

**ACONDICIONAMIENTO DE UN ROUTER CNC 3020T PARA
FABRICACIÓN DE COMPONENTES EN ALUMINIO.**

Presentado por:

JESÚS ALBERTO ARIZA GIL



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
TUNJA
2020**

**ACONDICIONAMIENTO DE UN ROUTER CNC 3020T PARA
FABRICACIÓN DE COMPONENTES EN ALUMINIO.**

**Presentado por:
JESÚS ALBERTO ARIZA GIL**

**Trabajo de grado para obtener el título
De ingeniero mecánico**

**Director:
Carlos Andrés Aguirre Rodríguez
Ingeniero mecánico**

**Codirector:
Fabián Leonardo Higuera Sánchez
Ingeniero Electromecánico**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
TUNJA
2020**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. MARCO TEORICO	17
4.1 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO	17
4.2 VENTAJAS DE UN SISTEMA CNC	17
4.3 CÓDIGO G	18
4.4 PROGRAMACIÓN MANUAL	19
4.5 PROGRAMACIÓN AUTOMÁTICA	19
4.6 PROGRAMACIÓN POR CICLOS	19
4.7 ROUTER CNC	21
4.7.1 La unidad de control.	23
4.7.2 Los drivers.	23
4.7.3 Los motores.	24
4.7.4 La fuente de poder.	24
4.8 FRESADO	24
4.9 UTILLAJES DE AMARRE PARA FRESADO	25
4.9.1 Amarre por mordaza.	25
4.9.2 Amarre por bridas.	26
4.10 SISTEMAS DE CONTROL LAZO ABIERTO Y CERRADO	27
4.11 INSTRUMENTOS DE CONTROL CNC	28
4.11.1 Sonda para reglaje de la pieza de trabajo	29
4.11.2 Sistema de reglaje y detección de herramientas rotas.	29
4.11.3 Husillos.	30

4.11.4 Autodesk fusión 360.....	31
4.11.5 Autodesk Inventor.....	32
5. ESTADO ACTUAL DEL <i>ROUTER</i> 3020T CNC	33
5.1 PRUEBAS DE RENDIMIENTO	33
5.2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL ESTADO INICIAL ...	34
5.3 PRUEBA EN MADERA	34
5.4 PRUEBA EN ALUMINIO	39
5.5 PRUEBA EN ACERO	42
6. REFORZAR LA ESTRUCTURA DEL <i>ROUTER</i> CNC 3020T	46
6.1 RODAMIENTOS AUXILIARES PARA EL EJE Y	52
6.2 SOPORTES PARA EL PUENTE DEL <i>ROUTER</i> CNC.	53
7. CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.....	54
7.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA EN UNA OPERACIÓN DE FRESADO PERIFÉRICO.	54
7.1.1 Velocidad del husillo.....	54
7.1.2 Avance por diente (F_z).	55
7.1.3 Volumen de material eliminado por minuto.	55
7.1.4 Potencia de corte.	56
7.1.5 Torque.....	57
7.2 SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO	57
8. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE HERRAMENTALES (UTILLAJES).....	61
9. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA CABINA DE MECANIZADO	66
9.1 SISTEMA DE VENTILACIÓN	67
9.2 ILUMINACIÓN	67
9.3 SEGURIDAD	67
9.4 DISEÑO	68
10. ANÁLISIS Y EDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SOFTWARE DE CONTROL (<i>USB CONTROLLER CNC</i>)	69
11. EVALUACIÓN CONVENIENCIA ECONÓMICA.....	74
11.1 COSTOS DIRECTOS	74
11.2 COSTOS INDIRECTOS	76
11.3 COSTO TOTAL DEL PROYECTO	76
11.4 VENTAJAS DEL PROYECTO	77

11.5 DESVENTAJAS DEL PROYECTO.....	78
12. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	79
13. CONCLUSIONES	80
14. BIBLIOGRAFÍA.....	81
15. ANEXOS.....	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Partes de un router CNC.....	22
Tabla 2. Especificaciones técnicas del router 3020t CNC.	33
Tabla 3. Lista de componentes del eje Z.	51
Tabla 4. Variables de un proceso de mecanizado.	54
Tabla 5. Materiales para la construcción de la prensa.....	62
Tabla 10. Costo total del proyecto.	76
Tabla 11. Prueba de rendimiento, maquina acondicionada.	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Router CNC 3020T.	21
Figura 2. Elementos electrónicos de una maquina CNC.	23
Figura 3. Partes de una mordaza manual.	26
Figura 4. Partes de un sistema de amarre por bridas.	27
Figura 5. Sistema en lazo abierto.	28
Figura 6. Sistema en lazo cerrado.	28
Figura 7. Sonda para el reglaje de piezas.	29
Figura 8. Sistema de reglaje para herramientas.	30
Figura 9. Sistema de husillo por correa.	31
Figura 10. Autodesk <i>Fusion</i> 360.	32
Figura 11. Diseño CAD de la hélice de doble aspa.	35
Figura 12. Operaciones de desbaste.	35
Figura 13. Herramienta para el corte de madera con punta recta.	36
Figura 14. Operaciones de acabado.	36
Figura 15. Herramienta para corte de madera con punta redonda.	37
Figura 16. Maquinado de la hélice primera sub-fase.	38
Figura 17. Maquinado completo de la primera sub-fase.	38
Figura 18. Maquinado completo de la hélice de doble aspa.	39
Figura 19. Modelado CAD pieza experimental en aluminio.	39
Figura 20. Operaciones de desbaste.	40
Figura 21. Herramienta de corte para metales blandos.	41
Figura 22. Maquinado en aluminio.	41
Figura 23. Operación de mecanizado en aluminio.	42
Figura 24. Diseño CAD de la polea de transmisión.	43
Figura 25. Operación de desbaste.	43
Figura 26. Maquinado en acero.	44
Figura 27. Maquinado en acero.	45
Figura 28. Translación vertical con carga vertical.	47
Figura 29. Diagrama de cuerpo libre, fuerzas y momentos flectores.	48

Figura 30. Vista isométrica eje Z.....	51
Figura 31. Montaje de la nueva estructura que hace parte del eje vertical (eje z).....	52
Figura 32. Diseño y montaje de los rodamientos auxiliares para el eje longitudinal eje Y.....	52
Figura 33. Soportes para la estructura que conforma el eje x.....	53
Figura 34. Motor eléctrico DC.	58
Figura 35. Diseño del husillo y sistema de transmisión por correa.	58
Figura 36. Montaje del husillo y transmisión por polea.	59
Figura 37. Componentes que conforma el husillo.....	59
Figura 38. Prototipo prensa.	61
Figura 39. Material base.	62
Figura 40. Taladros de fijación.....	63
Figura 41. Taladros laterales.	63
Figura 42. Guías lineales prensa.	64
Figura 43. Guías lineales de la prensa.	64
Figura 44. Ensamble de la prensa e instalación	65
Figura 45. Diseño de la cabina de mecanizado.	68
Figura 46. Configuraciones generales.	69
Figura 47. Configuraciones de setup.	70
Figura 48. Edición de parámetros para Setup.	70
Figura 49. Configuraciones backlash.....	71
Figura 50. Verificación de juego mecánico.	71
Figura 51. Compensación del valor de juego mecánico.	72
Figura 52. Configuración de speed.....	72
Figura 53. Router CNC.	77
Figura 54. Prueba de mecanizado resultados finales.	79

RESUMEN

La investigación realizada es tecnológica y de nivel aplicado, en la que se presenta el proceso de acondicionamiento de una fresadora CNC para la fabricación de componentes de aluminio con un rango de precisión entre 0,1 y 0,5 mm que se determinara por medio de los instrumentos de medición pertinentes. En el proceso de acondicionamiento aplicó una metodología basada en la investigación, el diagnóstico, el análisis técnico y los cálculos pertinentes, con el fin de identificar las principales características que necesitan ser mejoradas en la máquina y teniendo en cuenta su uso final. El proyecto busca asegurar que los equipos tengan la potencia y rigidez necesarias para los procesos de mecanizado, para lo cual se aplican pruebas de desempeño para verificar los requisitos especificados. Para el desarrollo del proyecto se utilizaron programas de diseño CAD y CAM, a partir de este último se programa y genera el código G, que posteriormente es leído por el router CNC. Este proyecto promueve la capacitación en mecanizado y software CAM de estudiantes, programadores y técnicos de servicio, con prácticas dinámicas, las cuales presentan una alta demanda en el país. Así mismo, representa una alternativa para las pequeñas empresas que requieren usar maquinas CNC pero que no poseen grandes recursos de inversión en máquinas de gran tamaño.

INTRODUCCIÓN

La implementación de una máquina fresadora CNC para la fabricación de componentes en diversos materiales a partir de un router CNC, ha sido un tema de estudio e investigación para profesionales en el área de la ingeniería mecánica, así como también lo ha sido para la industria y algunos centros educativos. Los desarrollos en la implementación de este tipo de tecnología se han dado en diversos campos trayendo consigo grandes avances. Como implementación del CNC en prototipos de tornos, fresadoras y rectificadoras, con movimientos en sus tres ejes (X,Y,Z) por medio de control numérico computarizado.

