de energía por parte de los electrones de CO₂ en haz de luz que trabaja a grandes velocidades.

Es decir, es un proceso muy simple que parte de enfocar un haz de rayo láser en el material con la ayuda de un lente de enfoque hasta que se caliente y alcance la temperatura de fusión. Una vez este haz ha alcanzado la profundidad deseada se puede iniciar el proceso, es decir, desplazarlo por la trayectoria deseada generando el grabado o corte. Según Rojas (2018), láser es definido como: “Son siglas cuyo significado es: Luz amplificada por la emisión estimulada de radiación, cuyas letras iniciales en inglés forman la palabra laser” (p. 16).

Las piezas que se obtienen con estos procesos son aptas para el ensamblaje sin la necesidad de reprocesamiento. Esta última característica es la que resalta en este tipo de procesos, ya que con el láser se puede trabajar diversos materiales con varios espesores. Según Hurtado (2015) menciona que en el proceso industrial el 60% requiere el uso de cortes con láser, siendo la industria automotriz la que requiere este tipo de aplicaciones.

El tiempo requerido es dependiente del tipo de material y su espesor, las aplicaciones más comunes son en madera. La ranura que se genera por este proceso es apenas más ancha que el rayo empleado.



Figura 4. Corte Láser
Fuente: (Maderame, 2015)

Parámetros del proceso: Son aquellos que tienen que ver netamente con la configuración, ejecución y resultado del proceso:

Potencia: Es fundamental para definir la profundidad y la velocidad a la que puede trabajar el láser. Mientras más alta sea está mayor espesor podrá trabajar y con una mayor velocidad.

Velocidad de corte: Este parámetro queda establecido por la potencia del láser empleado y el espesor del material a trabajar, como se puede observar en la Figura 12, donde se indica que a mayor potencia y menor espesor el proceso requerirá una mayor velocidad de corte para alcanzar la profundidad deseada y evitar quemar el material.

Por otra parte, es importante tener en cuenta otros elementos del proceso que no se pueden modificar, ya que depende de las características de la máquina pero que afectan significativamente al proceso de corte láser. Dentro de los cuales se tiene:

- **Haz:** Se lo define como la distribución energética que es expulsada por una sección, presenta un carácter Gaussiano, lo que le permite generar un punto muy pequeño y enfocado. De este parámetro permite controlar densidad de potencia,

profundidad del enfoque, el ancho, la velocidad de corte y espesor a trabajar, a menor ancho de corte mayor velocidad y capacidad de espesor a trabajar.

- Gas auxiliar: Este parámetro es dependiente del proceso, entre sus funciones principales están expulsar el material fundido, enfriar los bordes del corte, proteger al lente láser de salpicaduras.
- Forma de la boquilla: Es un parámetro a considerar debido a que cumple funciones como: dirigir al gas de forma coaxial en el láser, reducir el movimiento y evitar el desalineamiento del láser, mantiene la presión estable en la superficie del material cortado. Además, su forma, tamaño y el diámetro de la boquilla definen al chorro lo cual influye de manera directa en la calidad del corte.

Debido a las diferentes características propias del proceso se analizan las ventajas y desventajas que posee el mismo como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1
Ventajas y desventajas Láser CO2

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Permite trabajar a velocidades relativamente altas por lo que puede ser empleado en la producción en serie - Permite trabajar materiales, no metálicos, acrílico, papel, cartón, cuero, piedra y casi todos los plásticos - Debido a su gran calidad de la láser es el tipo de cortadora láser más empleados - Operación silenciosa y segura para el operador
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Requieren un alto costo de mantenimiento y operación - No se puede aplicar en materiales refractantes como el cobre - Alto costo de inversión inicial - Vida útil del láser corta

Nota: Elaboración Propia

2.7.2. Materia prima del proceso

A continuación, se describe un listado de los materiales comúnmente usados y su compatibilidad con el corte y grabado láser.

MDF: Es resultado del procesamiento de la madera a partir de su descomposición en fibras, y su mezcla con pegamento de resina. Sus espesores varían entre 2-8 mm y sus dimensiones dependen del área de trabajo de la máquina.

- Grabado de línea y superficie de textos y figuras
- Corte de piezas, nodos y figuras para ensamble de prototipos

Papel/Cartón: Son materiales ligeros. Para el caso del cartón elaborado mediante la laminación de hojas de papel, puede ser de varios tipos: ondulado, gris, madera y de celulosa. Sus espesores varían entre 0,7-6,7 mm.

- Grabado de línea y superficie de textos y figuras
- Corte de piezas, nodos y figuras para ensamble de prototipos

Plásticos (Acrílico): Puede ser fabricado mediante procesos de colada continua o extrusión. Siendo la mayor diferencia entre estos la calidad de producto, donde la colada continua presenta mayor calidad. Sus espesores varían entre 1-10 mm

- Grabado de línea y superficie de textos y figuras
- Corte de piezas, nodos y figuras para ensamble de prototipos

Acero al carbono: Es un tipo de aleación de hierro con carbono, que se obtiene mediante procesos de fundición. Para el corte láser se puede emplear espesores de 0,5-10 mm

- Corte de texto y figuras para piezas decorativas
- Corte de partes pequeñas de modelos o prototipos

Acero Inoxidable: Es un tipo de aleación de hierro y bajo carbono con cromo y níquel. Para el corte láser se puede emplear espesores de 0,5-4 mm.

- Corte de texto y figuras para piezas decorativas
- Corte de partes pequeñas de modelos o prototipos

Cuero: Puede ser fabricado de dos formas: natural, mediante el curtido de la piel de animales, y sintético, es producido a partir de la resina de poliuretano. En el grabado láser se puede utilizar los dos tipos.

- Grabado sobre bolsos, carteras, maletines, cinturones, pulseras o ropa

2.8. Router CNC

2.8.1. Principio de funcionamiento

El Control Numérico Computarizado, conocido comúnmente como CNC, es un sistema de automatización empleada para el control y monitoreo del movimiento de una máquina-herramienta específica, como es el caso de: rectificadora, fresadora, torno, entre otros, que son controlados por medio de comandos programados para generar un objeto físico. El tipo de material a usar en un Sistema CNC depende principalmente de la aplicación y las características de la máquina debido a que se puede emplear casi todo tipo de materiales como: acero, titanio, madera, espuma, fibra de vidrio, aluminio, latón, cobre y plásticos como el caso del propileno.

Para poder mecanizar un objeto o elemento mediante el maquinado CNC como paso previo se debe tener el modelo generado en software CAD, y definidas las tareas de manufactura y el sistema de coordenadas en un software CAM/CAE a través de un código G⁶.

La base del sistema es el control de los movimientos de la máquina herramienta con respecto a las coordenadas definidas previamente. Dependiendo del tipo de máquina herramienta empleada se tendrá 2 o más ejes de movimiento como, por ejemplo, un torno en el eje X se hará referencia a todos los desplazamientos longitudinales que posee el carro y en el eje Z los desplazamientos que tendrá el acople que sostiene a la herramienta de corte. En el caso de una fresadora se añade el eje Z que permitirá controlar los movimientos verticales,

Un Router CNC funciona similar a la fresadora, pero con la diferencia de que el motor y los movimientos de las herramientas de corte son controlados por un programa, es decir es un tipo de cortadora automatizada cuyo funcionamiento se deben a motores accionados y controlados por un Sistema CNC, que operan por medio de tres ejes (ver Figura 5): horizontal “x”, vertical “y” y profundidad “z” (Ortíz, 2021). Son aplicados comúnmente en trabajos en serie debido a su capacidad para cortar grandes volúmenes y piezas similares en cortos tiempos. Destacando que tiene una gran precisión para realizar cortes en 2 y 3 dimensiones.

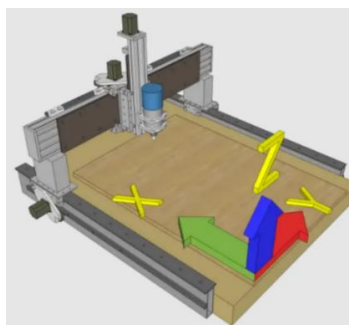


Figura 5. Router CNC
Fuente: (Ortíz, 2021)

Para el control de cada uno de estos ejes es necesario la presencia de motores de pasos o servomotores que transformaran la programación en movimiento de corte y desbaste. Cnc DIY (2017) menciona que el sistema de una máquina CNC está conformado por seis elementos básicos y fundamentales, como son:

- Código de la pieza: conocidas también como código G, su función es controlar el movimiento de máquina herramienta.
- Dispositivo de entrada: se utiliza para cargar o modificar datos.

⁶ Código G: Se utilizan para ordenar acciones específicas en una máquina como; movimientos, y velocidades.

- Unidad de control: es la responsable de interpretar el código G, es decir es un chip que ayuda a interpretar los datos y coordinar el movimiento de los servomotores.
- Herramienta: Es el cabezal que opera sobre la pieza
- Sistema de sujeción: Es en donde se coloca la pieza para ejecutar el proceso sin que se desplace.
- Sistema de accionamiento. Son los controles través las cuales se puede operar y controlar el quipo y el proceso.

Parámetros de mecanizado: Son aquellos que tienen que ver netamente con la configuración, ejecución y resultado del proceso. A continuación, se detalla los parámetros a mecanizar necesarios:

Tabla 2
Parámetros de mecanizados en el Router CNC

Parámetro	Abreviatura	Unidades	Definición
Velocidad del husillo	n	Rpm	Es el número de vueltas que da el cabezal en un periodo de tiempo.
Diámetro de corte	D	Mm	Es el diámetro de la herramienta (fresa).
Velocidad de corte	Vc	m/mn	Es la velocidad a la que gira el filo de la herramienta sobre la pieza a mecanizar.
Avance por diete/carga de viruta	fz	Mm	Es la cantidad de viruta que arranca cada filo de la herramienta durante el mecanizado.
Velocidad de avance	Vf	mm/mn	Es la longitud recorrida por la herramienta a lo largo de la superficie de la pieza.
Número de dientes/filos	Z	-	Es la cantidad de filos que poseen las fresas.
Profundidad de paso	ap	Mm	Es la distancia que penetra la herramienta en la pieza en cada pasada.

Fuente: Elaboración propia

Debido a las diferentes características propias del proceso se analizan las ventajas y desventajas que posee el mismo como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3
Ventajas y desventajas del Router CNC

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Alto grado de precisión en la producción - Puede producir piezas de forma ininterrumpida por lo que se puede emplear para fabricar grandes volúmenes - Debido a que no es necesario manipular las partes móviles presenta un alto grado de seguridad
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de mantenimiento - Requiere de un código de programación de gran precisión - Alto costo de inversión inicial - Costo de las herramientas suelen ser más costos que las máquinas de mecanizado manual

Nota. Realizado por: Elaboración Propia

2.8.2. Herramientas en el mecanizado

A continuación, Pdstudio (2021) describe de manera general las herramientas según su tipo y aplicación:

- Herramienta con punta de bola: Es un tipo de herramienta que permite que el acabado sea blando y redondeado. Usualmente se emplea el mecanizado en 3D o tridimensional.
- Herramienta con punta plana: Es un tipo de herramienta utilizada en el mecanizado 2D o bidimensionales.
- Herramienta en V: Se utilizan para realizar grabados (no agujeros).

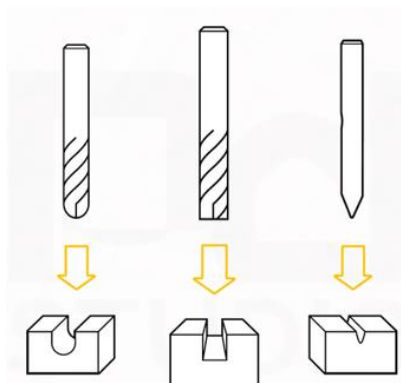


Figura 6. Fresa con punta de bola
 Fuente: (Pdstudio, 2021)

De la misma manera menciona que se debe tener en cuenta el número de filos de las herramientas, ya que influye al momento de emplear en los diferentes materiales.

- Fresas con un filo y dos: Maderas blandas, maderas duras, acrílicos, plásticos y multilaminados.
- Fresas con tres filos: Uso exclusivo para metales.

Una vez detallado los tipos de herramientas más importantes que se pueden ajustar al Router CNC, sin embargo, se procede a describir las herramientas más básicas para cada tipo de material:

Brocas para madera y uso general. Se caracterizan por poseer un acabado de carburo que les brinda una larga vida útil y pueden permanecer afiladas durante largos periodos de trabajo. Sus principales aplicaciones son el corte y grabado sobre todo tipo de madera siendo más utilizadas en estas aplicaciones las de geometría redondeada.

Y sus costos oscilan entre \$12 a \$ 22 dependiendo del diámetro y filo que estas posean (ver Figura 7).



Figura 7. Brocas para madera
Fuente: (Salvador, 2019)

Brocas para corte de plástico y acrílico. Son un tipo de broca que pueden poseer revestimiento de carburo de tungsteno o tipo diamante (DCL⁷) en sus puntas. Caracterizadas por ofrecer un gran rendimiento y precisión lo que permite obtener acabados de corte y grabado de alta calidad. Sus costos oscilan en un rango entre los \$12 a \$45 dependiendo del revestimiento y diámetro requerido (ver Figura 8).



Figura 8. Brocas para acrílico

⁷ DCL: Carbono diamante

Fuente: (Salvador, 2019)

Brocas para aluminio y materiales no ferrosos. Poseen una punta de carburo sólido que les permite trabajar en este tipo de materiales (ver Figura 9). Aunque también pueden presentar revestimientos de zirconio que incrementa su vida útil. Por lo general sus costos oscilan entre \$12 y \$25.



Figura 9. Broca para aluminio
Fuente: (Salvador, 2019)

2.8.3. Materia prima del proceso

Entre los principales materiales que puede mecanizar el Router CNC se tiene:

- Madera Contrachapada, MDF, Aglomerado
- OSB⁸, ABS⁹
- Acrílico y estireno
- PVC
- Fibra de vidrio
- Plásticos
- Acero
- Aluminio, cobre, bronce
- Triplay

Como el enfoque de la presente investigación es la determinación de los parámetros de uso de un Router CNC se ha realizado el análisis de la materia prima más empleada.

MDF Es el resultado del procesamiento de la madera a partir de su descomposición en fibras, y su mezcla con pegamento de resina. Sus espesores varían entre 2-8 mm y sus dimensiones dependen del área de trabajo de la máquina.

- Fabricación de portarretratos y decoraciones de pared
- Corte de partes de modelos y prototipos
- Fabricación de artículos de oficina

⁸ OSB: Fibra orientada, son tableros conformados por sucesivas capas de virutas.

⁹ ABS: acrilonitrilo butadieno estireno, es un tipo de plástico.

- Generación de relieves y esculturas 3D con diferentes profundidades y mecanizados en 2den 2D

Madera contrachapada: Es un producto elaborado al pegar láminas finas de chapa de madera una con otra. Es de color oscuro y debido a su fabricación presentan gran dureza y densidad. Sus espesores pueden ir desde los 4 hasta los 30 mm.

- Fabricación de portarretratos y decoraciones de pared
- Corte de partes de modelos y prototipos
- Fabricación de artículos de oficina
- Grabado de textos y figuras

Aluminio: Metal ligero de baja densidad y coloración plateada. Industrialmente uno de los metales más empleados debido a su maleabilidad, larga vida útil y gran resistencia a la corrosión. Para este tipo de proceso se emplean chapas de aluminio de 0,2 hasta 15 mm de espesor.

- Mecanizado de formas y figuras
- Grabado de textos y figuras
- Fabricación de piezas industriales

Plásticos (Acrílico): Puede ser fabricado mediante procesos de colada continua o extrusión. Siendo la mayor diferencia entre estos la calidad de producto, donde la colada continua presenta mayor calidad. Para este proceso sus espesores pueden ser mayores a 20 mm

- Corte y estampado de textos y figuras
- Generación de relieves y esculturas 3D con diferentes profundidades

Acero al carbono: Es un tipo de aleación de hierro con carbono, que se obtiene mediante procesos de fundición. Para el mecanizado CNC se puede emplear espesores de diferentes medidas debido a que la profundidad de trabajo queda limitada por el área de trabajo de la máquina

- Mecanizado de formas y figuras
- Grabado de textos y figuras
- Fabricación de piezas industriales

2.9. Análisis de estudios previos

En esta sección se hará referencia a los trabajos relacionados con la temática y problemática expuesta en el presente proyecto. De manera similar a las investigaciones previas se tomarán como datos de referencia para el presente proyecto los parámetros de velocidad y potencia para determinados espesores de material.

Se tiene el estudio de Castro & Guamán (2016), quienes diseñaron, construyeron e implementaron un Laser CO₂ para el corte y grabado en madera, para lo cual desarrollaron pruebas para determinar los parámetros óptimos de funcionamiento del equipo, como por ejemplo de: perpendicularidad, velocidad, precisión, posicionamiento, profundidad de corte del material, corte y grabado. Obteniendo un láser de 80 W con una velocidad máxima de 6000 mm/min en tres materiales (balsa, trípex, MDF y cartón), para cortar la tabla trípex de 2 mm con el 100% de potencia se empleó una velocidad de 2000 mm/min y para un espesor de 6 mm una velocidad de 400 mm/min. A partir de lo que concluyó que al disminuir la velocidad se producen mayores quemaduras en el borde. De este estudio se tomará como referencia las consideraciones para las pruebas realizadas.

Por otra parte, implementaron un sistema de corte CNC por láser para el corte y grabado en acrílico de hasta 5 mm de espesor los autores Cruz & Pérez (2017), para lo cual se empleó un láser de 40W con un área de trabajo de 20 x 30 cm, a través de pruebas de corte de circunferencias y cuadrados se determinó: para espesores de 2 mm, una potencia del 80% con una velocidad de 60 mm/min se requiere de una sola pasada para realizar el corte, bajo las mismas condiciones de velocidad y potencia y un espesor de 5 mm se requieren 3 pasadas. Se concluyó que el parámetro óptimo de corte para un espesor de 5 mm es un 90% de potencia a una velocidad de 2 mm/s y para espesores menores de 2 mm basta con emplear un 60% de potencia a una velocidad de 9 mm/s. De este estudio se tomará como referencia los parámetros determinados para corte y grabado en acrílico.

Así mismo, en otro estudio Pérez (2015) desarrolló el diseño y construcción de una cortadora láser CNC de bajo costo de fácil acceso par0061 pequeños emprendimientos, obteniendo una cortadora láser de 50W con un área de trabajo de 800 x 500 mm capaz de cortar planchas de madera de 5 mm de espesor y 8 mm para planchas de acrílico con una velocidad de 80 mm/s.

A continuación, se expone estudios relacionados a los procesos de mecanizados en el Router CNC. En el cual el autor Delgado (2019) diseño y construyó un prototipo de una máquina Router CNC. Generando una máquina con una potencia de 92,6 W con una velocidad de 10.000 rpm para trabajar en madera empleando como herramienta una fresa SKH de un solo filo con un área de trabajo de 190 x 240 x 30 mm. La máquina construida fue sometida a una serie de pruebas de funcionamiento (velocidad, precisión, maquinado y repetitividad) a partir de las cuales se concluyó que para maquinar un cubo de madera de cedro de 190 x 240 x 30 mm se requiere una velocidad de corte de 100 m/min y una velocidad de rotación del usillo de 8000-30000 rpm. Parámetros que se emplearán como referencia para el presente trabajo.

De la misma manera, López & Parra (2016) realizaron una investigación centrada en el diseño de una Fresadora Router CNC. Logrando diseñar un equipo CNC de mesa móvil y puente fijo con un área de trabajo de 400 x 400 x 200 mm con una potencia de 400 W. Sistema que fue sometido a pruebas de funcionamiento con las cuales se pudo concluir que los parámetros adecuados para la operación de la misma son: velocidad de avance de 3060 mm/min, velocidad de corte 160 m/min, giro del usillo 12739 rpm y potencia del usillo 0,4 kW. Datos referenciales que servirán como guía para el presente proyecto.

2.10. Metodología experimental

El diseño de experimentos o Método DOE se define como una técnica estadística que permite planificar y diseñar pruebas experimentales de manera que con el mínimo número de pruebas se pueda obtener información valiosa con la finalidad de obtener respuestas y optimizar los procesos, a partir del análisis de los datos recolectados. Por otro lado, Rojas (2018) menciona que el diseño de experimentos ayuda a determinar el tipo de prueba, la forma de ejecutar, y el número de pruebas a realizarse. Dentro del campo industrial, la realización de experimentos es algo habitual, ya que permite el mejoramiento de productos o proceso. A continuación, algunos ejemplos sobre de la aplicación del diseño experimental:

- Cambios dentro de un proceso, operación, productos o sistemas.
- Comparación de diferentes tipos de materiales, con la finalidad de elegir el óptimo.
- Minimizar el ciclo de trabajo de máquinas o procesos
- Determinar parámetros de operación de una máquina

A continuación, pasos que se debe seguir del siguiente método:

- Planificar el proceso: entender y delimitar el problema
- Definir las variables de respuestas del proceso
- Determinar qué factores se manipularán en el proceso.
- Seleccionar los niveles de cada factor y el diseño experimental adecuado.
- Planear y organizar el trabajo experimental
- Ejecutar el experimento
- Análisis e interpretación de datos
- Conclusiones

2.10.1. Diseño factorial

Los diseños factoriales analizan el efecto que causa la manipulación de uno o más factores independientes sobre el factor de respuesta que se busca (Hernández, 2014). Las variables pueden ser cualitativas o cuantitativas, por ejemplo: tipo de máquina, tipo de material,

temperatura, velocidad, precisión, entre otros. En el diseño de experimentos factoriales, debe existir al menos dos niveles de prueba para cada uno de los factores, de manera que pueda realizar combinaciones.