El proyecto se enfoca básicamente hacia el sector de producción de las pequeñas empresas dedicadas a la metalmecánica y la fabricación de componentes bajo pedido. El proyecto pretende identificar los problemas tecnológicos de estas empresas. Para poder mejorar esta situación, se pretende mejorar el proceso de fabricación de piezas complejas de manera repetitiva. Actualmente estas empresas subcontratan la fabricación de estas piezas, lo cual afecta directamente la línea de valor del producto, generando mayores costos y demoras en la fabricación final. Si el sector de producción realiza una inversión a largo plazo, integrando verticalmente a su cadena un sistema de fabricación a través del acondicionamiento de una fresadora CNC, podrá mejorar su cadena productiva. Este proyecto busca impactar el sector empresarial en la industria colombiana y contribuir a la estandarización, especialización y progreso de las compañías que se benefician de este.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La tecnología de procesos por arranque de viruta, en la industria colombiana, no se ha desarrollado al ritmo del desarrollo internacional ya que en muchas de las empresas se produce con tecnología anticuada lo cual provoca altos costes de producción, por consiguiente, limita la productividad y los beneficios de las empresas.

A pesar que en el mercado actual se encuentran gran variedad de proveedores de maquinaria a control numérico computarizado (CNC) las empresas del departamento de Boyacá que se dedican al mecanizado, no adquieren esta tecnología con facilidad ya que la inversión inicial puede llegar a ser mayor con respecto a la maquinaria de tecnología convencional y el personal capacitado para trabajar con esta maquinaria es escaso en la región.

Un ejemplo de lo presentado es la empresa *SAT DIESEL laboratorio* situada en el municipio de Duitama (Boyacá), la cual cuenta con una fresadora CNC especializada en materiales blandos, pero por su falta de rigidez en el sistema estructural, potencia reducida e inadecuada configuración en el software de control, limita la fresadora CNC a efectuar operaciones de mecanizado en metales blandos no ferrosos como el aluminio. La empresa actualmente emplea esta fresadora CNC para grabados de fichas técnicas para maquinaria industrial pero dado el alto índice de competitividad en el mercado de la industria y con el fin de resolver esta problemática se quiere innovar con el objetivo de ser más competitivos, tener una productividad mayor y darle un valor agregado a la empresa.

Dado el elevado precio actual de la maquinaria CNC en Duitama Boyacá, dificulta la adquisición de estas máquinas. En el mercado nacional se

encuentran equipos que cuentan con las características técnicas requeridas para las operaciones de maquinado en aluminio a bajo costo, pero su valor es elevado respecto a la fresadora CNC con que actualmente cuenta la empresa.

Las problemáticas anteriormente planteadas hacen que se planteen nuevas alternativas a la compra de un nuevo equipo con elevados costos ya que la empresa no cuenta con la capacidad de hacer dicha inversión, optando por la innovación y acondicionamiento de equipos para el aprovechamiento de los recursos con que cuenta la empresa.

2. JUSTIFICACIÓN

La empresa SAT DIESEL laboratorio ofrece, el servicio de maquinado de piezas mecánicas especiales bajo requerimiento del cliente, estas piezas se fabrican por unidad requerida, lo cual se traduce en un nivel de producción muy bajo y con un costo elevado. Según “Para hacer frente a la competencia del extranjero, los fabricantes deben producir productos de una calidad más alta, y al mismo tiempo mejorando el rendimiento sobre el capital invertido y reduciendo los costos de manufactura y de mano de obra. Estos factores son suficientes para justificar el uso del CNC y automatizar las plantas de producción.”¹ Por esto la empresa se ha visto la necesidad de comprar una fresadora CNC tipo *router* modelo 3020t y acondicionarla para la fabricación de elementos mecánicos en aluminio. Es en este punto donde los conocimientos adquiridos como estudiante de ingeniería mecánica se pueden aplicar para el estudio, análisis y desarrollo de los diversos componentes que se requieren para el acondicionamiento de esta máquina.

Este trabajo de investigación apoyará a empresa SAT DIESEL laboratorio con el acondicionamiento de una fresadora CNC 3020t de bajo costo. Busca proporcionar información que sea útil a toda la comunidad educativa para apropiarse el conocimiento sobre este tipo de tecnología y aplicarlo en el ámbito educativo e industrial.

Debido a que no se cuenta con suficientes estudios sobre el acondicionamiento y la mejora de equipos con tecnología CNC, el presente trabajo es conveniente para afianzar conocimiento sobre el funcionamiento y el comportamiento de una fresadora CNC tipo *router* bajo las diferentes

¹ Smid, S. F.-A.-P. (2009). Tecnología de las Maquinas Herramientas . Mexico : Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Mexico.

condiciones de mecanizado como lo son; el taladrado, contorneado y planeado.

Por otra parte, la investigación contribuye a implementar nuevas estrategias de mecanizado que se pueden aplicar en máquinas herramientas de pequeña escala a bajo costo, para compáralos con otros estudios realizados en este tema y analizar las posibles variables según el diseño, sistemas de control y potencia de la máquina herramienta.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Acondicionar un *router* CNC 3020t para la fabricación de componentes en aluminio.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el estado inicial (estado base) del *router* CNC 3020t para determinar las condiciones en las que trabaja.
- Reforzar la estructura del *router* CNC 3020t de manera que cuente con la rigidez necesaria para efectuar procesos de mecanizado en aluminio.
- Calcular e implementar un sistema de transmisión de potencia en el husillo para cumplir con los nuevos requerimientos técnicos.
- Diseñar y fabricar una cabina para aislar el proceso de mecanizado.
- Diseñar y fabricar un sistema de herramentales (utillajes) que permita la sujeción de piezas cilíndricas y cúbicas.
- Analizar y modificar parámetros del software de control (USB *Controller* CNC) para su mejor comportamiento.
- Evaluar la conveniencia económica del proyecto frente a una máquina CNC con similares características.

4. MARCO TEORICO

4.1 CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO

El control numérico por computadora CNC y la computadora han aportados cambios significativos a la industria metalmecánica, como nuevas máquinas-herramientas, en combinación con CNC, que le permiten a la industrial producir de manera consistente componentes y piezas con precisiones imposibles de imaginar hace solo unos cuantos años. Si el programa ha sido apropiadamente preparado, y la máquina ha sido puesta a punto correctamente, se puede producir la misma pieza con el mismo grado de precisión. Los comandos de operación que controlan la máquina-herramienta son ejecutados automáticamente con una velocidad, eficiente, precisión y capacidad de repetición².

La aplicación de sistemas de CNC en las máquinas-herramienta ha favorecido la industria manufacturera, al tiempo que ha hecho posible efectuar operaciones de maquinado de gran dificultad en máquinas convencionales, por ejemplo, la realización de superficies esféricas manteniendo un elevado grado de precisión dimensional. Por lo tanto, el uso de CNC incide favorablemente en los costos de producción al propiciar costes bajos en la fabricación de muchas máquinas, mejorando su calidad.

4.2 VENTAJAS DE UN SISTEMA CNC

El CNC ha crecido con una velocidad cada vez más rápido y su uso seguirá creciendo dadas las muchas ventajas que le ofrece a la industria. En la

² Smid, S. F.-A.-P. (2009). Tecnología de las Maquinas Herramientas . Mexico : Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Mexico

siguiente lista se nombran algunas de las ventajas de mayor importancia del CNC³.

1. Mayor seguridad del operador.
2. Mayor eficiencia del operario
3. Reducción de desperdicio.
4. Tiempos de entrega más cortos para la producción.
5. Reducción del error humano.
6. Elevado grado de precisión.
7. Operaciones complejas de máquina.
8. Menores costos de herramental.
9. Aumento de producción.
10. Menor inventario de cosas.
11. Mayor seguridad de la máquina-herramienta.
12. Necesidad de una menor inspección.
13. Mayor uso de la máquina.
14. Menores requerimientos de espacio.

4.3 CÓDIGO G

En los inicios de la programación de máquinas CNC se utilizaba un lenguaje de bajo nivel denominado G, el cual es un lenguaje de programación vectorial por el cual se describen acciones simples, dicho lenguaje está acompañado de entidades geométricas sencillas, básicamente segmentos de recta y arcos de circunferencia.

El nombre G proviene del hecho de que el programa está formado por instrucciones generales. En la actualidad existen diferentes adaptaciones de programación con códigos G, pero gracias al estándar ISO 6983 / EIA

³ Smid, S. F.-A.-P. (2009). Tecnología de las Maquinas Herramientas . Mexico : Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Mexico

RS274 el código puede ser empleado en distintas máquinas CNC de manera directa o con ajustes menores⁴.

Ejemplo: Las siguientes líneas ordenan a una fresadora que ejecute en la línea de código N100 un desplazamiento a velocidad controlada 500 mm/min a lo largo del eje X 70 mm y en el eje 90 mm.

N100 G01 X70 Y90 F500

4.4 PROGRAMACIÓN MANUAL

En el caso de programación manual, el programa pieza se escribe únicamente por medio de razonamientos y cálculos que realiza el operario de la máquina. El programa de mecanizado está conformado por la serie de datos que el control necesita para la mecanización de la pieza a fabricar.

4.5 PROGRAMACIÓN AUTOMÁTICA

En este caso, los cálculos los realiza un software CAM o el controlador, que suministra en su salida el programa de la pieza en el lenguaje de la máquina el cual es procesado por el controlador CNC.

4.6 PROGRAMACIÓN POR CICLOS

Cuando se habla de ciclos se refiere a la repetición de determinadas secuencias del programa que por sí solas constituyen un patrón de

⁴ JIMÉNEZ, F. A. (2019). Prototipo multipropósito fresadora cnc e impresora volumétrica.

mecanizado que se repite en varias ocasiones a lo largo de la pieza de trabajo.