De esta manera, la matriz factorial es el conjunto de tratamientos que puedan construirse considerando todas las combinaciones de los niveles de los factores. Así, a los factores del experimento se les denomina k ; es decir si existen dos factores A y B con dos niveles, se representa el diseño factorial de la siguiente manera: $2^2 = 2*2 = 4$, dando como resultado cuatro puntos muestrales, así mismo si se tiene dos factores con diferentes niveles, por ejemplo, el factor A con tres niveles y el factor B con dos niveles, se puede crear un diseño factorial de $3*2$ combinaciones.

Para la determinar el número de corridas del experimento se debe multiplicar el número de combinaciones por las réplicas. Es decir que, si se tiene k factores y con diferentes niveles cada uno, se debe escribir el producto de manera explícita.

Ejemplo: Si se estudia la influencia de la temperatura y la velocidad, y se establece dos niveles para cada factor, entonces cada combinación de velocidad y temperatura es un punto de diseño o tratamiento, obteniendo cuatro tratamientos (ver Figura 21).

Nivel de velocidad	Nivel de temperatura	Tratamiento	y
1	1	1	
2	1	2	
1	2	3	
2	2	4	?

Figura 10. Puntos de diseño de un experimento
Fuente: (Gutiérrez & De la Vara, 2008)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se detalla los aspectos referentes al diseño de la investigación como: el enfoque de la investigación, la modalidad y el tipo de investigación. Así mismo, se describe las técnicas e instrumentos que se utilizaran en el transcurso del estudio para la adquisición de datos, finalmente el procesamiento y análisis de la información.

3.1. Enfoque de la Investigación.

El presente estudio aplicará el enfoque de investigación cuantitativo. Neill & Cortez (2018) menciona que la investigación cuantitativa constituye el método experimental, en la que se recoge y analiza datos cuantitativos sobre variables, es decir que ayuda conocer la realidad de una manera empírica, lo que involucra el uso de herramientas matemáticas, estadísticas e informáticas.

De esta manera se aplicará el enfoque cuantitativo con la finalidad de profundizar mediante pruebas experimentales en el contexto de los parámetros de uso de corte láser y mecanizado de piezas básicas en 2D y 3D en los diferentes materiales y fresas, que posteriormente serán analizadas mediante el uso de herramientas estadísticas e informáticas.

3.2. Modalidad de la Investigación

La modalidad del presente trabajo de investigación será documental-bibliográfica y experimental. Según Vivero & Sánchez (2018) la investigación documental-bibliográfica es la que se construye aparte de consultas de fuentes digitales o físicos como libros, tesis, archivos entre otros con la finalidad de la búsqueda de conocimiento y la construcción del mismo. Así mismo, Galarza (2021) menciona que el diseño experimental se caracteriza por la aplicación del método científico es decir buscar repuestas mediante procesos experimentales en lo que se manipulan variables.

En este contexto, se obtendrá información secundaria de estudios similares respecto al tema planteado, tales como libros, revistas y tesis con la finalidad de ampliar y profundizar el proceso de corte por láser y el mecanizado automatizado en el Router CNC. Por otra parte, la investigación será experimental, ya que se ejecutarán pruebas tomando en cuenta las investigaciones previas y las características de las máquinas con la finalidad de establecer parámetros adecuados de corte en dichas máquinas.

3.3. Tipo de Investigación

El presente estudio es una investigación de tipo experimental, ya que se analizará el efecto que causa la manipulación de una o más variables independientes sobre las variables de

respuestas o denominadas variables dependientes. Así mismo, permite explicar las causas de los hechos ocurridos, es este caso se pretende conocer el origen y resultado producido sobre las variables de respuesta de las pruebas experimentales (Hernández, 2014).

3.4. Población y muestra

El presente estudio es de sujeto único, ya que se realizará en el laboratorio Fab Lab de la Universidad Católica de Cuenca en la máquina de corte y grabado láser y el Router CNC. Para efectos de la ejecución de las pruebas experimentales, se utilizará el muestreo por conveniencia. Según Otzen & Manterola (2017) mencionan que es una técnica de muestro no probabilístico, porque el investigador selecciona la muestra ya sea por disponibilidad y proximidad de los elementos con el investigador.

Por lo tanto, se empleará este tipo de muestreo porque los materiales a formar parte del experimento se determinaron en base a los materiales más empleados dentro del Laboratorio. De este modo, se estableció 18 muestras con diferentes combinaciones para cada material y herramienta, con un total de 108 muestras para corte láser y 54 muestras para el mecanizado, es decir un total 162 pruebas experimentales empleados en el presente trabajo.

3.5. Técnicas de Recolección de Información

Para el presente estudio se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de información:

La observación: esta técnica permitirá registrar la información de las pruebas que se realizarán mediante fotografías que usarán para analizar la calidad del corte de dichos procesos.

Método del diseño factorial: es un tipo de experimento puro en el que se manipula más de una variable independiente, y que se estudia el efecto que causa sobre la variable de respuesta, y permite identificar el número de pruebas necesarias de cada uno de los materiales de dichos procesos (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Calibrador: Es una herramienta de calibración, el cual contribuirá a la medición de los datos de las tolerancias geométricas de las piezas.

Instrumento de recolección de datos: Permitirá registrar los tiempos de las pruebas experimentales, las mediciones adquiridas, el total de combinaciones y pruebas ejecutas en cada proceso.

3.6. Procesamiento y Análisis de la Información Recolectada

La recolección de la información que se obtendrá de las pruebas experimentales se evaluará mediante herramientas informáticas y estadísticas (Software Minitab) el cual permitirá analizar y comparar mediante imágenes y gráficos los resultados obtenidos con la finalidad de seleccionar los parámetros más óptimos para dichos procesos.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Una vez establecida la metodología a seguir, es necesario definir los procedimientos mediante los cuales se llevó a cabo la ejecución de las pruebas experimentales. A continuación, se muestra el diagrama del general para la ejecución de los ensayos del presente estudio (ver Figura 22).

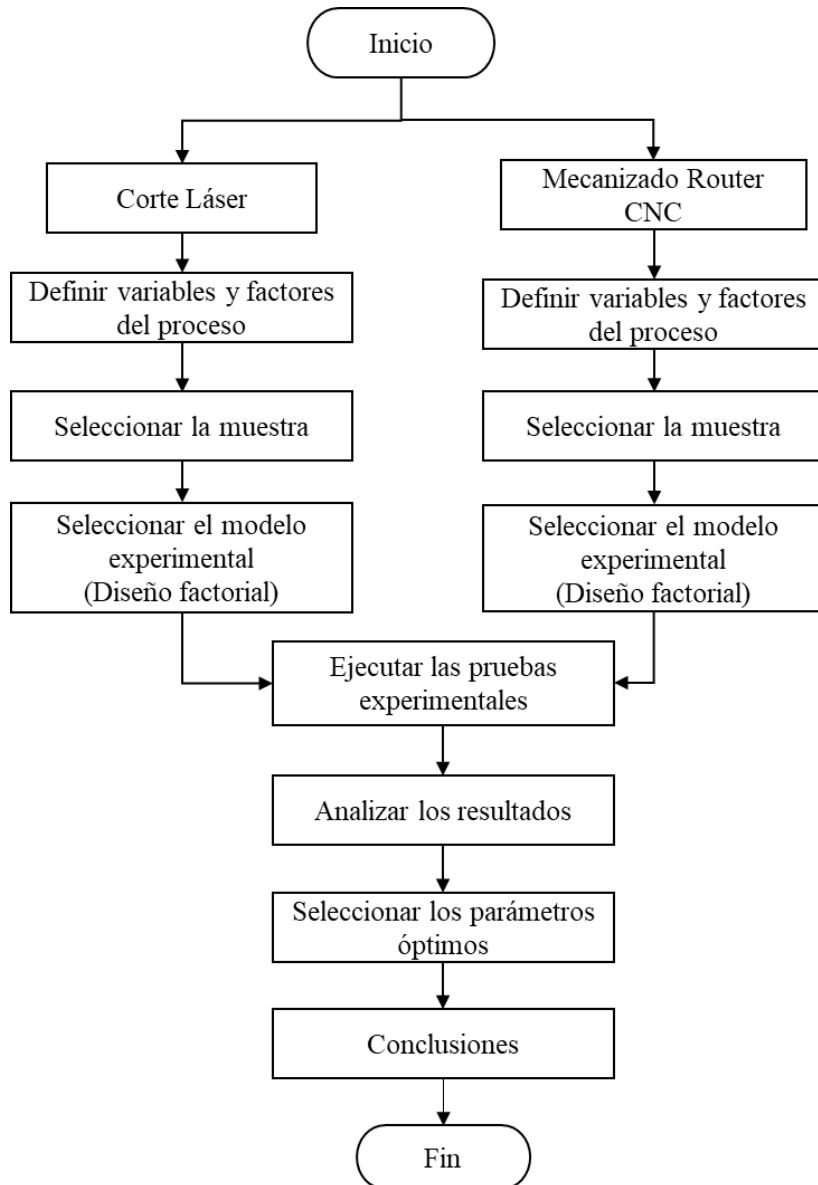


Figura 11. Diagrama general de las pruebas experimentales
Fuente: Elaboración propia

4.1. Cortadora y grabadora láser

4.1.1. Características de máquina

Este apartado detalla las características de la cortadora-grabadora láser (ver Tabla 4), ya que es importante conocer los detalles técnicos proporcionados por el fabricante de la máquina porque permitirá establecer los parámetros en base a la capacidad de dicho equipo.

Tabla 4

Características de la cortadora-grabadora láser

Características	Especificaciones
Modelo	DCLM 1600-1000
Materiales permitidos	Textiles, acrílico, madera, mdf, sintéticos, corosiles, cuero. Graba vidrio y cerámica.
Sistema de movimiento	Motores de paso
Potencia del láser	130W
Tamaño de trabajo(mm)	160*100cm
Velocidad máxima	100mm/seg
Software	SolidWorks
Formato de archivos	dxg, ai, eps
Precisión	± 0,05 mm
Dimensiones de la máquina(mm)	213*164*115cm
Fuente de alimentación	220v

Nota: Elaboración Propia



Figura 12. Cortadora y grabadora láser
Fuente: Laboratorio Fab Lab-Ucacue

4.1.2. Operación

A continuación, se muestran los pasos a seguir para el encendido, puesta en marcha y operación de la cortadora y grabadora láser, con la finalidad de operar correctamente la máquina durante las pruebas experimentales (ver Figura 13):

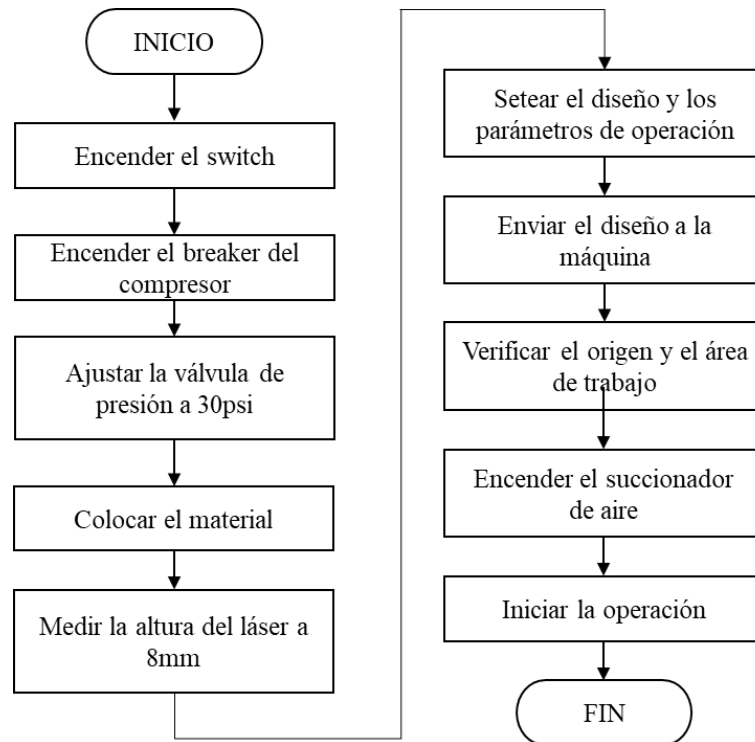


Figura 13. Diagrama de flujo de operación de la máquina láser
Fuente: Laboratorio Fab Lab-Ucacue

4.1.3. Materiales para el experimento

En esta sección se mencionan los materiales que serán usados durante la ejecución de las pruebas experimentales. Para la selección se ha considerado los materiales de mayor uso en las instalaciones, con el fin de establecer los parámetros óptimos.

Tabla 5
Materiales para corte láser

Materiales	Espesor (mm)		
MDF	3	4	2
Acrílico	3	2	2
Sintra	3	2	2
		Total	6

Nota: Elaboración Propia.

4.1.4. Diseño de las probetas

Para determinar la calidad del proceso y los parámetros óptimos es necesario establecer un diseño adecuado. El autor Rojas (2018) en su estudio realizado sobre el proceso de corte láser por CO₂, se basó en investigaciones previas para diseñar probetas geométricas con trayectorias de corte circular y recto que permiten apreciar la calidad y evaluar la precisión respectivamente. Además, no se cuenta con una normativa que estandarice el proceso de calibración de una cortadora láser. Motivo por el cual, se ha tomado el criterio de este autor y se define las siguientes probetas.

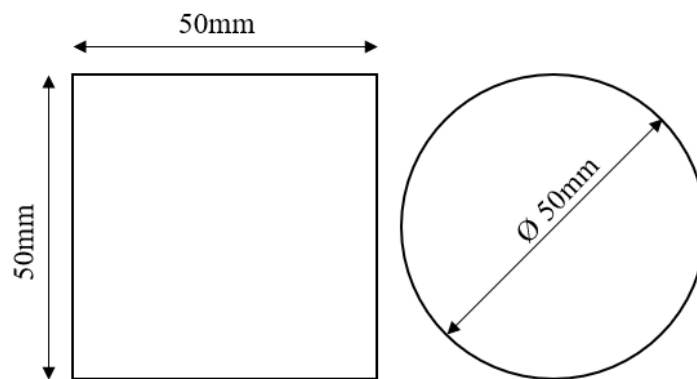


Figura 14. Probetas para corte láser
Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Definición de las variables

Previo a realizar las pruebas experimentales es necesario conocer las variables de entrada y salida (ver Figura 15).

- **Las variables de entrada:** espesor del material, potencia de la máquina, velocidad de corte, presión de aire, boquilla, haz del tubo láser, altura de la láser y geometría a cortar.
- **Las variables de salida:** tiempo y tolerancias geométricas de cada probeta.

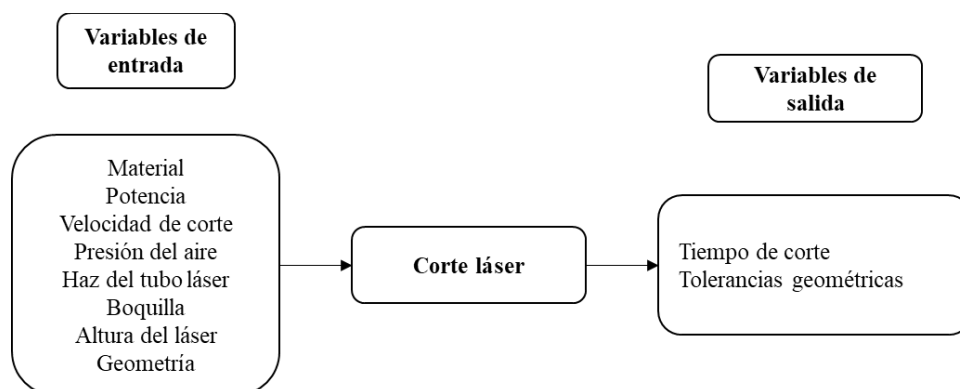


Figura 15. Variables de entrada y salida en el corte láser
Fuente: Elaboración propia

Destacando que para el presente estudio existen factores que pueden ser controlados por el investigador como: velocidad de corte, potencia de la máquina, material, espesor del

material, y geometría de las probetas, sin embargo, existen factores que son difíciles de manipular, porque depende de las características y especificaciones de fabricación de la máquina. Así mismo, se pretende conocer el efecto que causa la modificación de dichos parámetros en las variables de salida (tiempo de corte y tolerancias geométricas) del proceso, mediante las cuales se podrá analizar de forma cuantitativa la calidad de corte láser en los diferentes materiales (ver Tabla 6).

Tabla 6
Factores controlables, no controlables y variables de salida del proceso

Factores controlables	Unidad	Factores no controlables	Unidad	Variables de salida	Unidad
Material	-	Presión de aire	30psi	Tiempo	Seg
Espesor del material	mm	Boquilla	-	Tolerancias geométricas	mm
Potencia de la máquina	W	Haz del tubo láser	-		
Velocidad de corte	mm/s	Altura del láser	8mm		
Geometría de corte	-				

Nota: Elaboración propia

4.1.6. Selección de parámetros de entrada

Para seleccionar los valores de las variables de entrada se tomó como punto de partida los parámetros de corte recomendados por los fabricantes de la máquina láser y posteriormente se ejecutó pruebas preliminares con la finalidad de seleccionar el rango de los parámetros que corten en los diferentes espesores y materiales del presente estudio.

Una vez seleccionado los criterios de entrada se han consideran las recomendaciones de Trotec Laser (2021), que indica que se debe realizar incrementos de 5 o 10% en los parámetros de potencia o velocidad, pero manteniendo un parámetro constante de manera que se pueda ejecutar todas las combinaciones y apreciar la diferencia entre dichos parámetros.

Tabla 7
Parámetros seleccionados a través de las pruebas preliminares

Material	Espesor (mm)	Potencia (W)	Velocidad de corte (mm/seg)
MDF	3	25	35
	4	30	40
Acrílico	3	35	45
	2	30	40

Sintra	3	25	35	15-25
	2	20	30	15-25

Nota: Elaboración Propia

4.1.7. Determinar el número de pruebas experimentales

Para determinar las combinaciones y el número de pruebas experimentales necesarios para cada material en el proceso de corte láser, se basó en el diseño factorial en el que Hernández (2014), describe que los factores deben tener al menos dos niveles para realizar las combinaciones, así mismo si las variables tienen tres o más niveles, es suficiente realizar una réplica. De esta manera aplicando el modelo del experimento para el presente estudio se tiene los siguientes datos:

- Número de réplicas, $m = 1$
- Potencia de láser, $A = 3$ niveles
- Velocidad de corte, $B = 3$ niveles
- Geometría de corte, $C = 2$ niveles

Tabla 8

Nivel de los factores de corte láser

	Variables	Niveles		
		Bajo	Medio	Alto
A	Potencia de láser	A1	A2	A3
B	Velocidad de corte	B1	B2	B3
C	Geometría de corte	Circular	-	Cuadrado

Nota: Elaboración Propia

Una vez establecido el nivel de las variables y las réplicas, se determinó el número de pruebas (n) necesarias mediante el uso de la ecuación (1). En la Tabla 9, se muestran las combinaciones necesarias para cada material del presente estudio en el proceso de corte láser.

$$n = m \cdot A \cdot B \cdot C$$

$$n = 1 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 = 18 \quad (1)$$

Tabla 9

Número de experimentos para cada material

C	A1			A2			A3			Pruebas totales
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	
C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Total										18

Nota: Elaboración Propia

4.1. Router CNC de escritorio

A continuación, en la Tabla 10 se describe las características y especificaciones del Router CNC, ya que es fundamental conocer los detalles técnicos porque permitirá establecer los parámetros en base a la capacidad de dicha máquina (ver Figura 16).

Tabla 10
Descripción del Router CNC de escritorio

Características	Especificaciones
Modelo	MODELA MDX-50
Materiales permitidos	ABS, POM, nylon, cera de modelado, PVC, acetal, madera noble y contrachapada (no permite metal).
Dimensiones de trabajo	X:400 Y:305 Z:100 mm
Velocidad de rotación de husillo	4.500-15.000rpm
Motor del rotor	Motor CC sin escobillas
Herramientas	Número de herramientas: 6 Diámetro del vástago: 6mm Diámetro de la punta: 6mm Longitud: 30 a 90 mm
Velocidad de avance	XY: 7 mm/min a 3.600 mm/min Z: 7 mm/min a 3.0000 mm/min
Fuente de alimentación	140 a 240v
Peso	122kg
Dimesiones	760 mm A × 900 mm P × 732 mm H

Nota: Elaboración Propia



Figura 16. Router CNC de escritorio
Fuente: (Roland DGA Corporation, 2020)

A continuación, se muestran los pasos básicos a seguir para el encendido y operación del Router CNC, con la finalidad de operar correctamente la máquina durante las pruebas experimentales (ver Figura 17).