Una forma de programar por ciclos inicialmente es por el salto incondicional “G25”, y la sub-rutina estándar “G20, G22, G24”. Con el salto incondicional se puede repetir las secuencias de mecanizado elegidas, repitiendo tantas veces como se quiera, teniendo en cuenta que:

- Se repite uno o varios bloques de programación escritos en el programa, G25 N20.70
- Repetirlas significa que ya se habían procesado al menos una vez, cuando se ejecutan los bloques.
- Se habían procesado porque se programaron en éste programa antes de poder repetirlos.

Utilizando la subrutina estándar también podemos repetir las veces que queramos, pero las diferencias son:

- Una subrutina estándar se comporta como un programa, y tiene su número de identificación que puede ser de máximo tres dígitos, es decir desde el N000 hasta el N999.
- No se ejecuta hasta que no sea llamada directamente por su número, G20 N345
- No se ejecuta hasta que no sea llamada directamente por su número, G20 N345

Por ello, si esa secuencia de mecanizado se ha de repetir en otras piezas, lo más interesante puede ser utilizar subrutinas, mientras que si esa secuencia se repite solo en una pieza usaremos el salto incondicional⁵.

4.7 ROUTER CNC

El *router* CNC es una máquina- herramienta muy útil cuando se trata de esculpir, fresar, cortar materiales como madera y una amplia variedad de materiales blandos, tales como acrílicos, MDF o ciertos metales como el aluminio, PVC, latón, bronce, cartón, entre otros. Una manera práctica muy utilizada es el corte y grabado como en la fabricación de muebles, perfilada de cantos, y tallada de maderas⁶. En la Figura 1, se muestra un modelo de *router* CNC.

Figura 1. Router CNC 3020T.



Fuente: GADGETBRO. 2019.

El CNC *router* consiste en un eje de accionamiento vertical que sujeta un motor movido por 3 motores ubicados de tal forma que le permita moverse en los ejes x, y, z. Debido a ello, es catalogada como una de las máquinas más versátiles para el corte en dos y tres dimensiones sobre cualquier tipo

⁵ CNC DIY. (2019). Obtenido de <https://cnctdiyblog.wordpress.com/2017/04/09/titulo-de-la-entrada-de-blog/>

⁶ SIDEKO. (2018). *Sistemas de corte*. Obtenido de ¿Qué es un Router CNC? Obtenido de <https://sideco.com.mx/que-es-un-router-cnc/>

de superficie. Se logra diseños e ideas ejecutados que antes solo era posible en papel o mediante un trabajo artesanal que toma mucho tiempo.

Las partes más importantes que conforman un *router* CNC son las siguientes de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Partes de un router CNC.

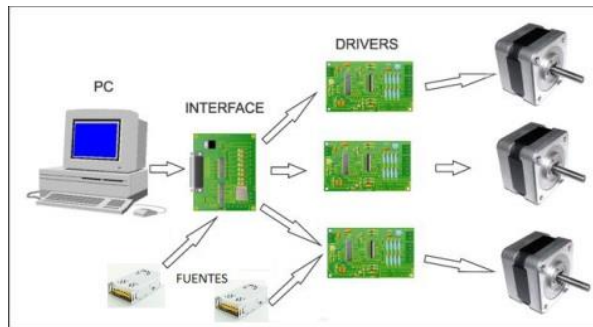
Numeración	Definición
1	Sistema de control
2	Husillo
3	Motores paso a paso
4	Puente Y
5	Bancada
6	Base

Fuente: Elaboración propia.

Los componentes eléctricos son los encargados de coordinar y ejecutar el movimiento de la máquina CNC, interactuar con el usuario, recibir y enviar datos. A continuación, se listan los elementos eléctricos y electrónicos más importantes de una maquina CNC y se presentan en la Figura 2.

- Unidad de control de la maquina (MCU)
- Los drives
- Motores
- Fuente de poder.

Figura 2. Elementos electrónicos de una maquina CNC.



Fuente: CNC DIY. 2019.

4.7.1 La unidad de control. De la máquina es el centro del sistema CNC y tiene dos subunidades la de procesamiento de datos (DPU) y la unidad de bucle de control (CLU). Cuando se recibe la programación del trabajo a realizar una pieza, la DPU interpreta y codifica transformándolo en códigos internos de la máquina para luego calcular las posiciones del movimiento en términos de BLU (Basic length Unit) que corresponde a la longitud de unidad más pequeña que puede ser manejada por el controlador. Los datos de la DPU se convierten en señales eléctricas que sirven para accionar y realizar los movimientos necesarios⁷.

4.7.2 Los drivers. Son componentes que se encargan de recibir señales del controlador y luego de estabilizarlas retransmitirlas directamente a los motores, considerando que sólo se debe usar un Drive por cada motor. De esta manera se envía la corriente suficiente a los motores, lo cual permite controlar la velocidad de movimiento y dirección de giro.

⁷ CNC DIY. (2019). Obtenido de <https://cncdiyblog.wordpress.com/2017/04/09/titulo-de-la-entrada-de-blog/>

4.7.3 Los motores. Son los encargados de darle movimiento a los ejes de la máquina CNC.

4.7.4 La fuente de poder. Sirve para proveer corriente eléctrica tanto a la interfaz, como a los motores. La mayoría de las interfaces disponibles en el mercado funcionan con 5 V y los Drivers funcionan desde los 12 hasta los 80 V dependiendo de la marca y modelo por lo que se puede usar una, dos o más fuente.

Los sistemas de Control CNC es la solución a aquellas máquinas que exigen grandes precisiones o que requieren funcionalidades de gran precisión, logrando piezas de calidad increíble. Estos sistemas de control no solo han conseguido que la máquina herramientas aumentara su productividad, sino que también ha reducido los tiempos de edición de las piezas a realizar.

4.8 FRESADO

Es un Proceso de maquinado en el que se remueve material de manera intermitente donde la pieza y herramienta pueden asumir diferentes movimientos, facilitando la producción de una gran variedad de formas con buena calidad de acabados superficiales⁸. Contorneado, fresado frontal, fresado por penetración y fresado en rampla.

El fresado es proceso mediante el cual se corta un material con una herramienta rotativa que consta de varios filos, llamados dientes, plaquitas o labios. Esta herramienta puede moverse en casi todas las direcciones,

⁸ AGUILAR, J. (2013). *Fresado*. Obtenido de http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro_ma/11.pdf

dentro de los tres ejes en los que la mesa puede desplazarse. Dadas las diferentes necesidades que hay en los distintos tipos de producción, hay una gran variedad de fresas, cada una de las cuales tiene sus propias especificidades⁹. A continuación, se lista los tipos de herramienta más utilizados en el mecanizado por fresado.

- Cortador de base plano.
- Cortador de base redonda.
- Cortador porta insertos.
- Cortador para ranurado.
- Broca para perforar.
- Broca de centros.
- Machuelo.

4.9 UTILLAJES DE AMARRE PARA FRESADO

Es el conjunto de herramientas o utensilios que se emplean en una máquina herramienta. Se usan para mejorar la ejecución de las operaciones dentro del proceso de fabricación a través del posicionamiento y sujeción de piezas a un sistema de referencia para realizar acciones de mecanizado de distintas características.

4.9.1 Amarre por mordaza. Las mordazas o prensas son el utillaje más usado en las operaciones de fresado, sirven para amarrar la pieza por dos de sus lados. Cuando la pieza es prismática, es el amarre más firme, pero si tienen otras formas, se puede adaptar las bocas más adecuadas. Las

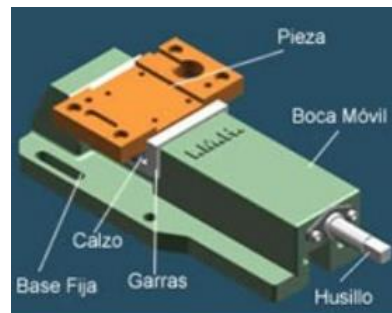
⁹ MACALUX. (s.f.). Obtenido de <https://www.logismarket.com.ar/herramientas-fresadoras/1449439314-cp.html>

mordazas más habituales son las fijas, aunque también las hay orientables. Tras amarrar la pieza, se deberá verificar con un reloj comparador y posteriormente se debe ajustar.

Hablando de manera general se encuentran en el mercado dos tipos de mordazas que son las manuales y las automáticas.

Las mordazas manuales usualmente son utilizadas en fresadora convencional y centros de mecanizado, la fuerza de montaje viene dado por el operario y como ventajas se tiene una preparación robusta. Por otra parte, las mordazas automáticas son usualmente empleadas en aplicaciones de máquinas CNC y controladas por él, la fuerza de montaje proviene de sistemas hidráulicos o neumáticos. A continuación, se muestra las partes principales de una mordaza tipo manual véase en la Figura 3.

Figura 3. Partes de una mordaza manual.



Fuente: SLIDE PLAYER .2015.

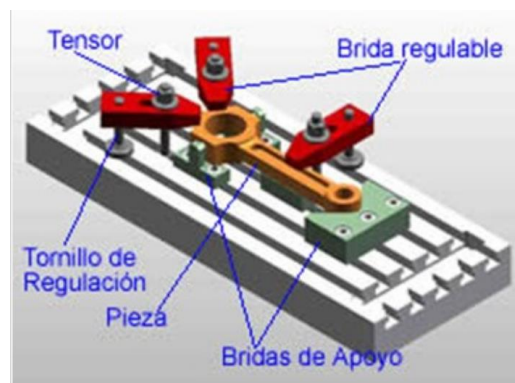
4.9.2 Amarre por bridas. Es uno de los montajes especiales de la fresadora, se utiliza para amarrar piezas especiales o piezas difíciles de amarrar por otro tipo de montaje. En el montaje por medio de bridas se apoya la pieza sobre la mesa o sobre calzos, si la pieza tiene alguna

superficie mecanizada, puede servir como superficie de referencia, haciendo que se apoye perfectamente sobre la mesa.