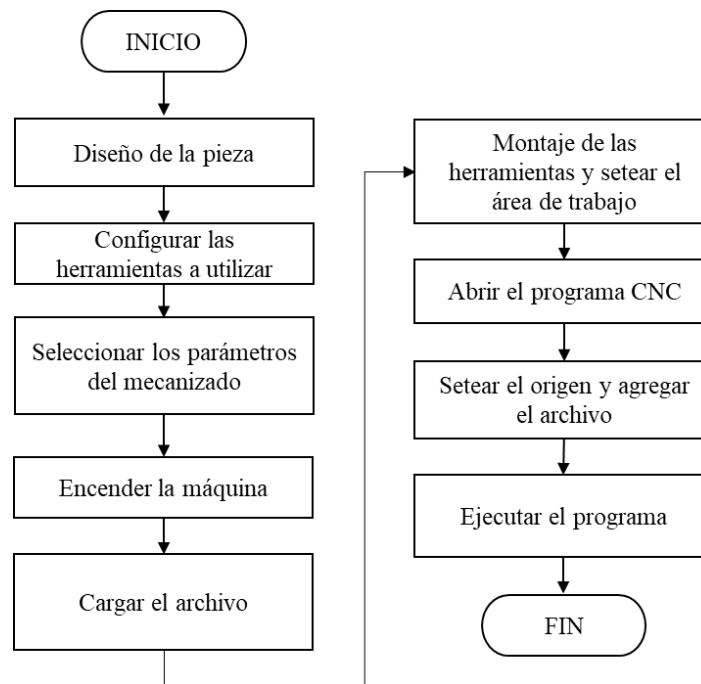


Figura 17. Diagrama de flujo de operación de Router CNC
Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Materiales para el experimento

El material que será expuesto a las pruebas experimentales es el pino, siendo el material de mayor uso en el Laboratorio, así mismo debido a que los fabricantes de las herramientas provienen información de parámetros exclusivo para mecanizados en metal, por lo que se carece de parámetros para trabajar en materiales como madera, razón por la cual para el presente estudio se selecciono dicho material.

Tabla 11
Materiales del experimento

Material	Espesor (cm)	Dimensiones (cm)
Pino	3	15*10
Total		1

Nota: Elaboración Propia

4.1.2. Diseño de las probetas

Según, Chariguaman y Jarrín (2019) en su investigación sobre la configuración de parámetros en el mecanizado de piezas en el router cnc, elaboran mecanizados como ranurados,

cajeados, contorneados con diferentes medidas, tomando en consideración esta investigación se procedió a diseñar las figuras para cada tipo de mecanizado. Para el mecanizado 3D se diseñó una probeta en forma de semiesfera con la finalidad de aplicar correctamente la herramienta. La probeta es de 15cm*10cm, con una base de 1cm, la altura de la semiesfera de 2cm con un diámetro de 10cm.

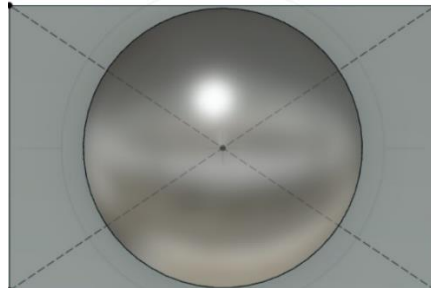


Figura 18. Probeta en 3D para la fresa con punta de bola
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, para el mecanizado 2D se diseñó la siguiente probeta; ranurado de 4.5mm, cajeado redondo con un diámetro de 30mm y cuadrado con dimensiones de 30mm*30mm, con la finalidad de aplicar correctamente las fresas.

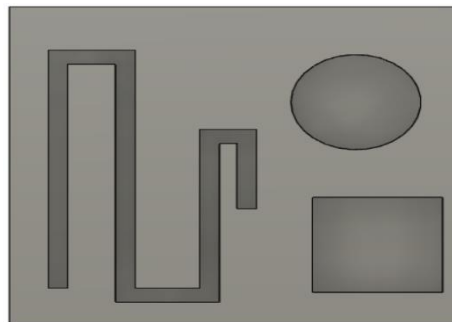


Figura 19. Probeta en 2D
Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Herramientas de mecanizado del Laboratorio

A continuación, se describe las características y las condiciones de trabajo proporcionadas por el fabricante de cada una de las herramientas que dispone el laboratorio Fab Lab. En la Figura 20, se muestra las partes que conforman la herramienta.

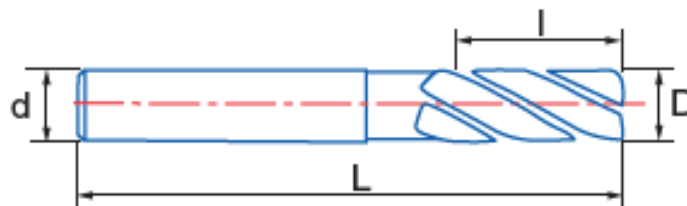


Figura 20. Partes de una fresa
Fuente: (Izar cutting tools , 2017)

Tabla 12
Herramientas disponibles del laboratorio (a)

N°	Nombre	Mat. Hta ¹⁰	DESCRIPCIÓN Materiales permitidos	Referencia	N° de artículo	DETALLES TÉCNICOS					CONDICIONES DE TRABAJO		
						Diámetro	Diámetro del eje	Longitud total	Longitud del surco	Ángulo	N° de filos	fn ¹¹	vc ¹²
						D	D	L	I	Grado °	Z	mm/rev	m/m
1	Fresa con punta de bola	HSS ¹³	Acero	Ref. 4401	43733	6	12	83	26	30°	36	0,100	20-28
2	Fresa con punta plana	HSSCo8 ¹⁴	Cobre-Bronce- Latón Fundición Acero	Ref.4400	43832	6	12	83	26	30	4	0,06	60-100 15-20 25-35
3	Fresa con punta plana	HSSCo8	Acero Sintéticos-Plásticos Aluminio-Magnesio Fundición	ref. 4401	43727	6	12	83	26	30	4	0,06	20-28
4	Fresa con punta plana Fresa con punta plana	Micrograno	Acero Inoxidable	Ref. 9401	28551	3	3	38	8	30°	4	0,02	140-280
5		HSSCo8	Cobre-Bronce-Latón Fundición Acero	Ref. 4400	43802	6	6	57	13	30°	4	0,03	60-100 20-30 25-35

Nota: Elaboración Propia

¹⁰ Mat. Hta: Material de la herramienta

¹¹fn: Avance por revolución

¹² Vc: Velocidad de corte

¹³ HSS: Acero rápido/Aceros de alta velocidad/High Speed Steel

¹⁴ HSSCo8: Aceros de alta velocidad con aleación de cobalto al 8%

Tabla 13
Herramientas disponibles del laboratorio (b)

N°	Nombre	Mat. Hta	DESCRIPCIÓN		Referencia	N° de artículo	DETALLES TÉCNICOS					CONDICIONES DE TRABAJO		
							Diámetro	Diámetro del eje	Longitud total	Longitud del surco	Ángulo	N° de filos	fn	vc
6	Fresa con punta plana	HSS	Acero	Ref. 4401	43703	4	6	55	11	30°	4	0,100	20-28	
7	Fresa con punta plana	HSS	Acero	Ref. 4401	43691	2	6	51	7	30°	4	0,020	20-28	
8	Fresa con punta plana	HSS	Sintéticos-Plásticos Aluminio-Magnesio Fundición Inoxidable	Ref. 9421	36200	2	3	38	6	30	2	0,020 0,015	90-200 100-200	
9	Fresa con punta plana	HSS	Acero	Ref.4401	43709	6	6	57	13	30	4	0,030	20-28	
10	Fresa con punta plana	HSS	Acero inoxidable	EMC54	EMC540 50	5	6	50	13	35°	4	-	-	
11	Fresa con punta plana	HSSCo8		GB570	GB5700 40	4	7	51	7	30	2			
12	Fresa con punta de bola	HSSCo8	Acero Aluminio	GB535	GB5350 40	4	7	51	7	30°	2	-	-	
13	Fresa con punta de bola	HSS	-	-	-	3	3	60	13	30°	2	-	-	
14	Fresa con punta plana	HSS	Todo tipo material	-	-	3	3	42	23		1	-	-	

Nota: Elaboración Propia

4.1.3.1. Selección de las herramientas

Una vez identificados las herramientas disponibles del Laboratorio, se procedió a seleccionar las herramientas apropiadas para mecanizar en 2D y 3D. Así mismo, otro aspecto para seleccionar las herramientas son las características de la máquina, es decir identificar las herramientas permitidas en el Router CNC. De esta manera, en la Tabla 14 se identificó las fresas que se emplearan para las pruebas experimentales del presente estudio.

Tabla 14

Herramientas seleccionadas

N°	Nombre	Mat. Hta	Referencia	N° de artículo	D	D	L	I	°	Z
8	Fresa con punta plana	HSS	Ref. 9421	36200	2	3	38	6	30	2
13	Fresa con punta de bola	HSS	-	-	3	3	60	13	30°	2
14	Fresa con punta plana	HSS	-	-	3	3	42	23	30°	1

Nota: Elaboración propia

4.1.4. Definición de las variables

Previo a ejecutar las pruebas experimentales es necesario conocer las variables de entrada y salida a controlar.

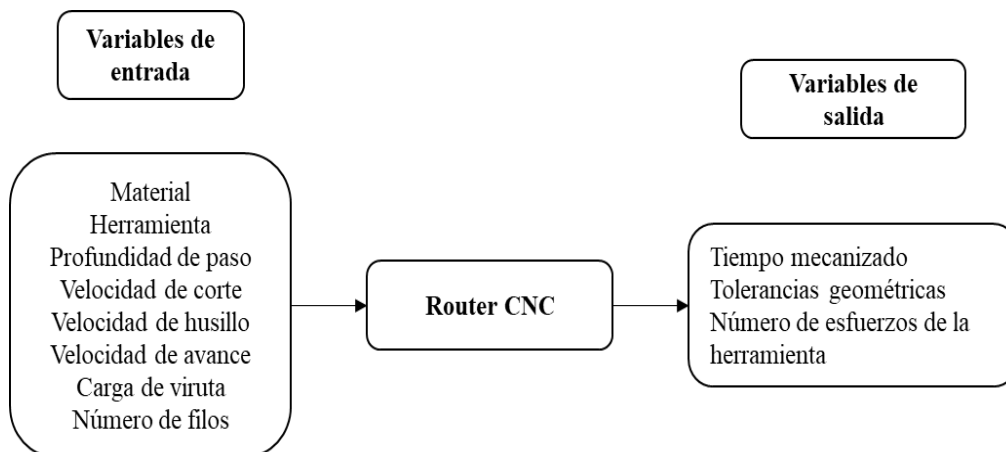


Figura 21. Variables de entrada y salida en el mecanizado

Fuente: Elaboración propia

Las variables de entrada del proceso de mecanizado con Router CNC son: espesor del material, herramienta (fresa), profundidad de pasada, velocidad de corte, velocidad de avance, velocidad del husillo, carga de viruta y número de dientes (ver Figura 21), sin embargo, Barrero Martínez (2018), en su estudio realizado sobre la configuración de parámetros menciona que los factores como velocidad de corte, profundidad de pasada, velocidad de husillo y avance afectan relativamente al acabado superficial.

Por lo que existe muchos factores que se pueden controlar para el presente estudio se tomó en cuenta de dichas investigaciones, las características de la máquina y de la disponibilidad de las herramientas para seleccionar los factores controlables como, velocidad de husillo, velocidad de avance y profundidad de pasada.

Por otra parte, se pretende conocer el efecto que causa la modificación de dichos parámetros en las variables de salida (tiempo de mecanizado, tolerancias geométricas y número de esfuerzos de la fresa) del proceso (ver Tabla 15), a través de las cuales se logrará analizar de forma cuantitativa la calidad del mismo.

Tabla 15
Factores controlables, no controlables y de salida

Factores controlables	Unidad	Factores no controlables	Unidad	Variables de salida	Unidad
Velocidad del husillo	rpm	Velocidad de corte	m/min	Tiempo	Horas- Minutos
Profundidad de paso	mm	Carga de viruta	mm	Tolerancias geométricas	mm
Velocidad de avance	mm/min			Número de esfuerzos de la fresa	(1-12)
Tipo de herramienta	-				
Material	-				

Nota: Elaboración Propia

4.1.5. Selección de parámetros de entrada

Profundidad de paso: Para establecer la profundidad de pasada se basó en los diámetros que tiene cada una de las herramientas seleccionadas anteriormente, ya que según Tecnocorte (2021) menciona que un valor referencial para definir la profundidad de pasada debe ser mayor o igual que el radio de la punta de la herramienta y no superar al diámetro de la fresa.

Velocidad de avance: Para definir este parámetro se basó en las características de la máquina, es decir se estableció en tres niveles la velocidad de avance con la finalidad de evaluar la capacidad del Router CNC.

Velocidad del husillo: Se estableció la velocidad del husillo basándose en las características que ofrece la máquina Router CNC.

Tabla 16
Selección de variables de entrada para el mecanizado 2D y 3D

Variables	Bajo	Medio	Alto
Velocidad de avance (mm/min)	905	2253	3600
Velocidad de husillo (rpm)	4500	9750	15000
Profundidad de paso (mm)	0.5 1	-	1 1.5

Nota: Elaboración Propia

A continuación, se presenta los parámetros seleccionados para el proceso de mecanizado determinados en base a las características de la máquina y de las herramientas disponibles en Fab Lab.

Tabla 17
Variables de entrada y niveles

Variables	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
Diámetro de 3mm			
Velocidad de avance (mm/min)	905	2253	3600
Velocidad del husillo (rpm)	4500	9750	15.000
Profundidad de paso(mm)	1	-	1.5
Diámetro de 2mm			
Velocidad de avance (mm/min)	905	2253	3600
Velocidad del husillo (rpm)	4500	9750	15.000
Profundidad de paso (mm)	0.5	-	1

Nota: Elaboración Propia

4.1.6. Determinar el número de pruebas experimentales

Para determinar las combinaciones y el número de pruebas experimentales necesarios para cada herramienta se aplicó el mismo modelo del experimento utilizado para el corte láser, por lo que se tiene los siguientes datos:

- Número de réplicas, $m = 1$
- Velocidad de avance, $A = 4$
- Velocidad del husillo, $B = 3$
- Profundidad de pasada, $C = 2$

Tabla 18
Niveles de parámetros de Router CNC

Parámetros	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
A Velocidad de avance (mm/min)	A1	A2	A3
B Velocidad del husillo (rpm)	B1	B2	B3
C Profundidad de paso (mm)	C1	-	C2

Nota: Elaboración Propia

Una vez establecido el nivel de las variables y las réplicas, se determinó el número de pruebas (n) necesarias mediante el uso de la ecuación (1). En la Tabla 19, se muestran las combinaciones necesarias para cada herramienta del presente estudio.

$$n = m \cdot A \cdot B \cdot C$$

$$n = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 = 18 \quad (2)$$

Tabla 19
Número de experimentos para cada herramienta

C	A1			A2			A3			Pruebas totales
	B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	
C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
C2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Total										18

Nota: Elaboración Propia

CAPITULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.2. Recolección de datos

Se procedió a ingresar dichos datos el software Minitab con la finalidad de verificar las combinaciones y cantidad de pruebas experimentales determinados previamente para cada proceso.

Diseño factorial de múltiples niveles

Resumen del diseño

Factores: 3 Réplicas: 1
Corridas base: 18 Total de corridas: 18
Bloques base: 1 Total de bloques: 1

Número de niveles: 3; 3; 2

Figura 22. Número de pruebas experimentales
Fuente: Minitab

A continuación, un ejemplo de la manera como se define las combinaciones en el software Minitab para realizar las pruebas experimentales en los dichos procesos de presente estudio.

#	C1	C2	C3	C4	C5-T	C6	C7
	OrdenEst	OrdenCorrida	Potencia(W)	Velocidad de corte(mm/seg)	Geometría	Tiempo(seg)	Tolerancias geométricas(mm)
1	1	1	25		10 Circular		
2	2	2	25		10 Cuadrado		
3	3	3	25		15 Circular		
4	4	4	25		15 Cuadrado		
5	5	5	25		20 Circular		
6	6	6	25		20 Cuadrado		
7	7	7	30		10 Circular		
8	8	8	30		10 Cuadrado		
9	9	9	30		15 Circular		
10	10	10	30		15 Cuadrado		
11	11	11	30		20 Circular		
12	12	12	30		20 Cuadrado		
13	13	13	35		10 Circular		
14	14	14	35		10 Cuadrado		
15	15	15	35		15 Circular		
16	16	16	35		15 Cuadrado		
17	17	17	35		20 Circular		
18	18	18	35		20 Cuadrado		

Figura 23. Número de pruebas experimentales
Fuente: Minitab

4.2.1. Cortadora y grabadora láser

Una vez determinado las combinaciones y número de pruebas experimentales para cada material en el software Minitab, se procedió a ejecutar las pruebas de corte láser, en el cual se registraron el tiempo de corte y las tolerancias geométricas de cada una de las probetas (Ver Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22) con la herramienta calibrador.

Tabla 20
Registro de las pruebas de corte láser en mdf

Orden Corrida	Espesor (mm)	Potencia (W)	Velocidad de corte (mm/seg)	Geometría	Tiempo (seg)	Tolerancias geométricas (mm)
1	3	25	10	Circular	21	49,75
2	3	25	10	Cuadrado	20	49,80
3	3	25	15	Circular	15	49,75
4	3	25	15	Cuadrado	14	49,80
5	3	25	20	Circular	13	49,90
6	3	25	20	Cuadrado	12	49,90
7	3	30	10	Circular	20	49,80
8	3	30	10	Cuadrado	19	49,85
9	3	30	15	Circular	14	49,80
10	3	30	15	Cuadrado	13	49,80
11	3	30	20	Circular	13	49,80
12	3	30	20	Cuadrado	12	49,85
13	3	35	10	Circular	20	49,80
14	3	35	10	Cuadrado	18	49,80
15	3	35	15	Circular	14	49,80
16	3	35	15	Cuadrado	13	49,85
17	3	35	20	Circular	13	49,80
18	3	35	20	Cuadrado	12	49,85
1	4	30	5	Circular	36	49,75
2	4	30	5	Cuadrado	34	49,80
3	4	30	7	Circular	25	49,80
4	4	30	7	Cuadrado	24	49,85
5	4	30	10	Circular	21	49,85
6	4	30	10	Cuadrado	19	49,85
7	4	35	5	Circular	35	49,75
8	4	35	5	Cuadrado	33	49,80
9	4	35	7	Circular	25	49,80
10	4	35	7	Cuadrado	23	49,80
11	4	35	10	Circular	20	49,80
12	4	35	10	Cuadrado	18	49,85
13	4	40	5	Circular	35	49,80
14	4	40	5	Cuadrado	33	49,80
15	4	40	7	Circular	26	49,75
16	4	40	7	Cuadrado	25	49,80
17	4	40	10	Circular	21	49,80
18	4	40	10	Cuadrado	19	49,80

Nota. Las pruebas experimentales de las probetas se pueden ver en el Anexo 2. Ninguna probeta sufrió quemaduras. Las variables de salida son el tiempo y las tolerancias geométricas que serán analizadas cuantitativamente.

Tabla 21
Registro de las pruebas de corte láser en acrílico

Orden Corrida	Espesor (mm)	Potencia (W)	Velocidad de corte (mm/seg)	Geometría	Tiempo (seg)	Tolerancias geométricas
1	3	35	10	Circular	21	49,90
2	3	35	10	Cuadrado	19	49,90
3	3	35	15	Circular	14	49,80
4	3	35	15	Cuadrado	13	49,80
5	3	35	20	Circular	13	49,85
6	3	35	20	Cuadrado	12	49,85
7	3	40	10	Circular	22	49,85
8	3	40	10	Cuadrado	18	49,90
9	3	40	15	Circular	14	49,85
10	3	40	15	Cuadrado	13	49,85
11	3	40	20	Circular	12	49,85
12	3	40	20	Cuadrado	11	49,90
13	3	45	10	Circular	21	49,90
14	3	45	10	Cuadrado	19	49,85
15	3	45	15	Circular	14	49,80
16	3	45	15	Cuadrado	13	49,85
17	3	45	20	Circular	13	49,85
18	3	45	20	Cuadrado	12	49,90
1	2	30	15	Circular	15	49,85
2	2	30	15	Cuadrado	13	49,80
3	2	30	20	Circular	12	49,80
4	2	30	20	Cuadrado	10	49,80
5	2	30	25	Circular	10	49,85
6	2	30	25	Cuadrado	8	49,90
7	2	35	15	Circular	15	49,80
8	2	35	15	Cuadrado	12	49,80
9	2	35	20	Circular	11	49,80
10	2	35	20	Cuadrado	10	49,80
11	2	35	25	Circular	11	49,75
12	2	35	25	Cuadrado	8	49,80
13	2	40	15	Circular	15	49,50
14	2	40	15	Cuadrado	13	49,75
15	2	40	20	Circular	11	49,80
16	2	40	20	Cuadrado	11	49,85
17	2	40	25	Circular	10	49,80
18	2	40	25	Cuadrado	9	49,95

Nota. Las pruebas experimentales de las probetas se pueden ver en el Anexo 2. Ninguna probeta sufrió quemaduras. Las variables de salida son el tiempo y las tolerancias geométricas que serán analizadas cuantitativamente.