Para mecanizar correctamente la pieza, hay que comprobar el paralelismo entre las superficies de la pieza y el desplazamiento de la mesa con ayuda de un reloj comparador.

En la siguiente Figura 4, se muestra las principales piezas y componentes de un sistema de amarre por bridas.

Figura 4. Partes de un sistema de amarre por bridas.



Fuente: SLIDE PLAYER. 2015.

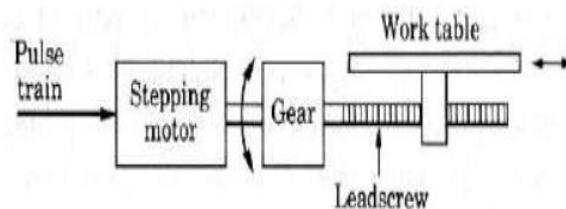
Este sistema se emplea en la sujeción de piezas especiales, como desventajas presenta un montaje delicado ya que puede presentar fácilmente colisiones.

4.10 SISTEMAS DE CONTROL LAZO ABIERTO Y CERRADO

En los sistemas de lazo abierto la mesa puede sobre pasar o no alcanzar la posición deseada debido a cambios en la inercia (juego mecánico),

desgastes y/o fricción. En la siguiente Figura 5, se muestra el esquema de un sistema en lazo abierto.

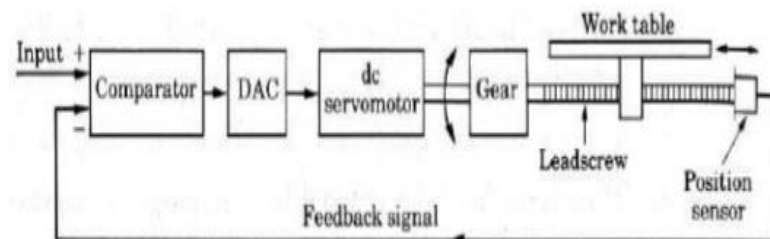
Figura 5. Sistema en lazo abierto.



Fuente: SLIDE SHARE. 2014.

En la Figura 6, se muestra los sistemas en lazo cerrado, los sensores de posición permiten corregir el movimiento de la mesa y conseguir una mayor precisión y repetitividad.

Figura 6. Sistema en lazo cerrado.



Fuente: SLIDE SHARE. 2014.

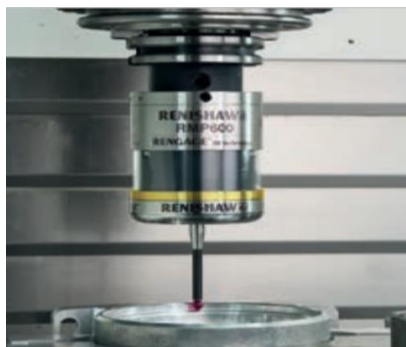
4.11 INSTRUMENTOS DE CONTROL CNC

Los sistemas de inspección para centros de mecanizado CNC y tornos pueden utilizarse para la identificación y el ajuste de piezas, para medir superficies en ciclos para mecanizado de adaptación, controlar la condición

de la superficie y verificar las dimensiones de los componentes mecanizados en tiempo real, entre ellos se pueden encontrar los siguientes.

4.11.1 Sonda para reglaje de la pieza de trabajo. Las sondas para montaje en el cabezal se utilizan en las mediciones durante el ciclo y en las primeras inspecciones. Las galgas manuales dependen de la preparación del operario y es necesario retirar las piezas de la Máquina-Herramienta, por lo que no es el método más práctico. Para ello se ha investigado y desarrollado sistemas automáticos los cuales están en constante comunicación con el sistema de control de la máquina, corrigiendo el palpado de la pieza. En la Figura 7, se muestra una sonda para el reglaje de piezas de trabajo.

Figura 7. Sonda para el reglaje de piezas.



Fuente: RENISHAW. 2007.

4.11.2 Sistema de reglaje y detección de herramientas rotas. En la Figura 8, se muestra el sistema de regla el cual sirve para el ajuste y compensación de herramientas de corte de manera que elimina la diferencia entre la medida tomada por el operario y la medida censada por el sistema obteniendo así unas dimensiones de la herramienta reales.

De no ser por el sistema de reglaje, la máquina podría, por ejemplo, seguir funcionando con una zona de corte rota y provocar unos resultados desastrosos. Además, puesto que la detección de herramientas rotas es automática, un solo operario puede manejar fácilmente las dos máquinas.

Figura 8. Sistema de reglaje para herramientas.



Fuente: RENISHAW. 2007.

A continuación, se listan algunas de las ventajas y características que estos sistemas de sondeo automático favorecen en su aplicación.

- Ahorro significativo de tiempo
- Reglaje automático de longitud y diámetro de herramientas
- Elimina los errores de reglaje manual
- Detección de herramientas dañadas durante el proceso

4.11.3 Husillos. Los husillos utilizan tecnología de servomotores digitales de cerrado para proporcionar un control de la velocidad preciso y el máximo rendimiento durante los trabajos de mecanizado de piezas grandes.

Existen tres tipos de accionamiento o sistemas de transmisión de potencia estos son; Accionamiento directo, accionamiento por corea y

accionamiento por engrane. La aplicación difiere en las prestaciones y operaciones de mecanizado a las que se van a someter. En la Figura 9, se muestra un sistema de husillo por correa uno de los más aplicados en máquinas herramientas porque proporciona una buena combinación de par y rpm para una gama amplia de operaciones de mecanizado.

Figura 9. Sistema de husillo por correa.

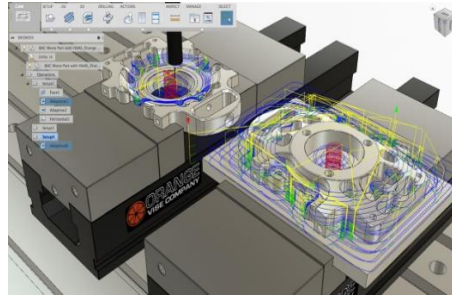


Fuente: HAAS FACTORY OUTLET. 2019.

4.11.4 Autodesk fusión 360. *Fusion 360* de Autodesk es un software CAD/CAE/CAM basado en la nube, que integra el diseño de producto, ingeniería, manufactura, es ideal para diseñadores *freelancers*, estudiantes y personas con negocio propio. *Fusion 360* utiliza la técnica de modelado directo, sin árbol de operaciones, tiene herramientas de modelado libre 3D para diseño industrial, sólidos y paramétricos para diseño mecánico y manejo de mallas trianguladas para interactuar con modelos escaneados. Integra funciones de ingeniería como traducción de datos, modelado de ensambles. Revisión de movimiento cinemático y visualización tipo render. Además, Contiene herramientas de creación de dibujos, cotas y notas para taller y fabricación, importación y exportación de datos CAD, utilerías de exportación a impresión 3D, maquinado fresado y torno en 2D y 3D en conjunto con su simulación de recorrido de herramienta y remoción de

material. En la Figura 10, se muestra el entorno de trabajo del software *Fusion 360*.

Figura 10. Autodesk *Fusion 360*.



Fuente: 3D CAD PROTAL. 2015.

El aprendizaje de *Fusion 360* es en línea, la aplicación es intuitiva y supone que puedes iniciar creando formas casi de inmediato. Existe una comunidad de usuarios que se apoyan en el uso de esta aplicación, la forma de almacenaje de los diseños es en la nube, con comandos de auto backup y seguridad.

4.11.5 Autodesk Inventor. El software CAD 3D *Autodesk Inventor* ofrece un conjunto de herramientas fáciles de usar para diseño mecánico en 3D, documentación y simulación de productos. Es la herramienta ideal para diseño de detalle de dispositivos mecánicos de alta ingeniería, ya que logra validar los prototipos digitales por medio de análisis de elementos finitos y simulación dinámica. Optimiza la etapa de diseño de producto, validando el correcto funcionamiento de los elementos y permitiendo la parametrización de variables de validación, para la mejora constante¹⁰.

¹⁰ IAC. (2019). Obtenido de <https://www.iac.com.co/autodesk-inventor-2/>

5. ESTADO ACTUAL DEL ROUTER 3020T CNC

El proyecto inicia con la recolección de las especificaciones técnicas del router ya que juegan un papel importante en la ejecución de las pruebas correspondientes al estado inicial, a continuación se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del router 3020t CNC.

Componente	Referencia
Recorrido de trabajo efectivo	200 (X) mm * 300(Y) mm * 50 (Z) mm
Materiales de la estructura	aleación de aluminio 6063 y 6061
Tornillo de avance	tornillos trapezoidales de doble rosca 1204
Precisión de repetición	0.1 mm
Tipo de motor paso a paso	JK57HS41-2004XB-01 AF
Motor del husillo	300w DC
Pinza del husillo	ER11
Velocidad del husillo:	500 ~ 11000 rpm
Interfaz de comunicación	USB
Unidades deslizantes eje X	Dia.16mm ejes de placa de cromo
Unidades deslizantes Eje Y	Dia.16mm ejes de placa de cromo
Unidades deslizantes Eje Z	Dia. 12mm ejes de placa de cromo
Peso de la máquina	28KG
Materiales de trabajo	MDF, PVC, acrílico, circuitos impresos

Fuente: Elaboración propia.