Tabla 22
Registro de las pruebas de corte láser en sintra

Orden Corrida	Espesor (mm)	Potencia (W)	Velocidad de corte (mm/seg)	Geometría	Tiempo (seg)	Tolerancias geométricas (mm)
1	3	25	15	Circular	16	49
2	3	25	15	Cuadrado	13	49,3
3	3	25	20	Circular	12	49,1
4	3	25	20	Cuadrado	10	49,3
5	3	25	25	Circular	15	49,3
6	3	25	25	Cuadrado	13	49,4
7	3	30	15	Circular	16	49,1
8	3	30	15	Cuadrado	12	49,2
9	3	30	20	Circular	12	49,2
10	3	30	20	Cuadrado	10	49,25
11	3	30	25	Circular	15	49,2
12	3	30	25	Cuadrado	13	49,3
13	3	35	15	Circular	17	48,8
14	3	35	15	Cuadrado	13	49
15	3	35	20	Circular	12	49,3
16	3	35	20	Cuadrado	10	49,3
17	3	35	25	Circular	14	49,3
18	3	35	25	Cuadrado	12	49,2
1	2	20	25	Circular	9	49,15
2	2	20	25	Cuadrado	8	49,15
3	2	20	30	Circular	8	49,20
4	2	20	30	Cuadrado	7	49,30
5	2	20	35	Circular	6	49,00
6	2	20	35	Cuadrado	5	49,10
7	2	25	25	Circular	9	48,95
8	2	25	25	Cuadrado	8	49,00
9	2	25	30	Circular	8	49,00
10	2	25	30	Cuadrado	7	49,05
11	2	25	35	Circular	6	49,00
12	2	25	35	Cuadrado	5	49,25
13	2	30	25	Circular	9	49,00
14	2	30	25	Cuadrado	8	49,00
15	2	30	30	Circular	7	49,10
16	2	30	30	Cuadrado	7	49,15
17	2	30	35	Circular	6	49,10
18	2	30	35	Cuadrado	5	49,25

Nota. Las pruebas experimentales de las probetas se pueden ver en el Anexo 2. Ninguna probeta sufrió quemaduras. Las variables de salida son el tiempo y las tolerancias geométricas que serán analizadas cuantitativamente.

4.2.2. Router CNC

Se procedió a ejecutar y registrar los datos de las pruebas de mecanizado (Ver Tabla 24, Tabla 25, y Tabla 26); tiempo de mecanizado, indicador de la fresa y las tolerancias geométricas (únicamente en el mecanizado 2D). Cabe mencionar que el indicador de fresa, se obtiene del software de la máquina “VPanel for MDX-50”, en el que indica el esfuerzo de la herramienta con valores de 1 al 12. De esta manera en la Tabla 23 se procedió a tomar nota en cada uno de las pruebas experimentales.

Tabla 23
Indicador de esfuerzo de la fresa

Observaciones	Indicador de la fresa	
Baja vibración	1	4
Media vibración	5	8
Alta vibración	9	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24
Registro de las tolerancias geométricas-punta bola de 2mm, Z2

Nº	Velocidad de avance (mm/min)	Velocidad del husillo (rpm)	Profundidad de paso (mm)	Tiempo (Horas)	Indicador de la fresa	Observación
1	905	4500	1,0	4:35	3	Baja
2	905	4500	1,5	3:30	3	Baja
3	905	9750	1,0	4:00	3	Baja
4	905	9750	1,5	3:15	5	Media
5	905	15000	1,0	3:00	4	Media
6	905	15000	1,5	2:40	5	Media
7	2253	4500	1,0	4:00	7	Media
8	2253	4500	1,5	3:47	7	Media
9	2253	9750	1,0	3:50	4	Media
10	2253	9750	1,5	3:37	2	Baja
11	2253	15000	1,0	2:30	5	Media
M	2253	15000	1,5	3:37	2	Baja
13	3600	4500	1,0	3:15	3	Baja
14	3600	4500	1,5	2:30	5	Media
15	3600	9750	1,0	3:00	4	Media
16	3600	9750	1,5	2:15	3	Baja
17	3600	15000	1,0	2:25	3	Baja
18	3600	15000	1,5	1:37	5	Media

Nota. Las pruebas experimentales del mecanizado 3D ver en el Anexo 9. Ninguna fresa sufrió rupturas y las variables de salida son tiempo e indicador.

Tabla 25

Registro del tiempo e indicador-fresa punta plana de 3mm, Z1

N° de Pruebas	Velocidad de avance (mm/min)	Velocidad del husillo (rpm)	Profundidad de paso (mm)	Tiempo (min)	Indicador de la fresa	Observaciones	Tolerancias geométricas		
							Circular	Cuadrado	Ranurado
1	905	4500	1	14	1	Baja vibración	28,8	28,85	4,4
2	905	9750	1	13	1	Baja vibración	28,7	28,6	4,5
3	905	15000	1	14	2	Media vibración	28,5	28,6	4,5
4	905	4500	1,5	9	2	Media vibración	28,5	28,7	4,35
5	905	9750	1,5	9	2	Media vibración	28,75	28,8	4,4
6	905	15000	1,5	7	3	Media vibración	28,5	28,3	4,4
7	2253	4500	1	8	5	Media vibración y fresa rota	28,75	28,15	4,3
8	2253	9750	1	8	2	Baja vibración	28,6	28	4,45
9	2253	15000	1	8	3	Media vibración	28,85	29	4,5
10	2253	4500	1,5	6	6	Media vibración y fresa rota	28,6	28,7	4,2
11	2253	9750	1,5	6	3	Media vibración	28,55	28,8	4,4
12	2253	15000	1,5	6	2	Media vibración	28,55	29	4,5
13	3600	4500	1	6	6	Media vibración	28,8	28,55	3,9
14	3600	9750	1	8	2	Baja vibración	28,65	28,5	4,3
15	3600	15000	1	9	3	Baja vibración	29	29	4,5
16	3600	4500	1,5	5	6	Media vibración	28,6	28,7	4,3
17	3600	9750	1,5	5	3	Baja vibración	29,9	28,7	4,5
18	3600	15000	1,5	4	2	Baja vibración	28,9	28,9	4,4

Nota. Las pruebas experimentales del mecanizado 2D ver en el Anexo 7. Las fresas sufrieron rupturas debido a las combinaciones de los parámetros y las variables de salida es el tiempo, indicador y las tolerancias geométricas que serán analizadas cuantitativamente.

Tabla 26

Registro del tiempo e indicador-fresa punta plana de 2mm, Z2

N° de Pruebas	Velocidad de avance (mm/min)	Velocidad del husillo (rpm)	Profundidad de paso (mm)	Tiempo (min)	Indicador de la fresa	Observaciones	Tolerancias geométricas		
							Circular	Cuadrado	Ranurado
1	905	4500	0,5	42	1	Baja vibración	28,7	28,75	4,4
2	905	9750	0,5	38	1	Baja vibración	28,5	29,9	4,5
3	905	15000	0,5	38	3	Baja vibración	28,7	28,8	4,3
4	905	4500	1	22	2	Baja vibración	28,6	28,6	4,15
5	905	9750	1	21	2	Baja vibración	28,9	28,8	4,4
6	905	15000	1	21	2	Baja vibración	28,8	29	4,5
7	2253	4500	0,5	17	4	Media vibración	28,7	28,85	4,3
8	2253	9750	0,5	16	2	Baja vibración	28,55	28,85	4,5
9	2253	15000	0,5	16	3	Baja vibración	28,8	28,25	4,5
10	2253	4500	1	10	4	Media vibración	28,85	28,8	4,4
11	2253	9750	1	9	2	Baja vibración	28,9	28,8	4,2
12	2253	15000	1	9	4	Media vibración	28,75	28,4	4,15
13	3600	4500	0,5	8	5	Media vibración	28,5	28,55	4,2
14	3600	9750	0,5	8	3	Baja vibración	28,85	28,7	4,3
15	3600	15000	0,5	9	2	Baja vibración	28,8	28,7	4,4
16	3600	4500	1	5	4	Media vibración	28	28,4	4,3
17	3600	9750	1	5	3	Baja vibración	28,9	29,8	4,3
18	3600	15000	1	6	2	Baja vibración	28,7	28,3	4,25

Nota. Las pruebas experimentales del mecanizado 2D ver en el Anexo 8. Ninguna fresa sufrió rupturas y las variables de salida son el tiempo, indicador y las tolerancias geométricas que serán analizadas cuantitativamente.

4.3. Análisis de los resultados

Una vez obtenido los datos numéricos de las pruebas experimentales, se procedió a ingresar los resultados al software Minitab, para conocer el efecto producido en las variables de respuesta. Las pruebas experimentales mencionadas se realizaron con un nivel de confianza del 95%.

4.3.1. Análisis de tiempo y tolerancia geométrica de corte láser

El número de muestras para cada material es de 18 pruebas experimentales, con un nivel de significancia de 0,05.

La hipótesis planteada es la siguiente:

$H_0 =$ ¿No influyen de manera significativa la variación de los parámetros de corte láser en los diferentes materiales?

$H_a =$ ¿Influyen de manera significativa la variación de los parámetros de corte láser en los diferentes materiales?

Material: MDF

Tabla 27
Análisis de varianza de tiempo de mdf 3mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,008
Velocidad de corte(mm/seg)	0,000
Geometría (mm)	0,001
Interacciones de 2 términos	0,121
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,055
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,444
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,444

Fuente: Software Minitab

En base al valor $p < 0,05$, se determina que los factores velocidad de corte, geometría y potencia son los factores más significativos con la variable de respuesta(tiempo). Por otra parte, se encontró una significancia superficial en la interacción potencia y velocidad de corte, ya que tiene un valor de p igual a 0,05.

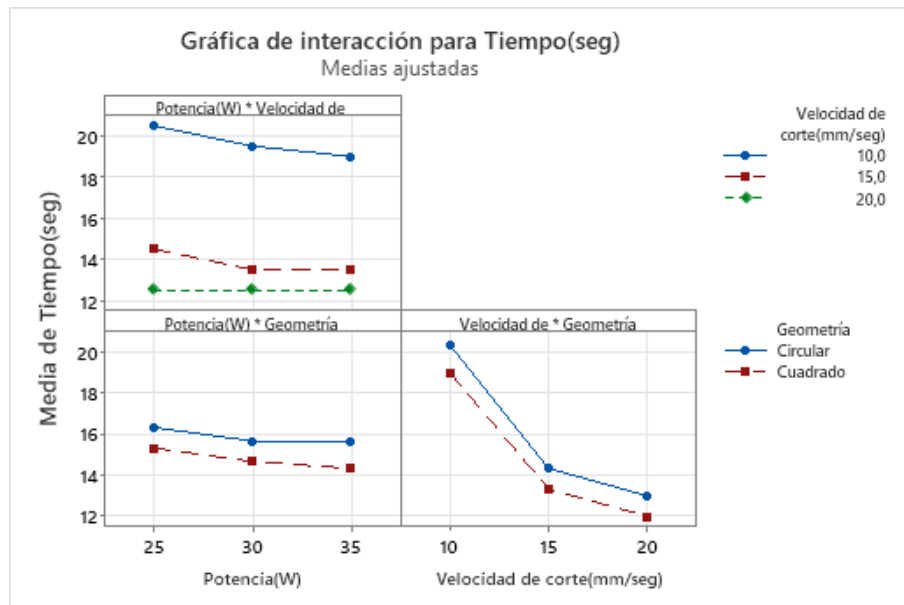


Figura 24. Gráfico de interacción de tiempo (mdf 3mm)
Fuente: Software Minitab

A continuación, en la Figura 24 se muestra la combinación de dichos factores y su interpretación:

- Si se ejecuta el corte láser con potencia de 25 W y una velocidad de corte de 10mm/seg, el tiempo de corte estimado es de 20,5 seg.
- Si se ejecuta el corte láser con potencia de 25-30-35W y una velocidad de corte de 20mm/seg, el tiempo de corte estimado es de 12,5seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 10mm/seg y una geometría circular, el tiempo de corte estimado es de 20,3seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 20mm/seg y una geometría cuadrada, el tiempo de corte estimado es 12seg.

Tabla 28
Análisis de varianza de tolerancias geométricas, mdf 3mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,933
Velocidad de corte(mm/seg)	0,075
Geometría (mm)	0,133
Interacciones de 2 términos	0,289
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,135
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,933
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,933

Fuente: Software Minitab

En base al valor $p < 0,05$, se determina que los factores potencia, velocidad de corte, geometría y la interacciones no son significativos con la variable de respuesta (tolerancias geométricas).

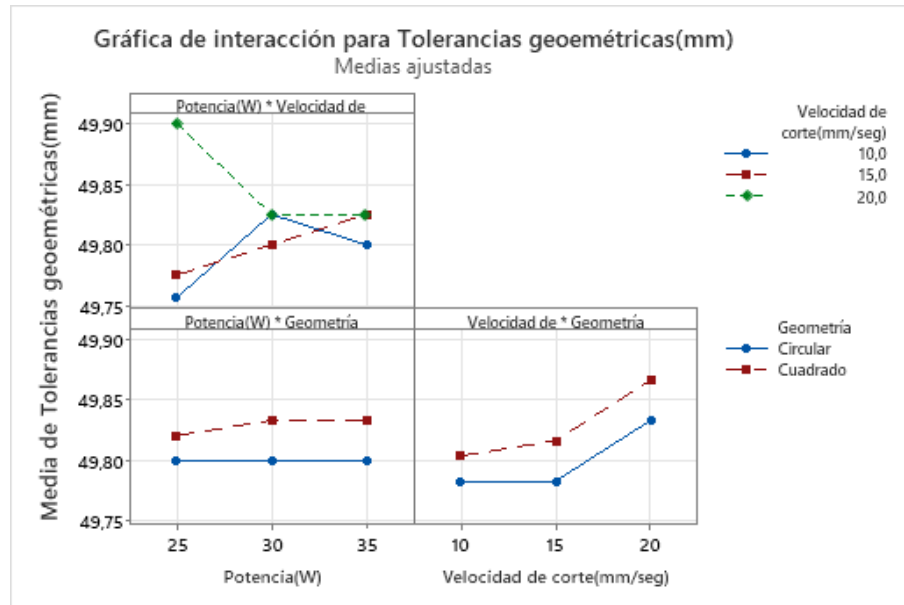


Figura 25. Gráfico de interacción de tolerancia geométrica mdf 3mm
Fuente: Software Minitab

Partiendo de la Figura 25, se procedió a la interpretación de los factores:

- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 10-15mm/seg y geometría circular, se obtiene una tolerancia geométrica de 49.78mm.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 20mm/seg y geometría cuadrada, se obtiene una tolerancia geométrica de 49.86mm.

Tabla 29

Análisis de varianza de tiempo en mdf de 4mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,005
Velocidad de corte(mm/seg)	0,000
Geometría (mm)	0,000
Interacciones de 2 términos	0,047
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,023
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,444
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,111

Fuente: Software Minitab

Se determina que los factores potencia, velocidad de corte, geometría y la interacción potencias y velocidad de corte influyen significativamente, ya que menores al valor de p.

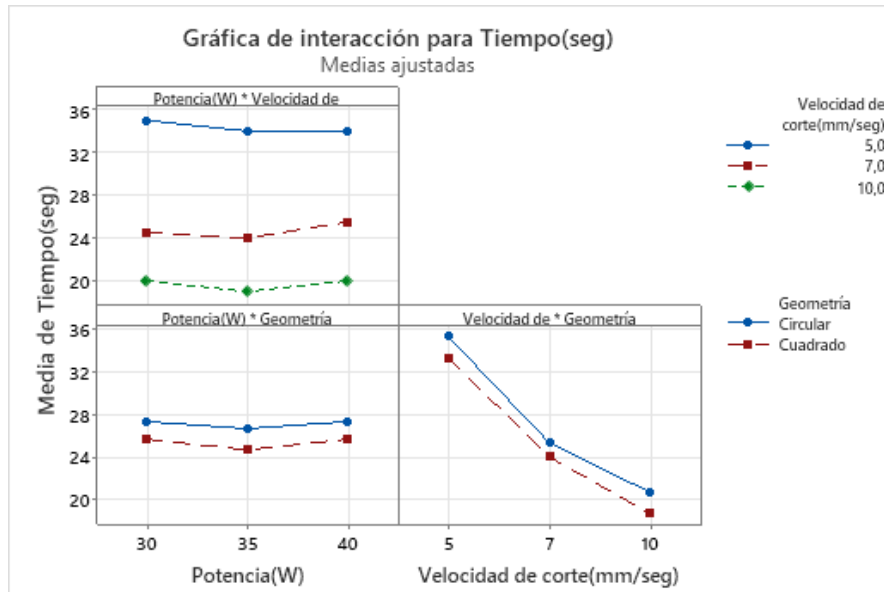


Figura 26. Gráfico de interacción de tiempo mdf de 4mm
 Fuente: Software Minitab

En la Figura 26, se muestran las interacciones para el mdf de 4m de los factores:

- Si se ejecuta el corte láser con potencia de 30W y una velocidad de corte de 5mm/seg, el tiempo de corte estimado es de 35seg.
- Si se ejecuta el corte láser con potencia de 35W y una velocidad de corte de 10mm/seg, el tiempo de corte estimado es de 19seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 5mm/seg y una geometría circular, el tiempo de corte estimado es de 35seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 10mm/s y una geometría cuadrada, el tiempo de corte estimado es de 18seg.

Tabla 30

Análisis de varianza de la tolerancia geométrica en mdf de 4mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,284
Velocidad de corte(mm/seg)	0,088
Geometría (mm)	0,067
Interacciones de 2 términos	0,539
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,301
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,790
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,790

Fuente: Software Minitab

En base al valor $p < 0,05$, se determina que los factores potencia, velocidad de corte, geometría no afectan a la variable de respuesta (tolerancias geométricas), ya que sus valores son mayores a 0,05.

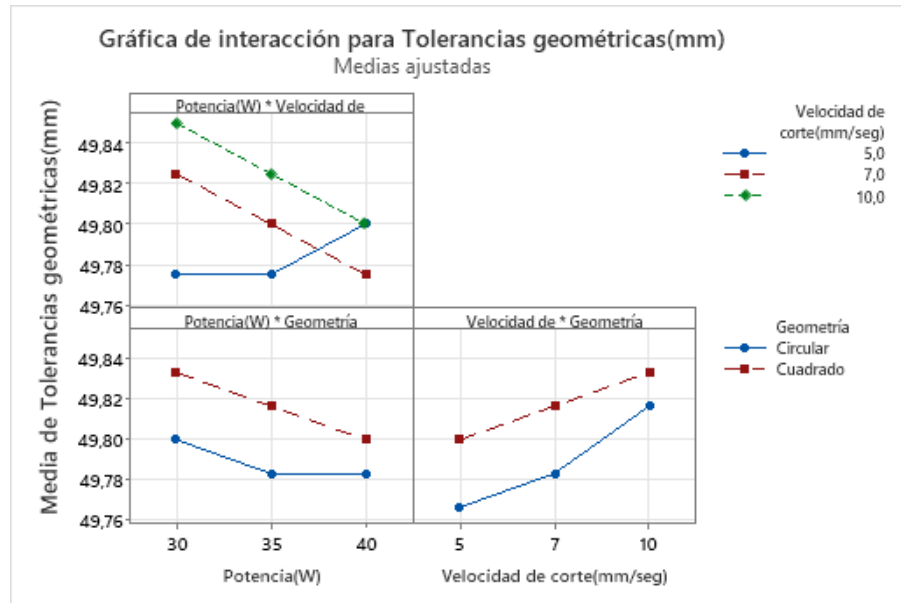


Figura 27. Gráfico de interacción de tolerancia geométrica mdf 4mm
Fuente: Software Minitab

Partiendo de la Figura 27, se puede observar que la interacción de los factores no es significativa, ya que sus valores son similares:

- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 5mm/seg y geometría circular, la tolerancia geométrica es 49.76mm.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 10mm/seg y geometría cuadrada, la tolerancia geométrica es 49.83mm.

Material: Acrílico

Tabla 31

Análisis de varianza de tiempo de acrílico 3mm

Factor	Valor p
Potencia (W)	0,640
Velocidad de corte(mm/seg)	0,055
Geometría (mm)	0,288
Interacciones de 2 términos	0,663
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,500
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,640
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,640

Fuente: Software Minitab

De acuerdo a la Tabla 31, los factores de estudio con mayor significancia son velocidad de corte y geometría, por otra parte, la interacción velocidad*geometría tiene una influencia insignificante porque el valor de p es igual a 0,05, sin embargo, se tomó en cuenta con la finalidad de analizar su interacción.

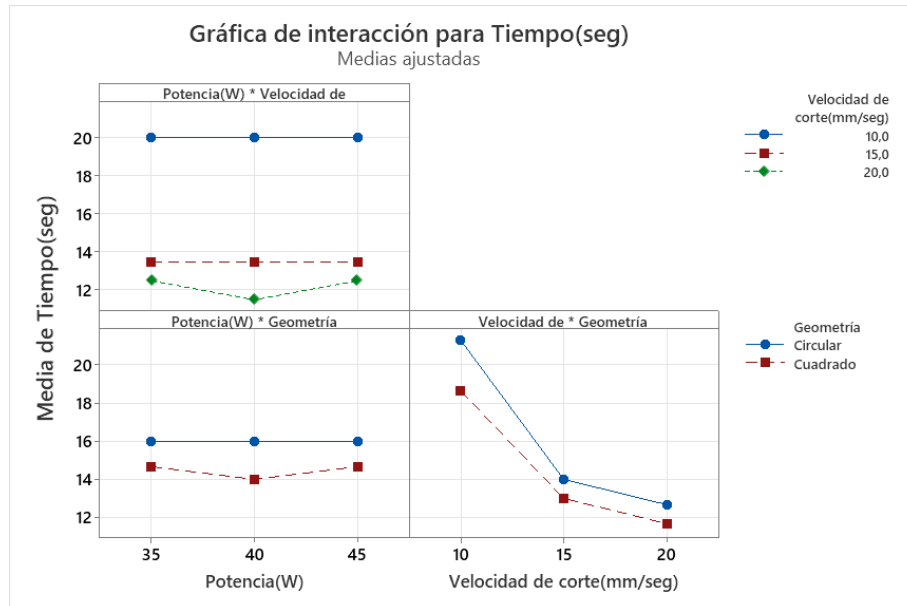


Figura 28. Gráfico de interacción para tiempo acrílico 3mm
Fuente: Software Minitab

Se procede a interpretar los factores de mayor relevancia en el material acrílico de 3mm como se muestra en la Figura 28.

- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 35W, 40W, 45W y una velocidad de 10mm/s, el tiempo de corte estimado es de 20seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una potencia 40W y una velocidad de 20mm/s, el tiempo de corte estimado es de 11seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 35W, 40W, 45W y geometría circular, el tiempo de corte estimado es de 16seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 40y geometría cuadrada, el tiempo de corte estimado es de 14seg.
- Si se ejecuta el corte laser con una velocidad de corte de 10mm/seg y geometría circular, el tiempo corte estimado es de 21,33seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 20mm/seg y geometría cuadrada, el tiempo de corte estimado es de 11.66seg.

Tabla 32

Análisis de varianza de las tolerancias geométricas acrílico 3mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,004
Velocidad de corte(mm/seg)	0,001
Geometría (mm)	0,005
Interacciones de 2 términos	0,003
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,001
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,256
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,538

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 32, los factores de estudio no son relevantes, ya que los el valor de p es mayor, Por otra parte, es importante recalcar que el factor velocidad tiene un valor igual a p, sin embargo, se tomó en cuenta con la finalidad de analizar su interacción.

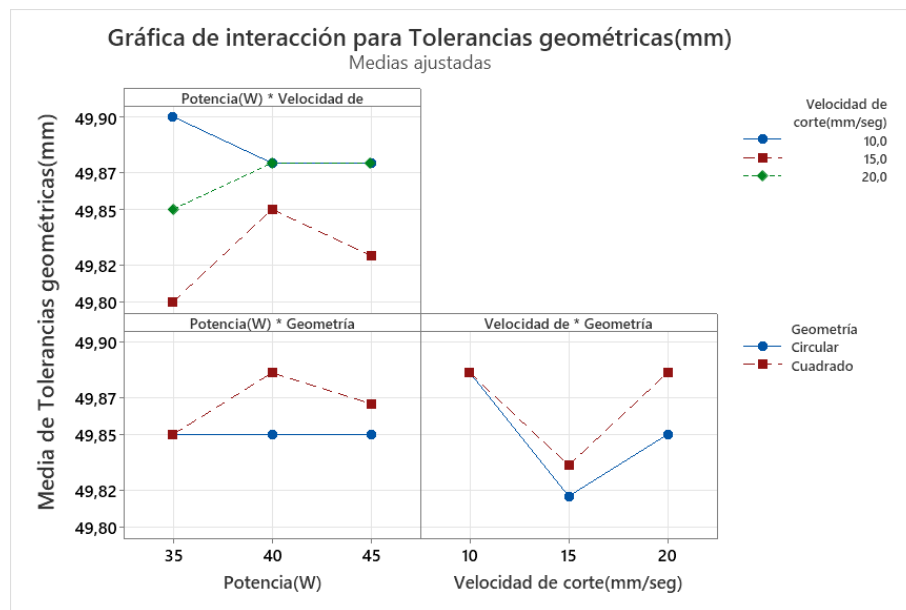


Figura 29. Gráfico de interacción de tolerancia geométrica acrílico 3mm
Fuente: Software Minitab

Partiendo de los factores más relevantes obtenidos en la figura 43, se procedió a la interpretación de los resultados obtenidos de las pruebas experimentales:

- Si se realiza el corte láser con una potencia de 35W y una velocidad de 15mm/s, la tolerancia geometría es de 48.80mm.
- Si se realiza el corte láser con una potencia de 35W y una velocidad de 10mm/s, la tolerancia geometría es de 49.90mm.

- Si se realiza el corte laser con una velocidad de 20mm/s y una geometría cuadrada, la tolerancia geométrica es de 49,88mm.
- Si se realiza el corte laser con una velocidad de 15mm/s y una geometría circular, la tolerancia geométrica es de 49,81mm.

Material: Acrílico 2mm

Tabla 33
Análisis de varianza del tiempo acrílico 2mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,529
Velocidad de corte(mm/seg)	0,000
Geometría (mm)	0,001
Interacciones de 2 términos	0,263
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,606
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,145
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,145

Fuente: Software Minitab

A continuación, se identifica que los factores con mayor significancia son velocidad de corte y geometría, porque el valor de p es menor a 0,05.

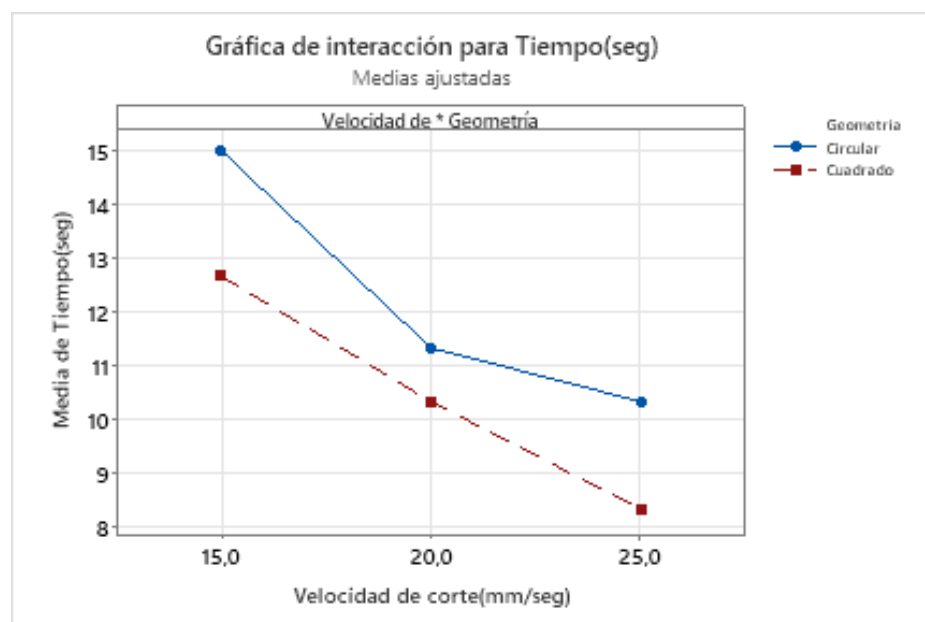


Figura 30. Gráfico de integración de tiempo acrílico 2mm
Fuente: Software Minitab

Basándose de los factores más influyentes se procede a interpretar la Figura 30.

- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de 15mm/s y una geometría circular, el tiempo de corte estimado es de 15seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de 25mm/s y una geometría cuadrada, el tiempo de corte estimado es de 8,33seg.

Tabla 34

Análisis de varianza de tolerancia geométrica acrílico 2mm

Fuente	Valor p
Potencia (W)	0,224
Velocidad de corte (mm/s)	0,075
Geometría (mm)	0,075
Interacciones de 2 términos	0,105
Potencia (W)*Velocidad de corte (mm/s)	0,069
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,105
Velocidad de corte (mm/s)*Geometría (mm)	0,532

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se determina que los factores no afectan significativamente a las tolerancias geométricas de las probetas, ya que los valores son mayores al valor de p.

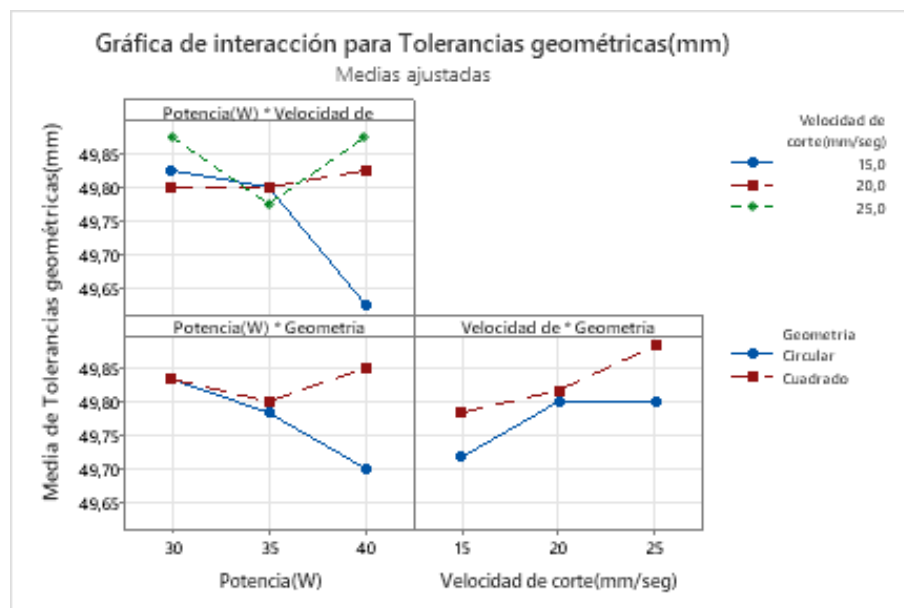


Figura 31. Gráfico de interacción de tolerancia geométrica acrílico 2mm

Fuente: Software Minitab

Basándose en los resultados se procede a interpretar la Figura 31:

- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de 25mm/seg y potencia de 30-40W, la tolerancia geométrica es de 49,87mm.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de 15mm/seg y potencia de 40W, la tolerancia geométrica es de 49,62mm.
- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 40W y la geometría cuadrada, la tolerancia geométrica es de 49,85mm.
- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 40W y la geometría circular, la tolerancia geométrica es de 49,70mm.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de 25mm/seg y una geometría cuadrada, la tolerancia geométrica es de 49,88mm.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de 25mm/seg y una geometría circular, la tolerancia geométrica es de 49.80mm.

Material: sintra

Tabla 35
Análisis de varianza de tiempo de sintra 3mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,128
Velocidad de corte(mm/seg)	0,005
Geometría (mm)	0,015
Interacciones de 2 términos	0,062
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,043
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,128
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,128

Fuente: Software Minitab

De acuerdo a la siguiente Tabla 46 se puede apreciar que los factores más influyentes son velocidad de corte, geometría, y potencia*velocidad de corte, ya que los valores de p son menores a 0,05.

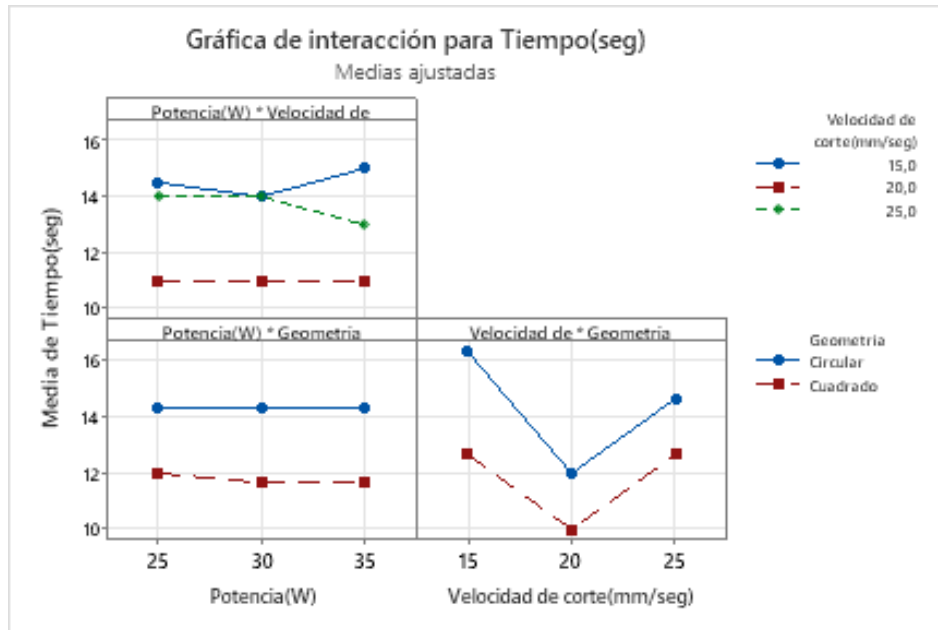


Figura 32. Gráfico de interacción de tiempo sintra 3mm
Fuente: Software Minitab

En base a la figura 32 de los factores que afectan significativamente al tiempo de corte láser, se procedió a interpretar:

- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 35w y una velocidad de 15mm/seg, el tiempo de corte estimado es de 15seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 25W, 30W, 35W y una velocidad de 20mm/seg, el tiempo de corte estimado es de 11seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 30-35W y una geometría circular, el tiempo de corte estimado es de 11.66seg
- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 25,30,35W y una geometría cuadrada, el tiempo de corte estimado es de 15seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de 15mm/seg y una geometría circular, el tiempo de corte estimado es de 16,33seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de 20mm/seg y una geometría cuadrada, el tiempo de corte estimado de 10seg.

Tabla 36
Análisis de varianza de tolerancia geométrica sintra 3mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,444
Velocidad de corte(mm/seg)	0,000
Geometría (mm)	0,000
Interacciones de 2 términos	0,016
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,023
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,444
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,005

Fuente: Software Minitab

De acuerdo a la siguiente tabla, se puede apreciar que los factores más influyentes son velocidad de corte, geometría, velocidad de corte*geometría y potencia*velocidad de corte, ya que los valores de p son menores a 0,05.

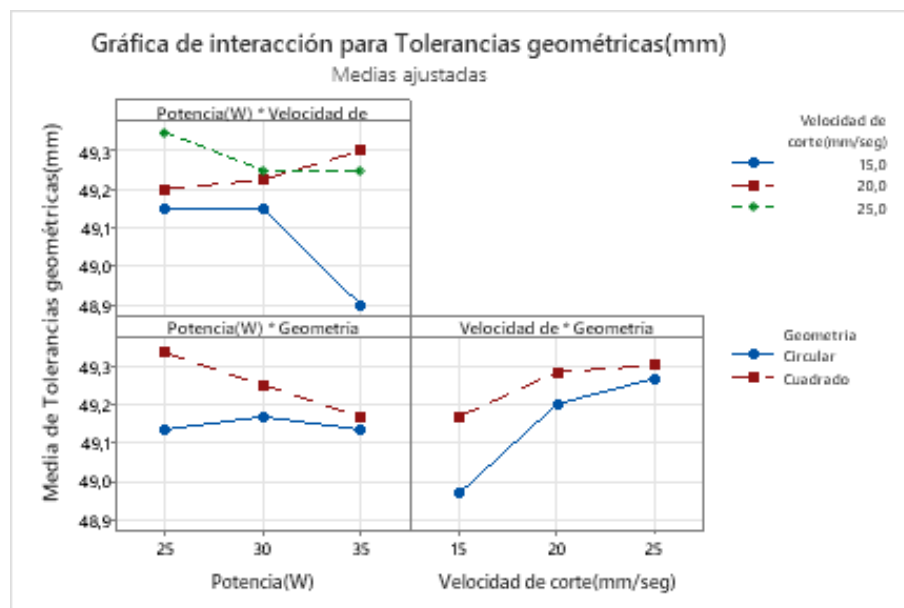


Figura 33. Gráfico de interacción de tolerancia geométrica sintra 3mm
Fuente: Software Minitab

Basándose en la Figura 33 de los factores más influyentes para definir las tolerancias geométricas en el material sintra de 3mm, se procedió a la interpretación:

- Si se ejecuta el corte láser con potencia de 25W y una velocidad de corte de 25mm, la tolerancia geométrica es de 49,35mm.
- Si se ejecuta el corte láser con potencia de 35W y una velocidad de corte de 15mm, la tolerancia geométrica es de 48,90mm.

- Si se ejecuta el corte láser con potencia de 25W y geometría cuadrada, la tolerancia geométrica es de 49,33mm.
- Si se ejecuta el corte láser con potencia de 25W, 35W y geometría circular, la tolerancia geométrica es de 49,13mm.
- Si se ejecuta el corte laser con velocidad de corte de 15mm/seg, y una geometría circular, la tolerancia geométrica es de 48,96mm.
- Si se ejecuta el corte láser con velocidad de corte de 25mm/seg, y una geometría cuadrada, la tolerancia geométrica es de 48,3mm.

Tabla 37

Análisis de varianza de tiempo de sintra 2mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,444
Velocidad de corte(mm/seg)	0,000
Geometría (mm)	0,001
Interacciones de 2 términos	0,539
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,500
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,444
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,444

Fuente: Software Minitab

A continuación, se determina que los factores con mayor significancia son; velocidad de corte y geometría. Por otra parte, la potencia no afecta significativamente a las tolerancias geométricas de las probetas, ya que los valores son mayores al valor de p.

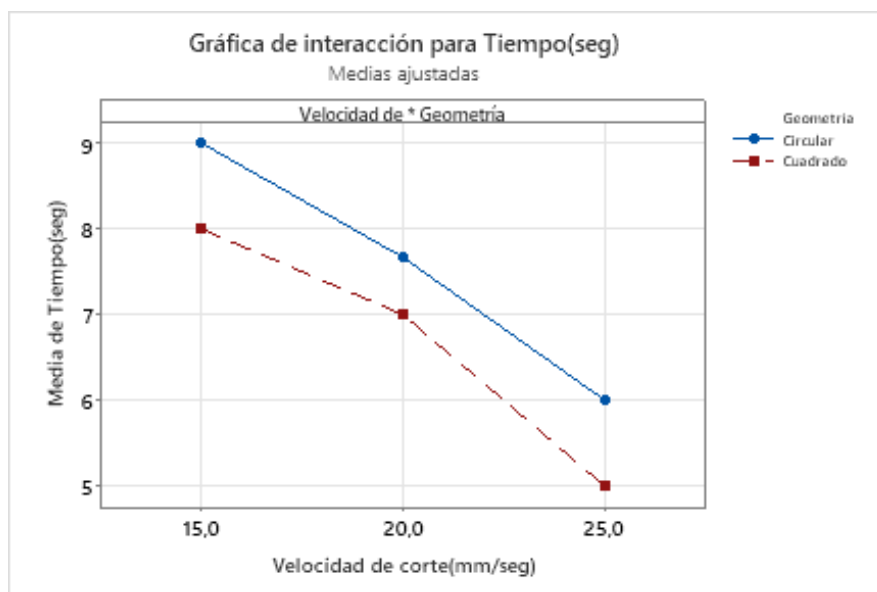


Figura 34. Gráfico de interacción de tiempo sintra 2mm

Fuente: Software Minitab

Basándose de los factores más influyentes, se procede a interpretar la Figura 34.

- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 25 y la geometría circular, el tiempo de corte estimado es de 9seg.
- Si se ejecuta el corte láser con una velocidad de corte de 15mm/s y una geometría cuadrada, el tiempo de corte estimado es de 5seg.

Tabla 38
Análisis de varianza de tolerancia geométrica sintra 2mm

Factores	Valor p
Potencia (W)	0,010
Velocidad de corte(mm/seg)	0,016
Geometría (mm)	0,008
Interacciones de 2 términos	0,014
Potencia (W)*Velocidad de corte(mm/seg)	0,007
Potencia (W)*Geometría (mm)	0,444
Velocidad de corte(mm/seg)*Geometría (mm)	0,023

Fuente: Software Minitab

De acuerdo a la siguiente Tabla 38, se puede apreciar que los factores más influyentes son potencia, velocidad de corte, geometría, la interacción de potencia*velocidad de corte y velocidad de corte*geometría, ya que los valores de p son menores a 0,05

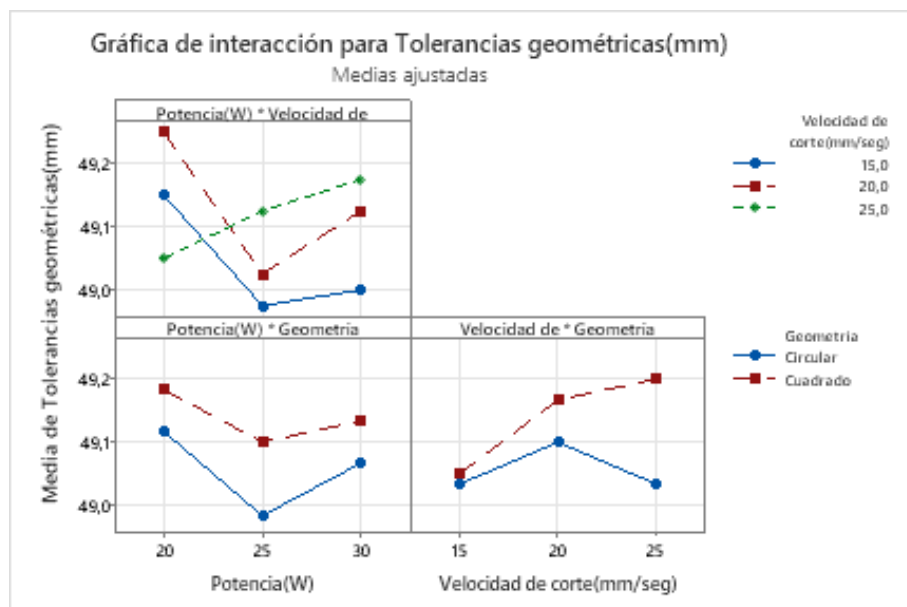


Figura 35. Gráfico de interacción de sintra 2mm
Fuente: Software Minitab

En base a la figura 35 de los factores que afectan significativamente a las tolerancias geométricas, se procedió a interpretar lo siguiente:

- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 20w y una velocidad de corte de 30mm/seg, la tolerancia geometría es de 49.27mm.
- Si se ejecuta el corte láser con una potencia de 25-30w y una velocidad de 25mm/seg, la tolerancia geometría es de 49mm.
- Si se ejecuta el corte laser con una potencia de 25 y una geometría circular, la tolerancia geometría es de 49mm.
- Si se ejecuta el corte laser con una potencia de 20 y una geometría cuadrada, la tolerancia geometría es de 49,18mm.
- Si se ejecuta el corte laser con una velocidad de corte de 15mm/seg y una geometría circular, la tolerancia geometría es de 49,03mm.
- Si se ejecuta el corte laser con una velocidad de corte de 15mm/seg y una geometría cuadrada, la tolerancia geometría es de 49,20mm.