5.1 PRUEBAS DE RENDIMIENTO

Las pruebas de rendimiento se realizan mediante un protocolo de comunicación CAM y diseño de las piezas o modelos CAD los cuales se usaron para el proceso de mecanizado, en los diferentes materiales como

los son; madera, aluminio y acero, además cabe mencionar que se realiza una programación diferente para cada material.

5.2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DEL ESTADO INICIAL

A partir de la geometría CAD en cada prueba se realiza lo siguiente:

- Diseñar y realizar el programa en CAM la fabricación de la pieza.
- Generar programa CNC compatible con la máquina.
- Ejecutar el programa de fabricación en la máquina. Consiguiendo que la pieza realizada este dentro de las especificaciones del modelo CAD.

5.3 PRUEBA EN MADERA

La primera prueba consiste en el maquinado de una pieza en madera de pino, que para este caso como se muestra en la Figura 11, se diseña en Fusión 360 una hélice de doble aspa con las siguientes dimensiones:

- Ancho: 24 mm.
- Largo: 170 mm.
- Espesor: 9.8 mm.

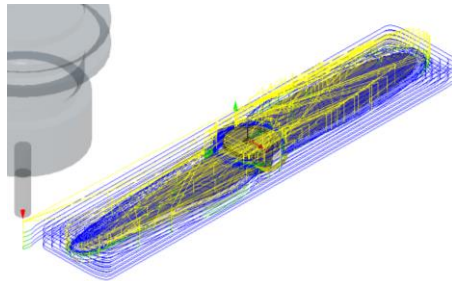
Figura 11. Diseño CAD de la hélice de doble aspa.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se programa en Fusión 360 las operaciones de desbaste que implica el mecanizado de la hélice, generando las trayectorias que va a seguir la herramienta como se puede apreciar en la Figura 12.

Figura 12. Operaciones de desbaste.



Fuente: Elaboración propia.

Para las operaciones de desbaste se programó los siguientes parámetros enlistados a continuación, cabe resaltar que fueron consideradas las capacidades técnicas del router 3020t CNC.

- $S = 9\,000\text{ RPM}$
- $F = 300\text{ mm/min}$

- $a_p = 1 \text{ mm}$
- $a_e = 2.5 \text{ mm}$
- *Tiempo de operacion: 40 min*

Para la operación de desbaste se emplea un escariador para el corte de madera de punta recta que cuenta con dos filos como se puede ver en la Figura 13.

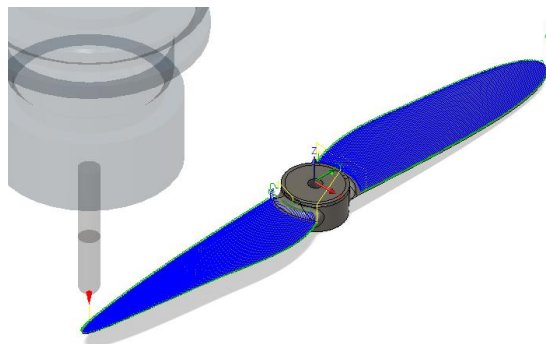
Figura 13. Herramienta para el corte de madera con punta recta.



Fuente: TOOLS, Melami. 2020.

En la siguiente Figura 14, se muestra las operaciones de acabado para cada una de las dos aspas.

Figura 14. Operaciones de acabado.



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la operación de acabado se tiene en cuenta el cambio de herramienta, debe ser adecuada para la ejecución del maquinado, a continuación se menciona los parámetros más relevantes:

- $S = 10\,000\text{ RPM}$
- $F = 500\text{ mm/min}$
- $a_p = 0.5\text{ mm}$
- $a_e = 0.3\text{ mm}$
- *Tiempo de operación: 15 min*

En la operación de acabado es necesario una herramienta con el perfil apropiado para incidir y seguir la silueta de las aspas, para esto se opta por un escariador con punta redonda de dos filos de corte como se muestra en la Figura 15.

Figura 15. Herramienta para corte de madera con punta redonda.



Fuente: DENTALTIX. 2020.

Se procede al montaje del material a la bancada del router a la orientación programada en Fusión 360 con sus respectivos utillajes de sujeción y el acople de las herramientas tanto de desbaste como de acabado en el

orden correspondiente, de esta forma se puede determinar el punto de referencia y ejecutar el programa como se puede ver en la Figura 16.

Figura 16. Maquinado de la hélice primera sub-fase.



Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se tiene la primera sub-fase del maquinado de la hélice como se muestra en la Figura 17.

Figura 17. Maquinado completo de la primera sub-fase.



Fuente: Elaboración propia.

Para la segunda sub-fase se realiza el mismo procedimiento correspondiente al montaje de la pieza y de la herramienta de corte llevados a cabo anteriormente, se tiene en cuenta una cara de referencia para la orientación de las trayectorias ya programadas en fusión 360, en la Figura 18, se puede apreciar el maquinado completo de la hélice de doble aspa.

Figura 18. Maquinado completo de la hélice de doble aspa.



Fuente: Elaboración propia.

La prueba realizada determina que si bien hay algunas falencias en el router como la falta de potencia en el husillo, con los parámetros adecuados se logra mecanizar madera, de manera que, no sobre cargue el husillo, la estructura no se doblegue bajo la fuerza del maquinado y la integridad de la herramienta se mantenga. Sin embargo teniendo en cuenta lo mencionado, la fabricación de la pieza no es rentable ya que el ciclo de maquinado es extenso por lo que hace que el maquinado ejecutado en el equipo sea limitada y costoso.

5.4 PRUEBA EN ALUMINIO

La segunda prueba consiste en hacerle un maquinado situado en la parte superior a una pieza fabricada en aleación de aluminio, de manera que se procede al modelamiento CAD de la misma como se puede ver en la Figura 19.

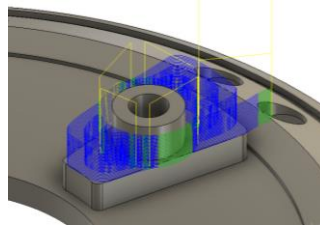
Figura 19. Modelado CAD pieza experimental en aluminio.



Fuente: Elaboración propia.

Se programa en Fusión 360 la operación de desbaste correspondiente a la zona donde se desea el maquinado como se puede apreciar en la Figura 20, teniendo en cuenta, que el maquinado se realiza en una pieza prefabricada se debe considerar el punto de origen y la orientación de la herramienta en esa zona.

Figura 20. Operaciones de desbaste.



Fuente: Elaboración propia.

Para la operación de maquinado se programaron los siguientes parámetros enlistados a continuación, Vale la pena resaltar que fueron consideradas las capacidades como de potencia y rigidez del router 3020t CNC, por ello no se tienen en cuenta los parámetros recomendados para este tipo de material y si los experimentales.

- $S = 10\,000\text{ RPM}$
- $F = 100\text{ mm/min}$
- $a_p = 1\text{ mm}$
- $a_e = 0.2\text{ mm}$
- *Tiempo de operacion: 58 min*

Para la operación de desbaste se empleó una herramienta de acero rápido para el corte de metales blandos con punta recta que cuenta con 4 filos como se puede ver en la Figura 21.

Figura 21. Herramienta de corte para metales blandos.



Fuente: Tienda online.

Se procede al montaje de la pieza a la bancada del router alineada con la orientación programada en Fusión 360, con sus respectivos utillajes de sujeción y el acople de la herramienta al husillo de tal manera que se pueda determinar el punto de referencia y ejecutar el programa como se puede ver en la Figura 22.

Figura 22. Maquinado en aluminio.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 23, se puede apreciar los resultados del maquinado completo en la pieza en aluminio.

Figura 23. Operación de mecanizado en aluminio.



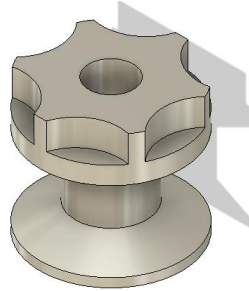
Fuente: Elaboración propia.

La prueba realizada determina que el *router* presentan algunas falencias en el router en cuanto a operaciones de maquinado en aluminio. Con los parámetros experimentales se logra realizar la operación descrita en la prueba, de manera que, no sobre cargue el husillo, la estructura no se doblegue bajo la fuerza del maquinado y la integridad de la herramienta se mantenga. Sin embargo teniendo en lo anterior, en algunos puntos o segmentos del maquinado se genera vibración excesiva y por lo tanto también ruido, esto debido a que el router no cuenta con la rigidez estructural para ejecutar operaciones en metales blandos como aluminio.

5.5 PRUEBA EN ACERO

La tercera prueba consiste en hacerle unas muescas situadas en la parte superior a una polea de un sistema de transmisión de una máquina de coser fabricada en acero, de manera que se procede al modelamiento CAD de la misma como se puede ver en la Figura 24.

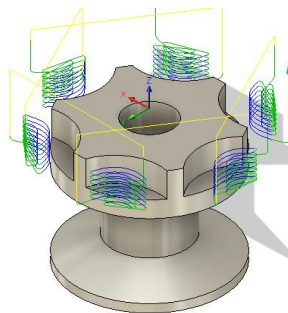
Figura 24. Diseño CAD de la polea de transmisión.



Fuente: Elaboración propia.

Se programa en Fusión 360 la operación de desbaste correspondiente a la zona o muescas donde se desea el maquinado como se puede apreciar en la Figura 25.

Figura 25. Operación de desbaste.



Fuente: Elaboración propia.

Para la operación de maquinado en acero se programa los parámetros enlistados a continuación, en esta prueba se somete a condiciones no optimas de trabajo para el router 3020t CNC ni para la herramienta, por ello no se tiene en cuenta los parámetros recomendados para el corte de acero, tampoco los recomendados por el fabricante para la herramienta, se tuvieron en cuenta los experimentales.

- $S = 10\,000\text{ RPM}$
- $F = 40\text{ mm/min}$
- $a_p = 1\text{ mm}$
- $a_e = 0.1\text{ mm}$
- *Tiempo de operacion: 18 min*

Se procede al montaje de la polea a la bancada del router de tal manera que coincida a la orientación programada en Fusión 360, con sus respectivos herramentales de sujeción. Para esta prueba se usa un cortador de acero rápido similar al que se empleó en la prueba de corte de aluminio, se monta en el husillo y así se procede a la ejecución del programa como se puede ver en la Figura 26.

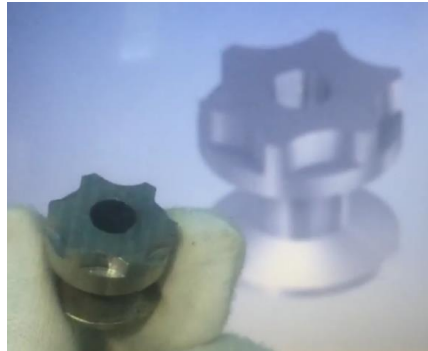
Figura 26. Maquinado en acero.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 27, se muestra la operación de maquinado completa de las muescas alrededor de la polea.

Figura 27. Maquinado en acero.



Fuente: Elaboración propia.

Con los parámetros experimentales se logra realizar la operación descrita en la prueba, de manera que, no sobrecargue el husillo y la estructura no sufra demasiada holgura provocada por la fuerza del maquinado. Sin embargo teniendo en cuenta lo anterior, la herramienta sufrió un desgaste significativo debido al uso de altas revoluciones, la falta de líquido refrigerante, además se empleó solo la punta del cortador lo que focaliza aún más el desgaste de la herramienta. En algunos segmentos del maquinado se genera vibración excesiva y por lo tanto también ruido, esto debido a que el router no cuenta con la rigidez estructural para ejecutar operaciones en acero, especialmente en el husillo y en la estructura que conforma el eje vertical o eje Z.

6. REFORZAR LA ESTRUCTURA DEL *ROUTER* CNC 3020T

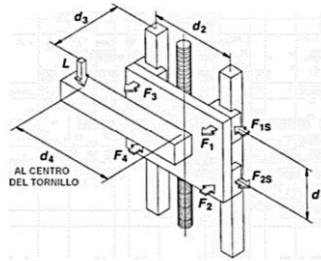
Como se mencionó en el capítulo anterior, la estructura del eje vertical presenta puntos débiles como lo es los rodamientos lineales y guías. Como parte del objetivo de reforzar la estructura de la maquina se realiza los cálculos, diseño y fabricación de una nueva estructura que cumpla con los nuevos requerimientos técnicos exigidos.

El recorrido del eje Z es la sección de la máquina que desplaza la estructura para que realice el trabajo en el material, para su diseño se toma la siguiente consideración:

Cuando la carga es aplicada en la misma dirección del recorrido Figura 28, se puede usar las siguientes ecuaciones, Ec 2, Ec 2.1, Ec 2.2 y Ec 2.3 para calcular las cargas en cada bloque de las guías o rieles. Este tipo de configuración generalmente se encuentra en las aplicaciones verticales. Es importante considerar la orientación de la carga aplicada con respecto al sistema de guías, esto significa que estas ecuaciones pueden usarse aun cuando la orientación de la carga no es vertical, con tal que la carga conserve la relación con las guías¹¹.

¹¹ Jhonny Orozco, E. G. (2018). Obtenido de https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2018/06/Articulo_2.pdf

Figura 28. Translación vertical con carga vertical.



Fuente: CARLOS ENRIQUE ANGLES AGUIRRE. 2019.

Para hallar la carga total ubicada en el usillo (L) se empela la ecuación Ec. 1.

$$L = W + F_c \quad \text{Ec.1}$$

Donde L es la ubicación de la carga del husillo que se encuentra en el centro y paralela al tornillo. Considerando $W = 3 \text{ Kg} = (19,6 \text{ N})$ es la fuerza ejercida por el husillo y $F_c = 73,5 \text{ N}$ es la fuerza de corte tenemos:

$$L = 29.4 \text{ N} + 73.5 \text{ N} = 102,9 \text{ N}$$

Los valores de las distancias $D_1 = 80 \text{ mm}$, $D_2 = 90 \text{ mm}$, $D_3 = 83 \text{ mm}$ y $D_4 = 0 \text{ mm}$, respectivamente de acuerdo con el diseño actual del eje vertical (eje z) del *router* CNC.

$D_4 = 0 \text{ mm}$, Debido a que la ubicación de la carga (L) del cabezal de la herramienta se encuentra en el centro y paralela al tornillo. De manera que se reemplaza en las ecuaciones Ec. 2, Ec. 2.1, Ec. 2.2 y Ec. 2.3 como se muestra a continuación.

Entonces:

$$F_1 = F_3 = \frac{L}{2} \left(\frac{D_3}{D_1} \right) = \frac{102.9 \text{ N}}{2} \left(\frac{83 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} \right) = 53,379 \text{ N} \quad \text{Ec. 2}$$

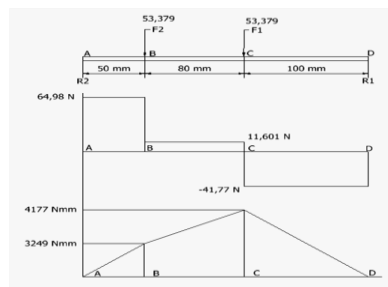
$$F_2 = F_4 = -\frac{L}{2} \left(\frac{D_3}{D_1} \right) = -\frac{102.9 \text{ N}}{2} \left(\frac{83 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} \right) = -53,379 \text{ N} \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$F_{1s} = F_{3s} = \frac{L}{2} \left(\frac{D_4}{D_2} \right) = \frac{102.9 \text{ N}}{2} \left(\frac{0 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} \right) = 0 \text{ N} \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$F_{2s} = F_{4s} = -\frac{L}{2} \left(\frac{D_4}{D_2} \right) = -\frac{102.9 \text{ N}}{2} \left(\frac{0 \text{ mm}}{90 \text{ mm}} \right) = -0 \text{ N} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Los ejes son los principales elementos en esta coordenada, con la fuerza $F_1 = 53,379 \text{ N}$ y $F_2 = -53,379 \text{ N}$, calculados en el ítem anterior se realiza el cálculo con $X_1 = 50 \text{ mm}$, $X_2 = 80 \text{ mm}$, $X_3 = 120 \text{ mm}$ que representa la distancia entre cargas o la posición de los rodamientos lineales a lo largo de la guía lineal o varilla. Aplicando los diagramas de cuerpo libre y momentos flectores, como se puede ver en la Figura 29.

Figura 29. Diagrama de cuerpo libre, momentos flectores y reacciones.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se realiza la sumatoria de fuerzas con la Ec.3, de esta manera se conoce el valor de la variable R_1 .

$$\sum F_y = 0 \quad \text{Ec.3}$$

$$R_2 - F_2 - F_1 + R_1 = 0$$

$$R_2 = F_2 + F_1 - R_1$$

$$R_2 = 53,379\text{N} + 53,379\text{N} - 64,9\text{ N}$$

$$R_1 = 41,8\text{ N}$$

De igual manera se realiza la sumatoria para los momentos flectores en la Ec 4, de esta forma se conoce el valor de R2.

$$\sum MA = 0 \quad \text{Ec.4}$$

$$(R_1 \times 230\text{mm}) + (F_1 \times 180\text{mm}) - (F_2 \times 100) = 0$$

$$R_2 = \frac{(53.379\text{N} \times 180\text{mm}) + (53.379\text{N} \times 100\text{mm})}{230\text{mm}} = 64.98\text{ N}$$

A continuación se realiza el cálculo con las ecuaciones Ec. 5, Ec.6, Ec. 7 para determinar el diámetro requerido para los rieles o guías lineales.

$$\sigma_{max} = \frac{Sy}{n} \quad \text{Ec.5}$$

$$S = \frac{M}{\sigma_{max}} \quad \text{Ec.6}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot S}{\pi}} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

σ_{max} = Esfuerzo normal máximo.

M= Momento flector máximo.

S= Modulo de resistencia para una sección transversal cilíndrica.

n= Factor de seguridad.

S_y = Resistencia a la fluencia del material.

d = Diámetro de la guía lineal.

Para el diseño de las guías lineales se considera un factor de seguridad $n=2$, con un acero AISI L2 o Thyrodur $S_y = 365.4 \text{ N/mm}^2$ se reemplaza los valores en la ecuación Ec.5.

$$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{n} = \frac{365.4}{2} = 182.7 \text{ N/mm}^2$$

Del análisis de fuerzas y diagrama de momentos flectores de la Figura 29, se tiene un momento flector máximo de $M= 4177 \text{ N.mm}$, aplicando la ecuación Ec. 6, se tiene que el módulo para la sección transversal es:

$$S = \frac{M}{\sigma_{\max}} = \frac{4177 \text{ N.mm}}{182.7 \text{ N/mm}^2} = 22,9 \text{ mm}^2$$

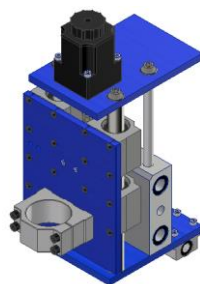
Mediante la ecuación Ec. 7, se determina el diámetro del eje guía o riel.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 S}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (22,9 \text{ mm}^2)}{\pi}} = 6.15 \text{ mm}$$

En el mercado no existe una varilla de diámetro 6.15 mm para aplicaciones CNC y si lo hubiese, los rodamientos para este diámetro no están fabricados para soportar la carga ejercida por el proceso. Por ello se opta por unos rodamientos lineales de 20 mm de diámetro interno y rieles de 20 mm de diámetro, que bien fueron fabricados para este tipo de cargas.