4.3.2. Análisis de tiempo, indicador y tolerancia geométrica del Router CNC

El número de muestras para cada herramienta es de 18 pruebas experimentales, con un nivel de significancia de 0,05. La hipótesis planteada es la siguiente:

$H_0 = \mu$ No influyen de manera significativa la variación de los parámetros de mecanizado en el material y las herramientas?

$H_a = \mu$ Influyen de manera significativa la variación de los parámetros de mecanizado en el material y las herramientas?

Herramienta: Fresa de punta plana

Tabla 39
Análisis de varianza del tiempo-fresa de 3mm 1Z

Factores	Valor p
Velocidad de avance(mm/min)	0,001
Velocidad del husillo(rpm)	0,927
Profundidad de paso(mm)	0,001
Interacciones de 2 términos	0,196
Velocidad de avance(mm/min)*Velocidad del husillo(rpm)	0,597
Velocidad de avance(mm/min)*Profundidad de paso(mm)	0,061
Velocidad del husillo(rpm)*Profundidad de paso(mm)	0,208

Fuente: Software Minitab **Nota.** El análisis es de la fresa de punta plana de 3mm con un filo. Mecanizado 2D

De acuerdo a la siguiente Tabla 39, los factores que influyen significativamente en el tiempo de mecanizado son; velocidad de avance y profundidad de corte, ya que los valores de p son menores a 0,05.

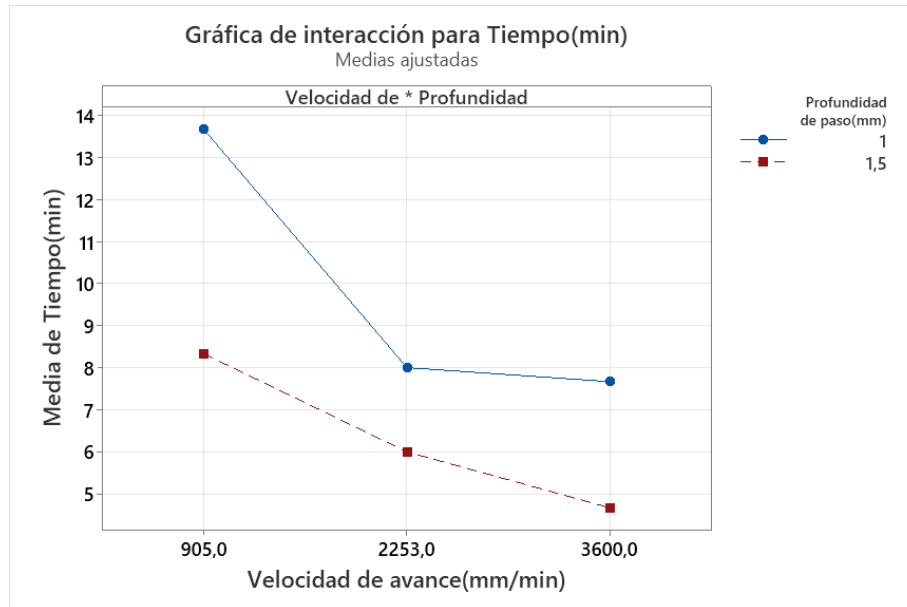


Figura 36. Gráfico de interacción de tiempo-fresa 3mm Z1
Fuente: Software Minitab

Basándose de los factores que tiene mayor influencia en el tiempo de mecanizado, se procedió a interpretar la Figura 36.

- Si se realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 905mm/min y la profundidad de 1mm, el tiempo de mecanizado es de 13',66".
- Si se realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 3600mm/min y la profundidad de 1.5mm, el tiempo de mecanizado es de 4',66".

Tabla 40
Análisis de varianza del indicador de la fresa de 3mm-1Z

Factores	Valor p
Velocidad de avance(mm/min)	0,005
Velocidad del husillo(rpm)	0,003
Profundidad de paso(mm)	0,116
Interacciones de 2 términos	0,026
Velocidad de avance(mm/min)*Velocidad del husillo(rpm)	0,011
Velocidad de avance(mm/min)*Profundidad de paso(mm)	0,284
Velocidad del husillo(rpm)*Profundidad de paso(mm)	0,145

Fuente: Software Minitab **Nota.** El análisis es de la fresa de punta plana de 3mm con un filo. Mecanizado 2D

En la tabla 40, se observa que los factores más significativos son velocidad del husillo, velocidad de avance y la interacción de velocidad de avance*velocidad del husillo.

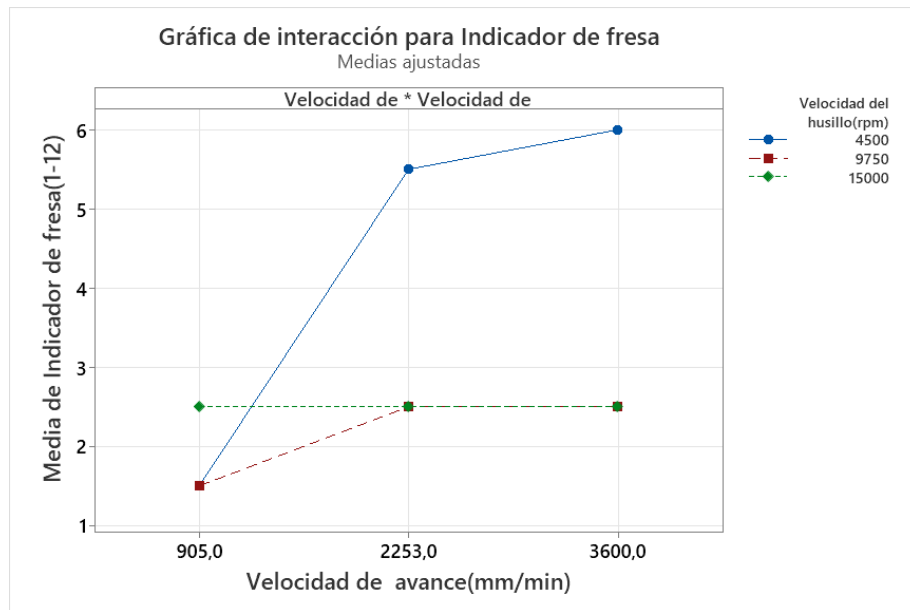


Figura 37. Gráfico de efectos principales
Fuente: Software Minitab

Basándose de los factores que tiene mayor influencia en el indicador de fresa, se procedió a interpretar la Figura 37.

- Si se realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 3600mm/min y la velocidad el husillo de 4500rpm, el indicador de la fresa es de 6.
- Si se realiza el mecanizado con una velocidad de avance de 3600mm/min y la velocidad el husillo de 9750rpm-15000rpm, el indicador de la fresa es de 2.5.

Tabla 41

Análisis de varianza de tolerancia geométrica-fresa 3mm IZ

Fuente	Cajeado circular Valor de p	Cajeado cuadrado Valor de p	Ranurado Valor de p
Velocidad de avance(mm/min)	0,189	0,305	0,610
Velocidad del husillo(rpm)	0,579	0,037	0,042
Profundidad de paso(mm)	0,881	0,037	0,383
Interacciones de 2 términos	0,459	0,018	0,647
Velocidad de avance(mm/min)*Velocidad del husillo(rpm)	0,570	0,017	0,602
Velocidad de avance(mm/min)*Profundidad de paso(mm)	0,406	0,029	0,433
Velocidad del husillo(rpm)*Profundidad de paso(mm)	0,248	0,030	0,610

Fuente: Software Minitab **Nota.** El análisis es de la fresa de punta plana de 3mm con un filo. Mecanizado 2D

De acuerdo a la Tabla 41, se determinó los factores que afectan significativamente a las tolerancias geométricas en el cajeado cuadrado son velocidad del husillo, profundidad de paso, y las interacciones de los factores; asimismo en el ranurado se identifica un factor influyente que es la velocidad del husillo. Por otra parte, en el cajeado circular se descartan, ya que los valores de p son mayores a 0,05.

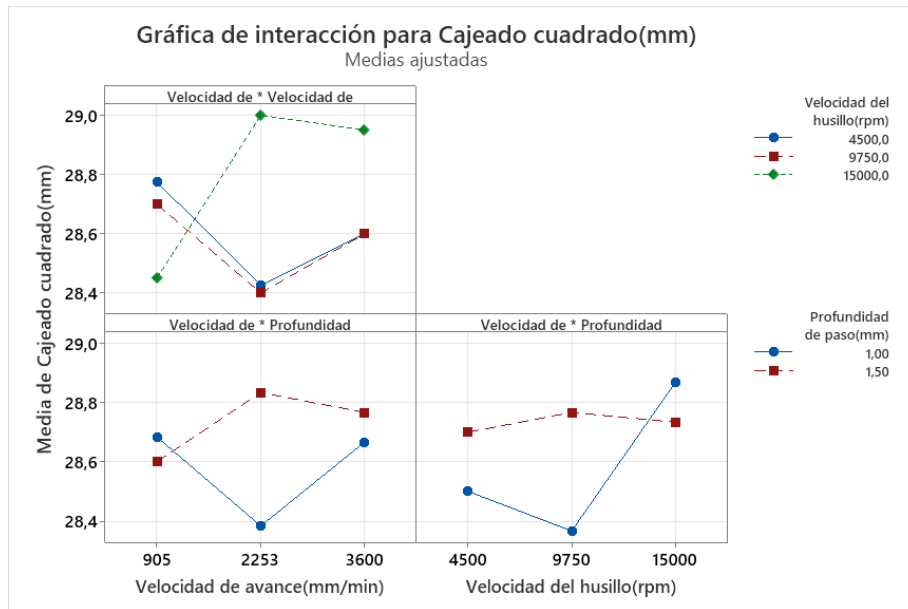


Figura 38. Gráfico de efectos principales de cajeado cuadrado
Fuente: Software Minitab

Basándose de los factores más significativos, se procede a interpretar la Figura 38.

- Si se realiza el mecanizado en 2D (cajeado cuadrado) con una velocidad de avance de 2253mm/min y una velocidad del husillo de 9750rpm, se obtiene una tolerancia geométrica de 28,40mm.
- Si se realiza el mecanizado en 2D (cajeado cuadrado) con una velocidad de avance de 2253mm/min y una velocidad del husillo de 15000rpm, se obtiene una tolerancia geométrica de 29mm.
- Si se realiza el mecanizado en 2D (cajeado cuadrado) con una velocidad de avance de 2253mm/min y una profundidad de pasada de 1.5mm, se obtiene una tolerancia geométrica de 28,83mm.
- Si se realiza el mecanizado en 2D (cajeado cuadrado) con una velocidad de avance de 2253mm/min y una profundidad de pasada de 1mm, se obtiene una tolerancia geométrica de 28,38mm.

- Si se realiza el mecanizado en 2D (cajeado cuadrado) con una velocidad del husillo de 9750rpm y una profundidad de pasada de 1mm, se obtiene una tolerancia geométrica de 28,76mm.
- Si se realiza el mecanizado en 2D (cajeado cuadrado) con una velocidad del husillo de 9750rpm y una profundidad de pasada de 1mm, se obtiene una tolerancia geométrica de 28,86mm.

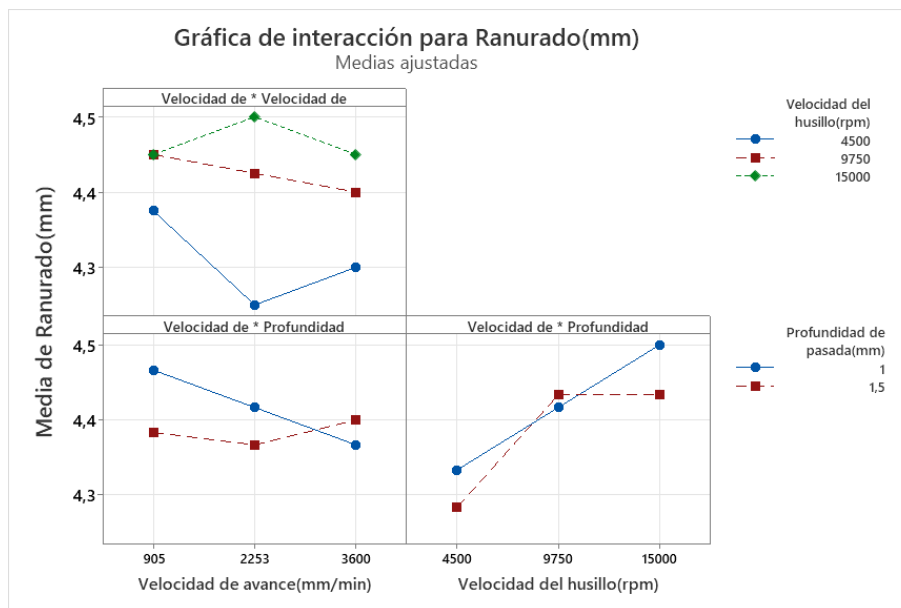


Figura 39. Gráfico de interacción del ranurado
 Fuente: Software Minitab

En la Figura 39, se presenta la interacción del factor para la determinación de la tolerancia geométrica del ranurado.

- Si se realiza el mecanizado en 2D (ranurado) con una velocidad avance de 2253mm/min y una velocidad del husillo de 4500, se obtiene una tolerancia geométrica de 4,25mm.
- Si se realiza el mecanizado en 2D (ranurado) con una velocidad avance de 2253mm/min y una velocidad del husillo de 15000, se obtiene una tolerancia geométrica de 4,5mm.
- Si se realiza el mecanizado en 2D (ranurado) con una velocidad avance de 905mm/min y una profundidad de pasada de 1mm, se obtiene una tolerancia geométrica de 4,46mm.
- Si se realiza el mecanizado en 2D (ranurado) con una velocidad avance de 3600mm/min y una profundidad de pasada de 1mm, se obtiene una tolerancia geométrica de 4,36mm.
- Si se realiza el mecanizado en 2D (ranurado) con una velocidad del husillo de 4500rpm y una profundidad de pasada de 1,5mm, se obtiene una tolerancia geométrica de 4,28mm.

- Si se realiza el mecanizado en 2D (ranurado) con una velocidad del husillo de 15000rpm y una profundidad de pasada de 1mm, se obtiene una tolerancia geométrica de 4,5mm.

Tabla 42

Análisis de varianza del tiempo de la fresa de 2mm, 2Z

Factores	Valor p
Velocidad de avance(mm/min)	0,000
Velocidad del husillo(rpm)	0,229
Profundidad de paso(mm)	0,000
Interacciones de 2 términos	0,008
Velocidad de avance(mm/min)*Velocidad del husillo(rpm)	0,031
Velocidad de avance(mm/min)*Profundidad de paso(mm)	0,002
Velocidad del husillo(rpm)*Profundidad de paso(mm)	0,538

Fuente: Software Minitab **Nota.** El análisis es de la fresa de punta plana de 2mm con dos filos. Mecanizado 2D

De acuerdo a la Tabla 55, se determinó los factores que afectan significativamente a las al tiempo de mecanizado con la herramienta punta plana de 2mm con un filo son velocidad de avance, profundidad de paso, velocidad de avance*velocidad del husillo y velocidad de avance*profundidad de paso.

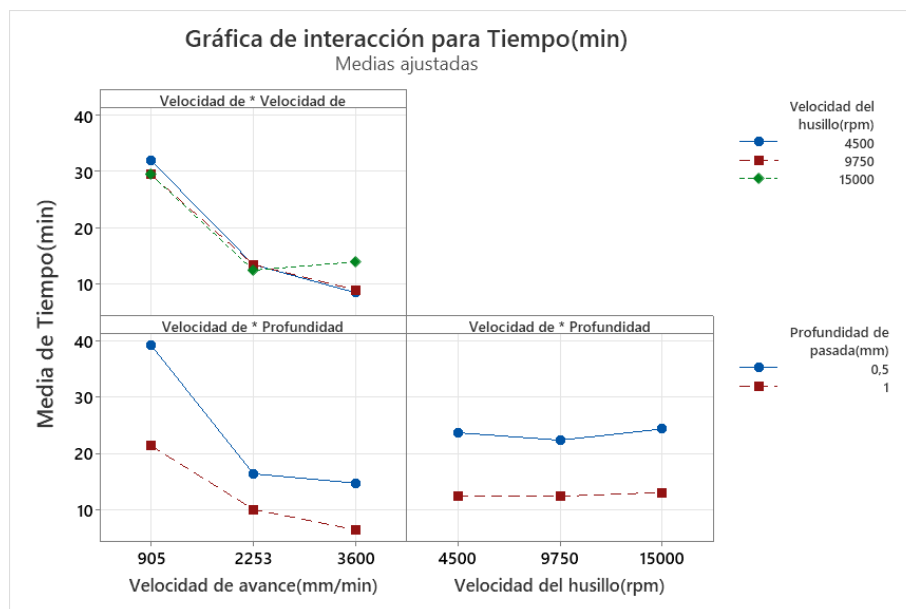


Figura 40. Gráfico de interacción de tiempo-fresa 2mm 2Z

Fuente: Software Minitab

En la Figura 40, se presenta la interacción de los factores para la determinación del tiempo de mecanizado.

- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 905 mm/min y la velocidad del husillo de 4500rpm, el tiempo de mecanizado es de 32'.
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 3600 mm/min y la velocidad del husillo de 4500rpm, el tiempo de mecanizado es de 8',5".
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 905mm/min y una profundidad de corte de 0.5mm, el tiempo de mecanizado es de 39'.33".
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 3600mm/min y una profundidad de corte de 1mm, el tiempo de mecanizado es de 6'.33".

Tabla 43

Análisis de varianza de indicador - fresa de 2mm 2Z

Factores	Valor p
Velocidad de avance(mm/min)	0,316
Velocidad del husillo(rpm)	0,622
Profundidad de paso(mm)	0,638
Interacciones de 2 términos	0,683
Velocidad de avance(mm/min)*Velocidad del husillo(rpm)	0,605
Velocidad de avance(mm/min)*Profundidad de paso(mm)	0,743
Velocidad del husillo(rpm)*Profundidad de paso(mm)	0,435

Fuente: Software Minitab **Nota.** El análisis es de la fresa de punta plana de 2mm con dos filos. Mecanizado 2D

En la tabla 43, se observa que los factores no son significativos porque los valores de p son mayores a 0.05.

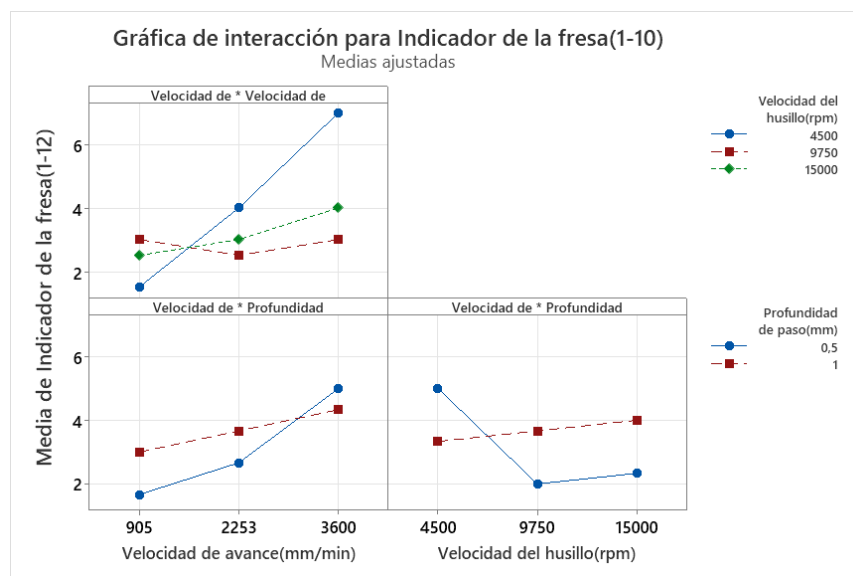


Figura 41. Gráfico de interacción del ranurado-fresa 2mm 2Z

Fuente: Software Minitab

Basándose en los resultados de la Figura 68, se puede observar que la interacción de los factores no es significativa porque los resultados tienen valores similares entre sí.