En la Figura 30, se puede ver el modelado CAD de la estructura actualizada que conforma el eje vertical o eje Z.

Figura 30. Vista isométrica eje Z.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3, se listan las piezas que conforman el nuevo eje Z.

Tabla 3. Lista de componentes del eje Z.

Nombre	Cantidad
Rodamiento lineal SCS20UU	4
Tornillo métrica M6x1	24
Varilla lisa 20 mm	2
Motor Nema 17	1
Platina de acero	3
Soporte husillo	1
Tornillo trapezoidal 12 mm	1
Tuerca para tornillo trapezoidal	1
Soporte tuerca trapezoidal	1
Chumacera plana	1
Acople flexible	1
Separador motor Nema 17	1

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 31 se puede apreciar el montaje de la nueva estructura en la fresadora CNC.

Figura 31. Montaje de la nueva estructura que hace parte del eje vertical (eje z).

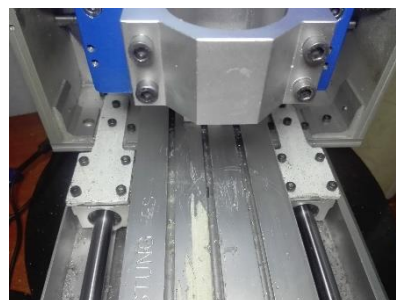
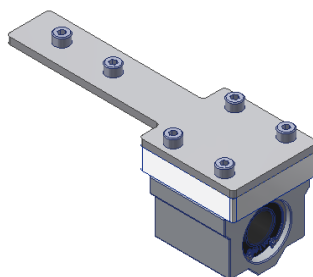


Fuente: elaboración propia.

6.1 RODAMIENTOS AUXILIARES PARA EL EJE Y

Los rieles del eje Y son los que soportan tanto las cargas ejercidas por el proceso de mecanizado, como el peso de los rieles o ejes X y Z, por ello se opta por instalar dos rodamientos auxiliares sumando de esta manera robustez a la máquina CNC. En la Figura 32, se puede ver el diseño y el montaje de los rodamientos lineales.

Figura 32. Diseño y montaje de los rodamientos auxiliares para el eje longitudinal eje Y.

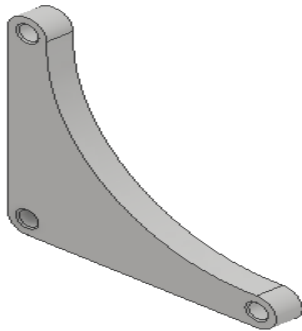


Fuente: Elaboración propia.

6.2 SOPORTES PARA EL PUENTE DEL ROUTER CNC.

El puente es la estructura que conforma los rieles o ejes X y Z, de la manera en que el puente esta ensamblado, este presenta debilidad en operaciones donde se ejerce fuerzas radiales respecto al eje de la herramienta. Por ello, se decide por diseñar y fabricar soportes que le den robustez a la estructura. En la Figura 33, se puede ver el diseño y la instalación de los soportes.

Figura 33. Soportes para la estructura que conforma el eje x.



Fuente: Elaboración propia.

7. CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA.

La potencia de corte (P_c), es la necesaria para efectuar un determinado mecanizado se calcula a partir del valor del volumen de arranque de viruta, la energía específica del material y del rendimiento que tenga máquina.

7.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA EN UNA OPERACIÓN DE FRESADO PERIFÉRICO.

A continuación se realizan los cálculos pertinentes para hallar el valor aproximado de la potencia de corte en procesos de maquinado. Como paso inicial se tiene la recolección de las variables necesarias para dichos cálculos, como se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Variables de un proceso de mecanizado.

Variables	Valor	Unidad
Profundidad de corte (d)	1	mm
Ancho de corte (b)	10	mm
Diámetro de fresa (D)	6,35	mm
Numero de dientes (Z_c)	4	-
E. específica del aluminio (w)	0,9	J/s
Velocidad de avance	1200	mm/min
Velocidad de corte V_c	160	m/min

Fuente: Elaboración propia.

7.1.1 Velocidad del husillo. Para el cálculo de la velocidad del husillo en revoluciones por minuto se tiene la siguiente ecuación Ec.8, Dónde:

D= Diámetro de la herramienta.

V_c = Velocidad de corte en m/min.

K= 1000 Cuando "D" está en mm.

$$N = \frac{K.V_c}{\pi.D} \quad \text{Ec.8}$$

$$N = \frac{(1000).(160)}{\pi.(6,35)} = 8020 \text{ RPM}$$

7.1.2 Avance por diente (Fz). Para el cálculo del avance por diente se debe tener la siguiente ecuación Ec.9.

$$F_z = \frac{V_f}{N.Z_c} \quad \text{Ec.9.}$$

$$F_z = \frac{1000}{(8020).(4)} = 0,0311 \frac{\text{mm}}{\text{diente}}$$

Donde:

Vf= Velocidad de avance.

N= Velocidad del husillo.

Zc= Numero de dientes.

Los cálculos se realizaron como parte de los parámetros necesarios para efectuar una operación de mecanizado periférico.

7.1.3 Volumen de material eliminado por minuto. Para el cálculo del volumen de material eliminado por minuto se tiene la siguiente ecuación Ec.10.

$$z = b \cdot d \cdot V_f \quad \text{Ec.10}$$

$$z = (10) \cdot (1) \cdot (1000) = 10000 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Dónde:

b= Ancho de corte.

d= Profundidad de corte.

Vf= Velocidad de avance.

Con este dato se puede calcular la potencia de corte requerida en el proceso de mecanizado periférico.

7.1.4 Potencia de corte. Como parte del cálculo de la potencia se tiene la siguiente ecuación Ec.11.

$$W = w \cdot z \quad \text{Ec.11}$$

$$W = (0.9) \cdot \frac{10000}{60} = 150 \text{ watts}$$

Dónde:

w= Energía específica del aluminio 0,9 J/s.

z= Volumen de material eliminado por minuto.

Obteniendo el valor de W se procede a realizar el cálculo de la potencia de corte requerida con la ecuación Ec.12.

$$P_c = \frac{W}{n} \cdot F_s \quad \text{Ec.12}$$

$$P_c = \frac{150}{0.8} \cdot 2 = 375 \text{ watts}$$

Dónde:

n= El rendimiento del 80 %.

Fs= Factor de seguridad de 2.

7.1.5 Torque. Para el cálculo del torque se tiene la siguiente ecuación Ec.13.

$$T = \frac{P_{total}}{\omega} \quad \text{Ec.13}$$

Donde:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot N$$

$$\omega = 2 \cdot (3.1416) \cdot (8020) = 83,989$$

Entonces:

$$T = \frac{375}{83,989} = 1,786 \text{ Nm}$$

Con el valor del torque igual a T= 1,786 se realiza la selección del motor eléctrico que cumpla con lo requerido en los cálculos.

7.2 SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO

Para la selección del motor eléctrico se tiene en cuenta criterios como bajo mantenimiento, trabajo continuo mayor a 5 horas, refrigeración por aire, bajo índice de vibraciones y ruido.

En el mercado actual se encuentran motores eléctricos denominados “*spindle*” estos motores son fabricados cumpliendo con los criterios antes mencionados, se opta por uno de estos con una potencia nominal de 500 watts como se puede ver en la Figura 34.

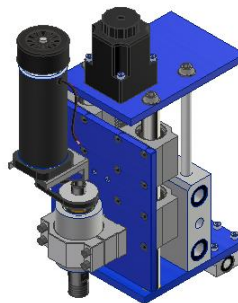
Figura 34. Motor eléctrico DC.



Fuente: Tienda online.

En la Figura 35, se muestra el diseño del conjunto que conforma el husillo y el sistema de transmisión por correa.

Figura 35. Diseño del husillo y sistema de transmisión por correa.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36, se muestra el montaje del husillo y sistema de transmisión de polea en la máquina CNC.

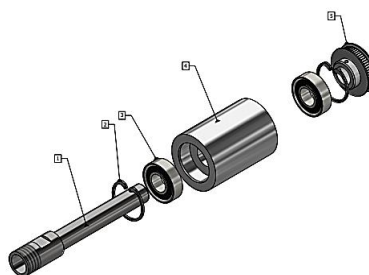
Figura 36. Montaje del husillo y transmisión por polea.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37, se muestra los componentes que conforma el husillo con porta herramienta ER16.

Figura 37. Componentes que conforma el husillo.



Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se listan los componentes usados para el ensamble del husillo.

1. Eje con porta herramienta ER16.
2. Pin.
3. Rodamiento diámetro interno de 16 mm.
4. Caja de rodamientos.
5. Polea GT2.

8. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN SISTEMA DE HERRAMENTALES (UTILLAJES)

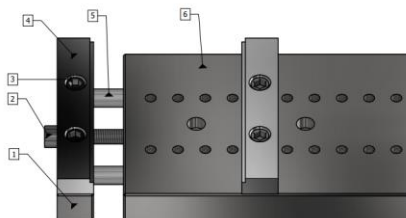
El diseño del sistema de herramientas debe cumplir con la función de asegurar material en bruto en forma cubica, cilíndrica o piezas de formas irregulares.