- Si se realiza el mecanizado en 2D con una velocidad avance de 905mm/min y una velocidad del husillo de 4500, se obtiene el indicador de fresa de 1.5.
- Si se realiza el mecanizado en 2D con una velocidad avance de 3600mm/min y una velocidad del husillo de 4500, se obtiene el indicador de fresa de 7.
- Si se realiza el mecanizado en 2D con una velocidad avance de 905mm/min y una profundidad de corte de 0.5, se obtiene el indicador de fresa de 1.60.
- Si se realiza el mecanizado en 2D con una velocidad avance de 3600mm/min y una profundidad de corte de 0.5, se obtiene el indicador de fresa de 5.
- Si se realiza el mecanizado en 2D con una velocidad del husillo de 4500rpm y una profundidad de corte de 0.5, se obtiene el indicador de fresa de 5.
- Si se realiza el mecanizado en 2D con una velocidad del husillo de 9750rpm y una profundidad de corte de 0.5, se obtiene el indicador de fresa de 2.30.

Tabla 44
Análisis de varianza de las tolerancias geométricas de 2mm, 2 filos

Fuente	Cajeado circular Valor de p	Cajeado cuadrado Valor de p	Ranurado Valor de p
Velocidad de avance(mm/min)	0,225	0,598	0,738
Velocidad del husillo(rpm)	0,050	0,245	0,479
Profundidad de corte(mm)	0,555	0,850	0,878
Interacciones de 2 términos	0,060	0,923	0,973
Velocidad de avance(mm/min)*Velocidad del husillo(rpm)	0,057	0,792	0,828
Velocidad de avance(mm/min)*Profundidad de corte(mm)	0,098	0,691	0,918
Velocidad del husillo(rpm)*Profundidad de corte(mm)	0,069	0,982	0,993

Fuente: Software Minitab **Nota.** El análisis es de la fresa de punta plana de 2mm con dos filos. Mecanizado 2D

De acuerdo a la Tabla 44, se determinó los factores que afectan significativamente a las tolerancias geométricas en el cajeado circular son velocidad del husillo y velocidad de

avance*velocidad del husillo; por otra parte, en el cajeado cuadrado y ranurado los factores no son insignificantes, ya que los valores de p son mayores a 0,05.

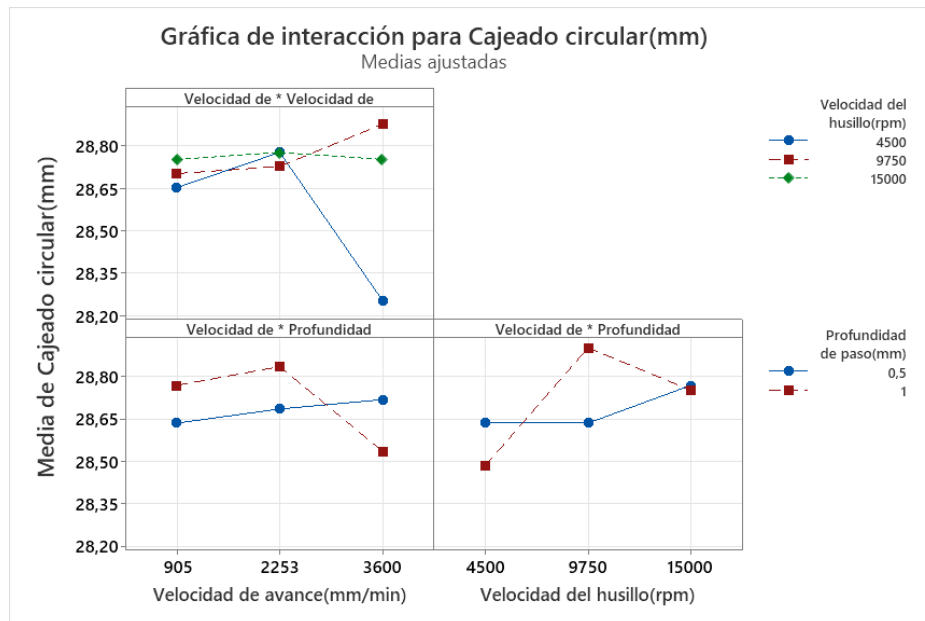


Figura 42. Gráfico de interacción del cajeado circular- fresa 2mm 2Z
Fuente: Software Minitab

Basándose en la Figura 42, se procede a la interpretación de las interacciones de los factores:

- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 3600mm/min y la velocidad del husillo de 9750rpm, la tolerancia geométrica es de 28.87mm.
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 3600 mm/min y la velocidad del husillo de 4500rpm, el tiempo de mecanizado es de 28.25mm
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 2253mm/min y profundidad de pasada de 1, la tolerancia geométrica es de 28,83mm.
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 3600mm/min y profundidad de pasada de 1, la tolerancia geométrica es de 28,53mm.
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad del husillo de 9750rpm y una profundidad de pasada de 1mm, la tolerancia geométrica es de 28.90mm.
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad del husillo de 4500rpm y una profundidad de pasada de 1mm, la tolerancia geométrica es de 28.48mm.

Herramienta: Fresa con punta de bola

Tabla 45

Análisis de varianza de tiempo fresa 3mm, 2Z

Factores	Valor p
Velocidad de avance(mm/min)	0,006
Velocidad del husillo(rpm)	0,010
Profundidad de paso(mm)	0,037
Interacciones de 2 términos	0,245
Velocidad de avance(mm/min)*Velocidad del husillo(rpm)	0,885
Velocidad de avance(mm/min)*Profundidad de paso(mm)	0,070
Velocidad del husillo(rpm)*Profundidad de paso(mm)	0,214

Fuente: Software Minitab **Nota.** El análisis es de la fresa de punta de bola de 3mm con dos filos. Mecanizado 3D

En la tabla 45, se observa que los factores velocidad de avance, velocidad del husillo y profundidad de corte son significativos porque los valores de p son menores a 0.05.

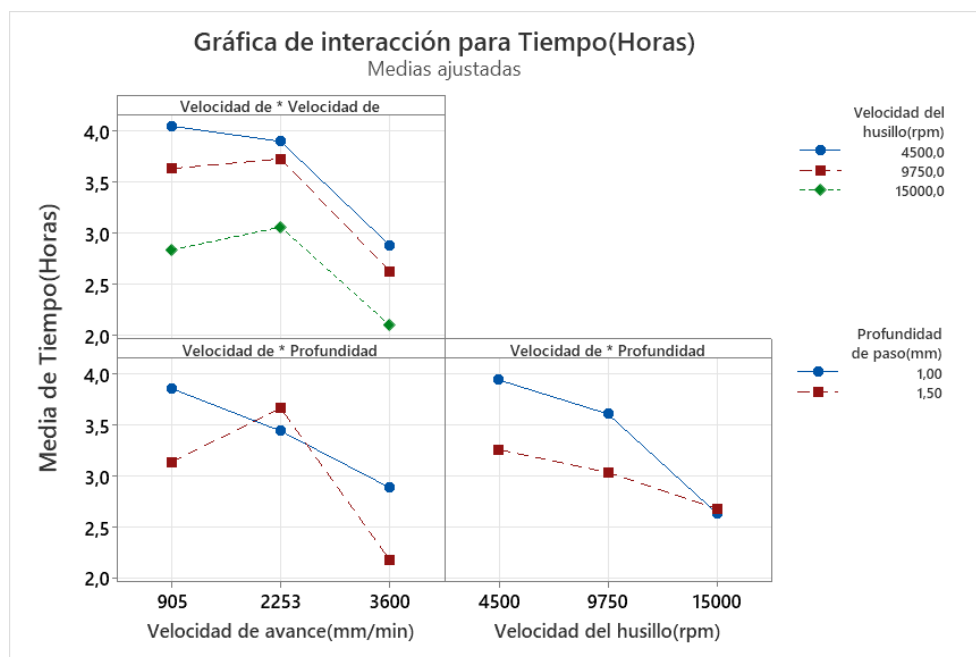


Figura 43. Gráfico de interacción de tiempo-fresa 3mm 2Z

Fuente: Software Minitab

Basándose en la Figura 43, se procede a interpretar los resultados obtenidos:

- Si realiza el mecanizado 3D con una velocidad de avance de 905 mm/min y la velocidad del husillo de 4500rpm, el tiempo de mecanizado es de 4 horas.
- Si realiza el mecanizado 3D con una velocidad de avance de 3600 mm/min y la velocidad del husillo de 15000rpm, el tiempo de mecanizado es de 2 horas.
- Si realiza el mecanizado 3D con una velocidad de avance de 905mm/min y una profundidad de corte de 1mm, el tiempo de mecanizado es de 3.86 horas.
- Si realiza el mecanizado 3D con una velocidad de avance de 3600mm/min y una profundidad de corte de 1.5mm, el tiempo de mecanizado es de 2.12 horas.
- Si realiza el mecanizado 3D con una velocidad del husillo de 4500rpm y una profundidad de pasada de 1mm, el tiempo de mecanizado es de 3.94 horas.
- Si realiza el mecanizado 3D con una velocidad del husillo de 15000rpm y una profundidad de pasada de 1-1.5mm, el tiempo de mecanizado es de 2,62 horas.

Tabla 46
Análisis de varianza de indicador fresa 3mm, 2Z

Factores	Valor p
Velocidad de avance(mm/min)	0,64
Velocidad del husillo(rpm)	1,48
Profundidad de paso(mm)	0,04
Interacciones de 2 términos	2,29
Velocidad de avance(mm/min)*Velocidad del husillo(rpm)	3,16
Velocidad de avance(mm/min)*Profundidad de paso(mm)	2,56
Velocidad del husillo(rpm)*Profundidad de paso(mm)	0,28

Fuente: Software Minitab **Nota.** El análisis es de la fresa de punta de bola de 3mm con dos filos. Mecanizado 3D

De acuerdo a la Tabla 46, se determinó los factores que afectan significativamente al indicador de la fresa es la profundidad de pasada, por otra parte, se descarta la velocidad de avance y velocidad del husillo porque los valores de p son mayores a 0,05.

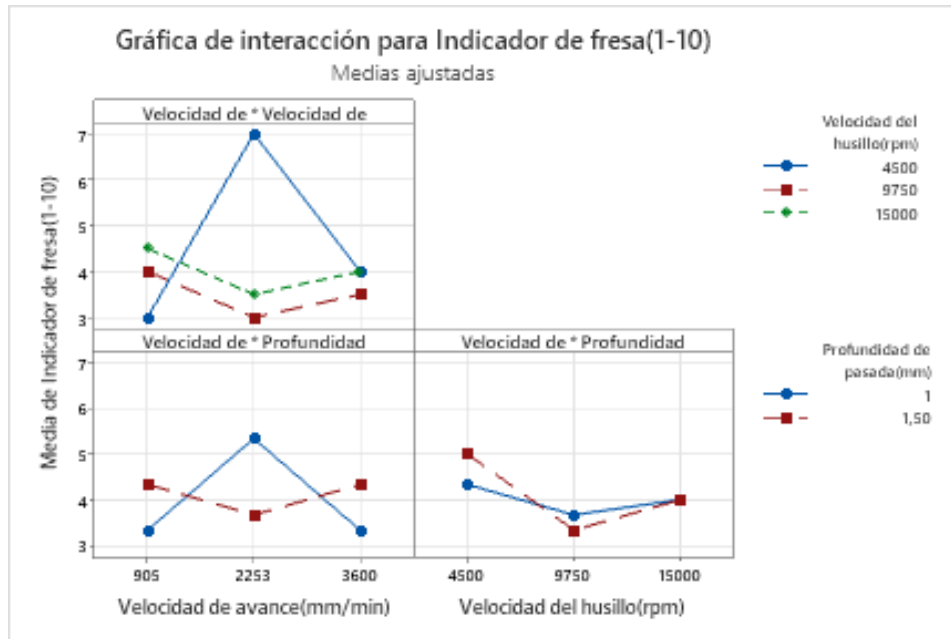


Figura 44. Gráfico de interacción de indicador-fresa 3mm 2Z
 Fuente: Software Minitab

Se puede notar que el factor más influyente es la profundidad de pasada y se procedió a la interpretación de la Figura 44.

- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 2253 mm/min y la profundidad de pasada de 1mm, el indicador de la fresa es 5.33mm.
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de avance de 905-3600 mm/min y la profundidad de pasada de 1mm, el indicador de la fresa es 3.33mm.
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de husillo de 4500rpm y la profundidad de pasada de 1.5mm, el indicador de la fresa es 5mm.
- Si realiza el mecanizado 2D con una velocidad de husillo de 9750rpm y la profundidad de pasada de 1.5mm, el indicador de la fresa es 3.33mm.

4.4. Selección de los resultados

Una vez analizado los resultados de las pruebas experimentales de corte láser y mecanizado en el Router CNC en los diferentes materiales y herramientas, se procedió a seleccionar los parámetros óptimos que ofrezcan la mejor precisión y tiempo de corte.

4.4.1. Tiempo y tolerancia geométrica óptimo de corte láser

Tabla 47

Parámetros de corte para el tiempo óptimo de mdf

Espesor	Tiempo de corte(seg)						Geometría (mm)	
	Potencia (W)		Velocidad de corte (mm/seg)					
3mm	25	30	35	10	15	20	Circular	Cuadrado
	15seg	15seg	15seg	19seg	13seg	12seg	15seg	14seg
4mm	30	35	40	5	7	10	Circular	Cuadrado
	26seg	25seg	26seg	34seg	24seg	19seg	27seg	25seg

Fuente: Software Minitab

Los parámetros para ejecutar el corte láser en el material mdf de 3mm que brinden el menor tiempo de operación son:

Potencia: 35W **Velocidad de corte:**20mm/seg **Geometría:** Cuadrado

Los parámetros para ejecutar el corte láser en el material mdf de 4mm que brinden el menor tiempo de operación son:

Potencia: 35W **Velocidad de corte:**10mm/seg **Geometría:** Cuadrado

Tabla 48

Parámetros de corte para el tiempo óptimo en acrílico

Espesor	Tiempo de corte(seg)						Geometría (mm)	
	Potencia (W)		Velocidad de corte (mm/seg)					
2mm	30	35	40	15	20	25	Circular	Cuadrado
	11seg	11seg	11seg	13seg	10seg	9seg	12seg	10seg
3mm	35	40	45	10	15	20	Circular	Cuadrado
	15seg	15seg	15seg	20seg	15seg	16seg	16seg	14seg

Fuente: Software Minitab

Los parámetros para ejecutar el corte láser en el material acrílico de 2mm que brinden el menor tiempo de operación son:

Potencia: 30W **Velocidad de corte:**25mm/seg **Geometría:** Cuadrado

Los parámetros para ejecutar el corte láser en el material acrílico de 3mm que brinden el menor tiempo de operación son:

Potencia: 40W **Velocidad de corte:**15mm/seg **Geometría:** Cuadrado

Tabla 49
Parámetros de corte para el tiempo óptimo sintra

Espesor	Tiempo de corte(seg)						Geometría (mm)	
	Potencia (W)		Velocidad de corte (mm/seg)					
2mm	20	25	30	15	20	25	Circular	Cuadrado
	7seg	7seg	7seg	8seg	7seg	5seg	6seg	7seg
3mm	25	30	35	15	20	25	Circular	Cuadrado
	13	13	13	14	11	13	14	11

Fuente: Software Minitab

Los parámetros para ejecutar el corte láser en el material sintra de 2mm que brinden el menor tiempo de operación son:

Potencia: 20W **Velocidad de corte:**25mm/seg **Geometría:** Cuadrado

Los parámetros para ejecutar el corte láser en el material sintra de 3mm que brinden el menor tiempo de operación son:

Potencia: 25W **Velocidad de corte:**20mm/seg **Geometría:** Cuadrado

Tabla 50
Parámetros de corte para la tolerancia geométrica óptimo sintra

Espesor	Tolerancia geométrica(mm)						Geometría (mm)	
	Potencia (W)		Velocidad de corte (mm/seg)					
2mm	20	25	30	15	20	25	Circular	Cuadrado
	49.15	49.05	49.10	49.05	49.14	49.11	49.06	49.13
3mm	25	30	35	15	20	25	Circular	Cuadrado
	49.23	49.20	49.15	49.06	49.24	49.28	49.14	49.25

Fuente: Software Minitab

Los parámetros para ejecutar el corte láser en el material sintra de 2mm que brinden la mejor tolerancia geométrica son:

Potencia: 20W **Velocidad de corte:** 20mm/seg **Geometría:** Cuadrado

Los parámetros para ejecutar el corte láser en el material sintra de 3mm que brinden la mejor tolerancia geométrica son:

Potencia: 25W **Velocidad de corte:**25mm/seg **Geometría:** Cuadrado

4.4.2. Tiempo, indicador y tolerancia geométrica óptimo del Router CNC

Tabla 51

Parámetros de corte para el tiempo de mecanizado óptimo-fresa plana

Tiempo de mecanizado(min)-Fresa plana 3mm Z1							
Velocidad de avance(mm/min)			Velocidad del husillo(rpm)			Profundidad de pasada(mm)	
905	2253	3600	4500	9750	15000	1	1.5
11	7	6	8	8	8	9	6

Fuente: Software Minitab

Los parámetros que brinden el menor tiempo de mecanizado en 2D son:

Velocidad de avance: 2253mm/min

Velocidad del husillo:15000rpm

Profundidad de pasada: 1.5mm

Tabla 52

Parámetros de corte para el indicador de fresa óptimo fresa plana

Indicador de fresa (1-10)-Fresa plana 3mm N1							
Velocidad de avance(mm/min)			Velocidad del husillo(rpm)			Profundidad de pasada(mm)	
905	2253	3600	4500	9750	15000	1	1.5
1	3	3	4	2	2	2	3

Fuente: Software Minitab

Los parámetros que brinden el menor esfuerzo de la herramienta en el mecanizado en 2D son:

Velocidad de avance: 905mm/min

Velocidad del husillo:9750rpm

Profundidad de pasada: 1mm

Tabla 53

Parámetros de corte para el tiempo de mecanizado óptimo fresa plana

Tiempo de mecanizado(min)-Fresa plana 2mm N2							
Velocidad de avance(mm/min)			Velocidad del husillo(rpm)			Profundidad de pasada(mm)	
905	2253	3600	4500	9750	15000	0.5	1
30	13	10	18	17	18	23	12

Fuente: Software Minitab

Los parámetros que brinden el menor tiempo de mecanizado en 2D son:

Velocidad de avance: 3600mm/min

Velocidad del husillo:9750rpm

Profundidad de pasada: 1.5mm

Tabla 54

Parámetros de corte para el tiempo de mecanizado óptimo

Tiempo de mecanizado(min)-Fresa punta de bola 3mm N2							
Velocidad de avance(mm/min)			Velocidad del husillo(rpm)			Profundidad de pasada(mm)	
905	2253	3600	4500	9750	15000	1	1.5
3.49	3.55	2.50	3.60	3.32	2.63	3.39	2.97

Fuente: Software Minitab

Los parámetros que brinden el menor tiempo de mecanizado en 3D son:

Velocidad de avance: 3600mm/min

Velocidad del husillo: 9750rpm

Profundidad de pasada: 1.5mm

Tabla 55

Parámetros de corte para el indicador de fresa óptimo

Indicador de fresa (1-10)-Fresa punta de bola 3mm N2							
Velocidad de avance(mm/min)			Velocidad del husillo(rpm)			Profundidad de pasada(mm)	
905	2253	3600	4500	9750	15000	1	1.5
3	4	3	4	3	4	4	4

Fuente: Software Minitab

Los parámetros que brinden el menor esfuerzo de la herramienta en el mecanizado en 3D son:

Velocidad de avance: 905-3600mm/min

Velocidad del husillo: 9750rpm

Profundidad de pasada: 1mm

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se definieron las pruebas experimentales para el proceso de corte láser y mecanizado en Router CNC con el método diseño de experimentos con el cual se estableció los parámetros adecuados dependiendo de las características de los materiales, herramientas y maquinarias. Con esta información se diseñaron las probetas adecuadas para cada prueba.
- Las pruebas experimentales de corte láser considerando el espesor de cada material dio como resultado diferentes parámetros según el tipo de material utilizado como: Mdf, acrílico y sintra.
- La ejecución de las pruebas experimentales de mecanizado 2D y 3D según el tipo de herramienta como punta plana y punta de bola dio como resultado diferentes parámetros.
- Los parámetros de corte establecidos para la máquina láser y el Router CNC mediante software estadístico Minitab son los siguientes:
 - La geometría es un aspecto importante con respecto al tiempo de corte, ya que los resultados demostraron una diferencia significativa en las probetas circulares y cuadradas, por lo que se concluye que los diseños con varios detalles requieren mayor tiempo de corte a diferencia de los diseños con detalles simples.
 - La velocidad es el parámetro más importante para optimizar el tiempo de corte, porque a mayor velocidad menor tiempo de corte y la exposición del material a la energía será menor, lo que permite un acabado aceptable.
 - La precisión de las tolerancias geométricas en el material mdf y acrílico no varían según los resultados obtenidos, sin embargo, en el material sintra se vieron afectados por la variación de los parámetros.
 - La velocidad de avance y profundidad de paso son factores importantes en el mecanizado 2D para optimizar el tiempo de operación de acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas experimentales.
 - En el mecanizado 3D; La velocidad de avance, velocidad del husillo y profundidad de pasada son significativos para optimizar el tiempo de operación.

- Se concluyó que los factores indispensables para el indicador de la fresa en el mecanizado 2D son velocidad de avance, velocidad del husillo y profundidad de paso, ya que determinan el esfuerzo de la herramienta, mientras que las tolerancias geométricas no son relevantes pues los resultados fueron similares en cada probeta.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar pruebas con otros materiales, herramientas y probetas que permitan obtener información más detallada sobre la influencia que posee los parámetros al combinar.
- Se recomienda planificar previamente el diseño experimental con la finalidad de verificar la disponibilidad de recursos materiales y herramientas de medición de los datos.
- Durante la operación de la máquina láser es importante mantener cerrado correctamente la puerta de la mesa de trabajo, debido a que el material al ser quemado por el láser genera humo y puede llegar a ser tóxico.
- Durante el proceso de corte o grabado se recomienda no observar directamente el haz de láser, ya que el haz proyectado es muy fuerte y provoca daños a la vista.
- Las herramientas que dispone el laboratorio Fab Lab son de uso exclusivo para metales, por lo que existen limitadas herramientas para la máquina Roland MDX 50, por ende, se recomienda adquirir las herramientas adecuadas y tener en cuenta las características de esta máquina, ya que no permiten trabajar en materiales como metales.
- Durante las pruebas experimentales se evidenció que en el proceso de mecanizado existen virutas que pueden ocasionar el paro de la máquina o el destemple y posterior ruptura de la fresa, por lo que es necesario una supervisión constante del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Neill, D. A., & Cortez Suárez, L. (2018). *Procesos y Fundamentos de la Investigación Científica*. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf>
- Secretaría de Estrategias Industriales*. (Septiembre de 2017). Obtenido de La Digitalización y la Industria 4.0 Impacto industrial y laboral: <https://industria.ccoo.es/4290fc51a3697f785ba14fce86528e10000060.pdf>
- Academia de Ingeniería de Mexico. (2017). *Ingeniería de Manufactura en el siglo XXI*. Obtenido de https://www.ai.org.mx/sites/default/files/ingenieria_de_manufactura.pdf
- Acuña, F., Chang, O., Terán, H., Lugmania, S., & Vásquez, W. (2018). Cortadora láser de dióxido de carbono de control numérico computarizado con fines didácticos. 1-6. Ecuador: ESPE. Retrieved from http://b-dig.iie.org.mx/BibDig2/P16-0417/papers/IEEE_ARGENCON_2016_paper_277.pdf
- Alicante, F. (2020). *¿Qué es un Fab Lab?* España: Universidad de Alicante. Obtenido de <http://fablab.ua.es/que-es-fab-lab/>
- Ariza, J. (2020). *Acondicionamiento de un router CNC 3020T para fabricación de componente de aluminio*. Tesis de grado. Tunja: Universidad Santo Tomás.
- Barrero Martínez, J. S. (2018). *Evaluación de parámetros de la rugosidad superficial obtenida del proceso de fresado para las aleaciones de aluminio*. Univerisidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.
- Blanco, J., José, S., Pernía, A., Azofra, J., & Pisón, J. (2018). *Prácticas de mecanizado en torno y fresadora*. Recuperado el 03 de Febrero de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/708694.pdf>
- Cárdenas, N. (Marzo de 2018). *Laboratorios de fabricación digital en Ecuador para arquitectura*. Recuperado el 2 de Febrero de 2022, de <https://noticias.utpl.edu.ec/laboratorios-de-fabricacion-digital-en-ecuador-para-arquitectura>
- Carman Haas tecnología láser. (2021). *¿Ha elegido la boquilla adecuada para el corte por láser?* Obtenido de <https://www.opticallenssupplier.com/es/news/Did-you-choose-the-right-nozzle-for-laser-cutting.html>

- Castro, A., & Dario, G. (2016). Diseño y construcción de una máquina CNC para el corte y grabado en madera utilizando láser de CO₂, implementado con hardware y software de uso libre como Sistema de control. 1-7. Latacunga: ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10016/1/AC-ESPEL-MEC-0046.pdf>
- CNC DIY. (2017). *Partes de un sistema cnc*. Recuperado el Febrero de 2020, de <https://cncdiyblog.wordpress.com/2017/04/09/partes-de-un-sistema-cnc/>
- Cruz, N., & Pérez, J. (2017). Dimensionamiento e implementación de una máquina cnc de corte por láser para optimizar la calidad de trabajos en acrílico de hasta 5 mm de espesor. 1-117. Cotopaxi: Universidad Técnica de Cotopaxi. Obtenido de <http://181.112.224.103/bitstream/27000/4061/1/T-UTC-0227.pdf>
- Delgado, J. (2019). Diseño y construcción de un prototipo de maquina ROUTER CNC de 3 ejes para el mecanizado de piezas en madera modeladas en 3d. 1-275. Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/7886>
- Ecuador, F. L. (2015). Detalles del Laboratrio. Fab Lab Ecuador. Obtenido de <https://www.fablabs.io/labs/fablabecuador>
- FabFoundation. (2020). Red mundial. Obtenido de <https://fabfoundation.org/>
- Galarza, C. R. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica* , 10(1). doi:<http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- García, C., & Pérez, J. (2018). Comentarios sobre la fabricación digital distribuida -makers y fab labs- y economía colaborativa. 1, 79-140. España: Laborum. Retrieved from https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/82851/economia_colaborativa_deverdad.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- GB, I. (2020). Tubo láser. Importadora GB. Obtenido de https://importadoragb.com/productos/tubo-laser-para-maquinas-laser/#caracteristicas_tab
- Giovanni, P., Martín, A., & Yuliana, A. (2009). Aplicación del diseño de experiemtos para el análisis del proceso de doblado. *Revista EIA*, 6, 145-156. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149212825011>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño de experimentos*. Mexico: McGraw-Hill.
- Hernandez, E., Guadalupe, S., & Guadalupe, R. (2017). Análisis de factibilidad de la implementación de un laboratorio de fabricación digital en la escuela de ingeniería

- Industrial de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad del Salvador. 1-809. San Salvador: Universidad El Salvador. Retrieved from <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/12991/1/An%C3%A1lisis%20de%20factibilidad%20de%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20un%20laboratorio%20de%20fabricaci%C3%B3n%20digital%20en%20la%20Escuela%20de%20Ingenier%C3%ADa%20Industrial%20de%20la%20Facultad%20de%20Ingenier>
- Hernández, r. (2014). *Metodología de la investigación sexta edición*. Mexico: mcgraw-hill / interamericana editores, s.a. de c.v.
- Holy-laser technology. (2020). *Aplicaciones de máquinas láser & impresiones 3D*. Obtenido de <https://hoiylasertechnology.wordpress.com/2019/03/20/corte-laser-o-corte-plasma/>
- Hurtado, F. (2015). Diseño y construcción de una máquina de control numérico por corte co2 láser de 40 watts para acrílico de hasta 4 mm. 3-14. Quito: Universidad Internacional del Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/652/1/T-UIDE-0597.pdf>
- Internacional, M. (2017). Módulo de verificación para fresado y torneado. Axioma Group. Obtenido de <https://www.metalmecanica.com/temas/Modulo-de-verificacion-para-fresado-y-torneado+122060>
- Internacional, M. (2019). Control Táctil TCN 640 para torno fresado. Axioma Group. Obtenido de <https://www.metalmecanica.com/temas/Control-tactil-TNC-640-para-torno-fresado+130040>
- Ion, J. (2015). *Laser processing of engineering materials*. Londres: Elsevier.
- Izar cutting tools . (2017). Recuperado el 8 de Diciembre de 2021, de <https://www.izartool.com/es/>
- LiquiLaser. (2020). Laser C02. Liquid Trade. Recuperado el 6 de Enero de 2021, de [https://liqui-laser.com/inicio/shop/tubos-laser-co2-40w50w60w80w100w130w150w/#:~:text= tubo%20laser%20CO2%20de%20vidrio,fabricante%20\(Garant%C3%ADa%206%20meses\)](https://liqui-laser.com/inicio/shop/tubos-laser-co2-40w50w60w80w100w130w150w/#:~:text= tubo%20laser%20CO2%20de%20vidrio,fabricante%20(Garant%C3%ADa%206%20meses)).
- López, Á., & Parra, P. (2016). Diseño de una Fresadora Router CNC”. 1-133. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/96884/D-CD88459.pdf>
- Maderame. (2015). Corte Láser y Grabado en Madera: Qué es, Ventajas y Desventajas. Maderame. Recuperado el 3 de Enero de 2021, de <https://maderame.com/corte-laser-madera/>

- Marrero, A. (2017). Espacios creativos disruptivos: fab labs en entornos educativos. 1-27. La laguna: Universidad de La Laguna. Retrieved from https://www.academia.edu/34032134/TFM_Espacios_creativos_disruptivos_FAB_LABs_en_entornos_educativos
- Morales, Y. (2019). Los Fablabs y la economía social y solidaria: el caso del Laboratorio de Fabricación Digital de Puebla. 1-25. México: ResearchGate. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/338052256_Los_Fablabs_y_la_economia_social_y_solidaria_el_caso_del_Laboratorio_de_Fabricacion_Digital_de_Puebla_Los_Fablabs_y_la_economia_social_y_solidaria_el_caso_del_Laboratorio_de_Fabricacion_Digital_de_Pue/cit
- Ortíz, J. (2021). *Stanser maquinaria CNC*. Obtenido de <https://www.stanser.com/que-es-un-router-cnc/>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Revista Internacional de Morfología*, 35, 227-232. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>.
- Pdstudio. (2021). *Tipos de perfiles en router cnc*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2021, de <https://www.pdstudio.com.br/post/tipos-de-fresas>
- Pérez, J., & Merino, M. (2017). *Definicion.de*. Obtenido de Definición de automatización: <https://definicion.de/automatizacion/>
- Pérez, A. (2015). Diseño de una cortadora láser cnc de co2 para acrílicos y madera. 1-78. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6371>
- Pineda, J. (2021). *encolombia*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2021, de <https://encolombia.com/economia/economia-intro/manufactura/>
- Revista web de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto. (2016). Deusto Fab Lab, un laboratorio de Fabricación Digital. *Revista Ingeniería*. Obtenido de <https://revistaingenieria.deusto.es/tag/fablab/>
- Rojas, R. (2018). *Estudio de corte láser por CO2 en materiales compuestos: Fibra de vidrio (FV) + Resina Poliéster, Fibra de Vidrio (FV) + Fibra Natural (FN) + Resina Poliéster. (Tesis de Grado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27673/1/Tesis%20I.%20M.%20447%20-%20Rojas%20Moposita%20Rony%20Rub%C3%A9n.pdf>

- Rojas, R. (2018). Estudio de corte láser por co2 en materiales compuestos: fibra de vidrio (fv) + resina poliéster, fibra de vidrio (fv) + fibra natural (fn) + resina poliéster. 11-20. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27673/1/Tesis%20I.%20M.%20447%20-%20Rojas%20Moposita%20Rony%20Rub%C3%A9n.pdf>
- Roland DGA Corporation. (2020). *Roland DGA Corporation*. Obtenido de <https://www.rolanddga.com/es-la/productos/3d/mdx-50-benchttop-cnc-mill>
- Salvador, J. (2019). Materiales que puede cortar cada tipo de cnc. México: Stancer. Recuperado el 3 de Enero de 2021, de <https://www.stanser.com/materiales-que-puede-cortar-cada-tipo-de-cnc/>
- Siemens. (2020). *Fabricación digital*. Recuperado el 2 de Febrero de 2022, de <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/digital-manufacturing/13157>
- Tecnocorte. (2021). Obtenido de <https://tecnocorte.com/blog/fresadora-cnc-calcular-velocidad-de-corte-y-de-avance/>
- Trotec Laser GmbH. (2021). *¿Cómo se determinan los parámetros del láser para cada material?* Recuperado el 12 de Diciembre de 2021, de <https://www.troteclaser.com/es-es/tutorial-es-ejemplos-consejos-parametros-laser-ajustes/>
- Universidad Católica de Cuenca. (2016). Recuperado el 1 de Febrero de 2022, de <https://documentacion.ucacue.edu.ec/items/show/863>
- Vivero, L., & Sánchez, B. (2018). *La investigación documental: sus características y algunas herramientas. Unidades de Apoyo para el Aprendizaje. CUAED/Facultad de Arquitectura-UNAM*. Obtenido de http://132.248.48.64/repositorio/moodle/pluginfile.php/1516/mod_resource/content/3/contenido/index.html

GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Manufactura: Según Pineda (2021), la manufactura es la transformación de materia prima en productos terminados o semiterminados, en el que se requiere la intervención de factores manuales y mecánicos.

Automatización: Pérez & Merino (2017) define como la minimización de la intervención del factor humano en los procesos de producción.

CNC: Control numérico, se define como un sistema de automatización de máquinas operadas por comando programados.

Mecanizado: se considera mecanizado a cualquier operación en el que se elimina material con la finalidad de obtener piezas (Blanco et al., 2018).

Pie de rey: Blanco et al., (2018) define como un instrumento que sirve para medir longitudes tanto interiores como exteriores.

Método DOE: Hernández (2014) define como una técnica estadística, en el que consiste organizar y ejecutar pruebas experimentales con la finalidad de generar datos, y que estos al ser analizados mediante herramientas estadísticas proporcionen resultados que permitan responder a las interrogantes trazadas por el investigador.

Diseño factorial: es un tipo de experimento en el que se manipula más de una variable independiente, con la finalidad de estudiar el efecto que causa sobre las variables de respuesta, además permite analizar las interacciones entre las variables (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Variables de respuestas: es el resultado originado por las variables que el investigador controla (Hernández, 2014).

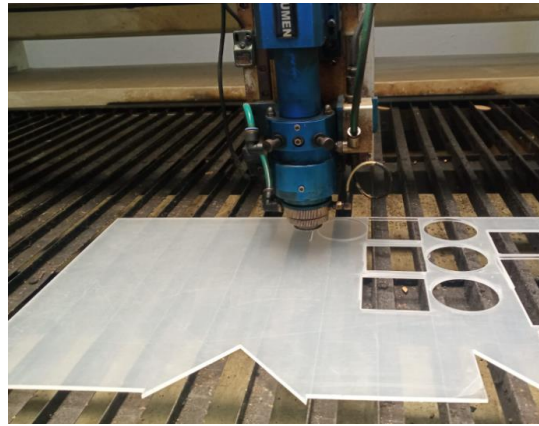
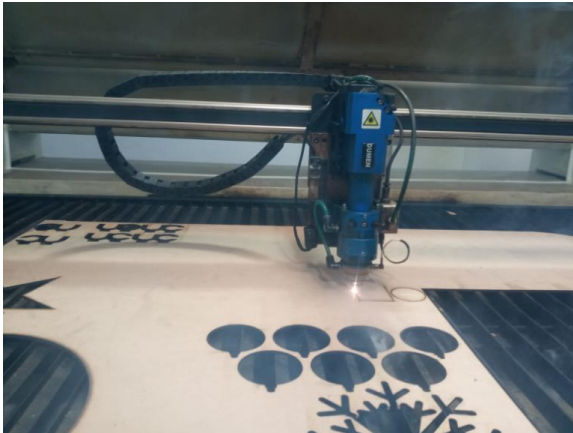
Factores controlables y no controlables: los factores controlables son las variables del proceso que se les puede definir los niveles y los factores no controlables son las que no se pueden manipular durante el proceso.

Niveles: Gutiérrez & De la Varac (2008), denomina niveles a los valores que se establecen a los factores de estudio en un diseño experimental.

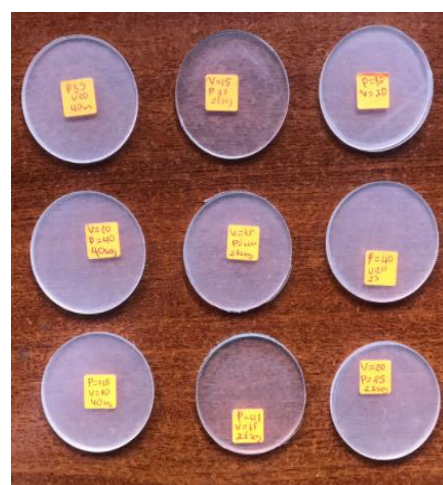
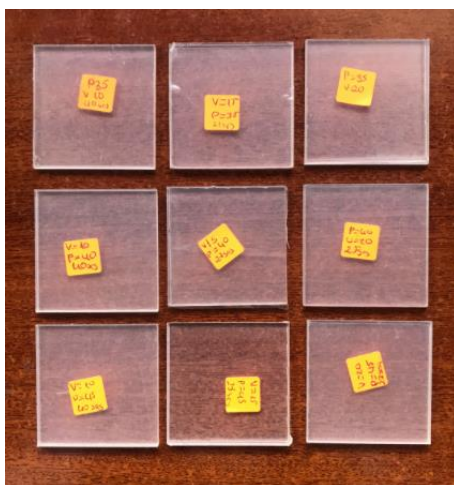
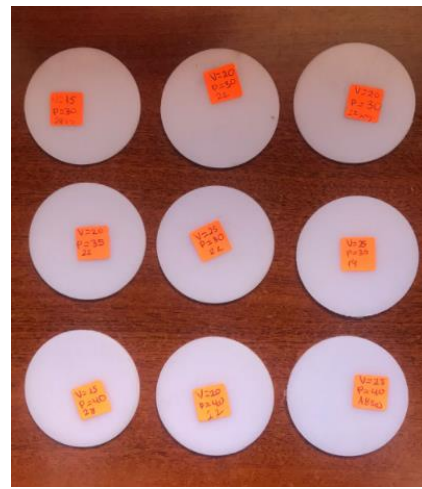
Tratamientos: se define tratamiento o punto de diseño a la combinación de los niveles de los factores estudiados (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

ANEXOS

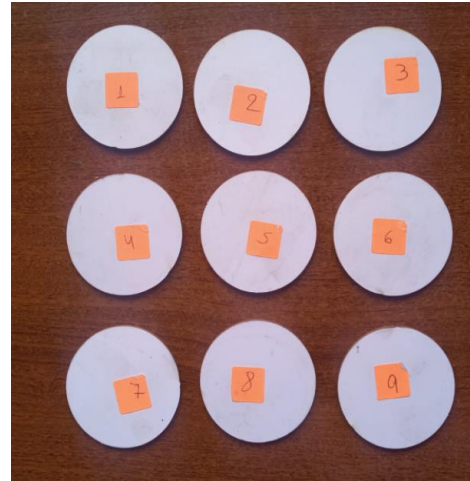
Anexo 1: Fotos de las del proceso de corte láser



Anexo 2: Pruebas experimentales de corte láser







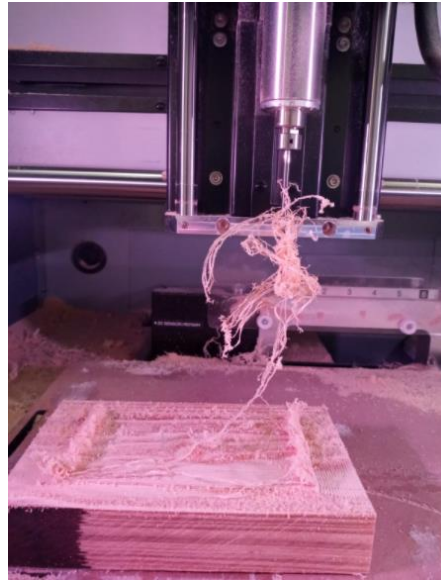
Anexo 3: Herramientas utilizadas para medir la precisión de las probetas



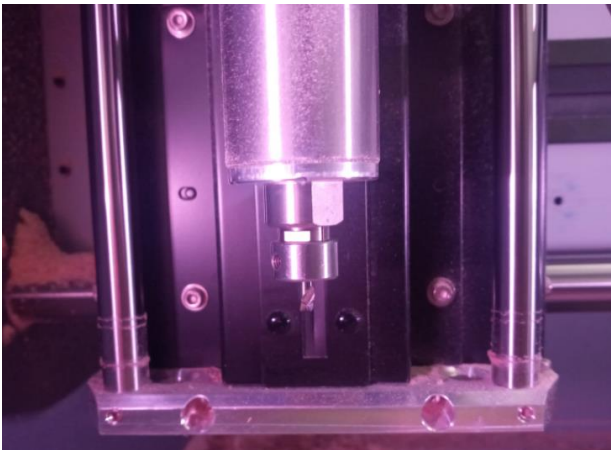
Anexo 4: Herramientas utilizadas en las pruebas experimentales



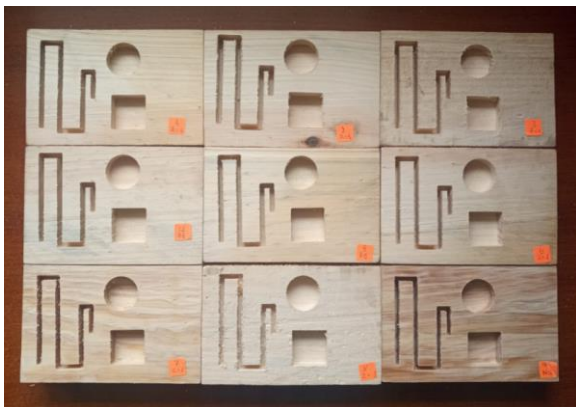
Anexo 5: Fotos de las virutas durante las pruebas experimentales



Anexo 6: Falla durante el proceso de mecanizados



Anexo 7: Fotos de las pruebas experimentales con fresa plana de 3mm y un filo



Anexo 8: Fotos de las pruebas experimentales con fresa plana de 2mm y dos filos



Anexo 9: Fotos de las pruebas experimentales con fresa plana de bola de 3mm y dos filos



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Martha Magdalena Mingo Morocho** portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0106217953. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE USO DE CORTADORA-GRABADORA LÁSER Y ROUTER CNC, CASO DE ESTUDIO FAB LAB UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 31 de marzo de 2022

F: 
Martha Magdalena Mingo Morocho
0106217953