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a diseñar en el software Inventor el prototipo, que consta de las siguientes partes:

- Base de montaje o cuerpo que se asegura a la bancada de la fresadora.
- Mordaza fija, esta va sujeta a la base de la prensa.
- Mordaza móvil.
- Tornillo métrica M10.
- Tornillos métrica M6.
- Guías lineales, guía el movimiento rectilíneo de la mordaza móvil.

En la Figura 38, se puede ver el diseño CAD del prototipo del sistema de sujeción.

Figura 38. Prototipo prensa.



Fuente: Elaboración propia.

Se selecciona el material adecuado para fabricar una prensa resistente y de buena calidad, en este caso se eligió una platina de acero de tipo SAE 1045, muy conocido y utilizado en la industria metalmecánica, que tiene una buena maquinabilidad y es ampliamente utilizado en todo tipo de herramientas. En la Tabla 5, los diferentes materiales a emplear.

Tabla 5. Materiales para la construcción de la prensa.

Elemento	Cantidad	Nombre de la pieza
1	1	Mordaza móvil
2	6	Tonillo M10 x 1,25
3	2	Tonillo M6 x 1
4	2	Puestizos
5	2	Guías lineales
6	1	Cuerpo de las prensa

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar como se puede ver en la Figura 39, se dispone de una platina de acero a la cual se le realiza un maquinado a cada uno de sus lados, con el fin de asegurar que sus esquinas tenga un Angulo de 90° o a escuadra.

Figura 39. Material base.



Fuente: Elaboración propia.

Tal como se puede ver en la Figura 36, la base esta provista de unos taladros a lo largo de la platina, los cuales corresponden a los agujeros de

fijación que permite que la base de la prensa se fije a la mesa de la fresadora con tres tornillos M6x1, por otra parte se realizaron los taladros y roscas M6x1 de los agujeros que sujetan las mordaza fija y móvil.

Figura 40. Taladros de fijación.



Fuente: Elaboración propia.

Se prepara la fresadora para taladrar los agujeros laterales que servirán para la abertura máxima y mínima de la prensa como también el paso del tornillo que da el movimiento a la mordaza móvil. En la Figura 41 se puede apreciar la operación.

Figura 41. Taladros laterales.

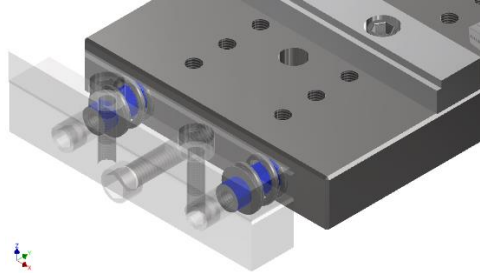


Fuente: Elaboración propia.

Las guías son las piezas de 31,5 mm de longitud y 10 mm de diámetro que bien pueden ser compradas o hechas en el torno. Esta pieza se introduce entre los agujeros de la base de la prensa, con el fin de darle el movimiento

lineal a la mordaza móvil. En la Figura 42, se puede ver en las guías en tonalidad azul.

Figura 42. Guías lineales prensa.



Fuente: Elaboración propia.

Para este prototipo las guías fueron compradas ya que el diámetro es comercial y fácil de conseguir, pero fue necesario realizarle operaciones en el torno, como refrenado, tronzado, taladrado y rosca interior M6x1, esto con el fin de cumplir con las especificaciones del plano de la pieza. En la Figura 43 se puede ver el diseño final.

Figura 43. Guías lineales de la prensa.

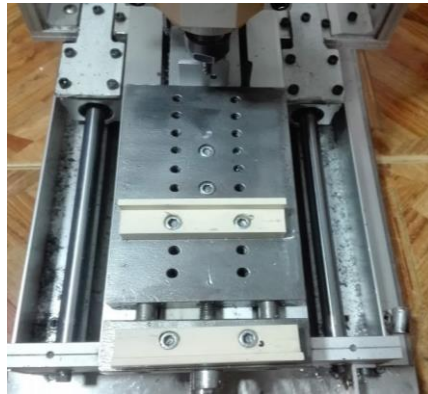


Fuente: Elaboración propia.

Realizadas las operaciones pertinentes para cada pieza, se procede al ensamble de la prensa e instalación en la fresadora como se puede ver en la Figura 44. Cabe mencionar que la platina se le dio un acabado con grata

con el fin de eliminar el óxido con el propósito de más adelante aplicarle una pintura antioxidante cuidando así la integridad de la prensa.

Figura 44. Ensamble de la prensa e instalación.



Fuente: Elaboración propia.

9. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA CABINA DE MECANIZADO

Las medidas exteriores de la cabina son:

- 50 cm de ancho.
- 100 cm de largo.
- 120 cm de alto.

Estas medidas se tomaron teniendo en cuenta las dimensiones de la máquina para no sobredimensionar la cabina.

La cabina se puede construir de cualquiera de estos materiales.

- Láminas o planchas de acero, unidas con pernos o a un marco o estructura.
- Bandejas de lámina de acero galvanizado de calibre grueso, formadas y ensambladas con pernos.
- Láminas de MDF unidas a una estructura metálica con pernos.

Se presta especial atención en la selección del sitio donde se va a instalar la máquina para que se reduzca cualquier riesgo de fuego y se facilite el acceso y desalojo de materiales.

La cabina estará formada por una estructura metálica y cubierta por planchas tanto interior como exteriormente las mismas que estarán unidas por remaches a la estructura, de tal manera que entre estas dos superficies queden totalmente selladas para aislar el ruido generado por la máquina. Los materiales que se utilizaron para las cubiertas serán planchas de acero de 1 mm de espesor.

Para la cabina que servirá de esqueleto a la cabina, el perfil más utilizado a utilizar es de lados iguales de 1 x 1 pulgada.

9.1 SISTEMA DE VENTILACIÓN

El sistema de ventilación del aire utilizado, debe proporcionar los caudales y temperaturas adecuadas para cada proceso. En dicho sistema se va a usar todo tipo de dispositivos necesario para economizar el diseño. La cabina contara con 2 ventiladores de ordenador, de 10 x 10 cm de alto y ancho.

9.2 ILUMINACIÓN

El nivel de iluminación de una cabina de mecanizado debe ser uniforme esto, para conseguir una visión eficaz y poder así monitorear el proceso de mecanizado, se utilizó cinta led por su durabilidad y resistencia a la humedad.

9.3 SEGURIDAD

En este apartado se habla de los problemas de limpieza y seguridad en la empresa, así como la contaminación auditiva. Cuando se trata de operaciones de arranque de material deben considerarse tres factores de seguridad:

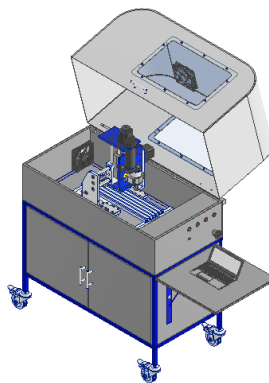
- Colocar pantallas de protección, barreras o resguardos que impidan, en lo posible, el acceso libre al punto de operación en el momento de trabajo.

- Suprimir las operaciones de medición de cotas con la maquina en marcha.
- protección ocular como gafas, para evitar que las virutas disparadas ocasionen alguna lesión.
- La seguridad eléctrica para evitar incendios durante la utilización de máquinas herramientas pasa, básicamente, por conseguir una buena calidad de las tomas de tierra, la instalación de disyuntores diferenciales, protección del circuito contra sobre intensidades y evitar, en lo posible, la acumulación de elementos empapados con aceite.

9.4 DISEÑO

En la Figura 45, se muestra el levantamiento CAD de la cabina de mecanizado con forme a los requerimientos mencionados anteriormente.

Figura 45. Diseño de la cabina de mecanizado.



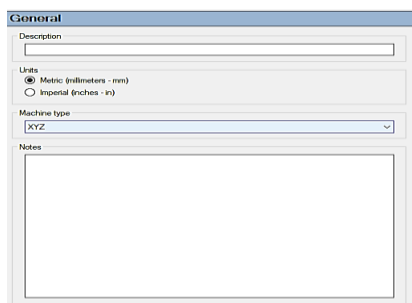
Fuente: Elaboración propia.

10. ANÁLISIS Y EDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SOFTWARE DE CONTROL (USB CONTROLLER CNC)

El controlador de movimiento CNC es un enlace entre los medios de ingreso de los programas y los controladores por medio de un puerto USB que está disponible en todas las computadoras.

En la pestaña General se define la unidades de medida muy importantes a tener en cuenta a la hora de generar los programas nc, para este caso se seleccionó la opción en Metric por conveniencia para su uso en Colombia, como se muestra en la Figura 46. También, se define el tipo de máquina y notas que podrían notificar o informar al usuario.

Figura 46. Configuraciones generales.



Fuente: Elaboración propia.

En la pestaña de Setup se puede ver la configuración para el número de pasos que debe generar el controlador para mover el eje de la máquina (Steps/Unit) a una distancia determinada, en diversas unidades como milímetros o pulgadas, igualmente la velocidad de arranque del motor en un curva de aceleración (Init speed), también, la velocidad del eje en la curva de aceleración (Maximum speed) y la tasa de aceleración

(Acceleration). En la Figura 47, se muestra la configuración por defecto la máquina.

Figura 47. Configuraciones de setup.

Setup				
	Steps/Unit	Acceleration Ramp		
		Init speed	Maximum speed	Acceleration
X	200,0000	0,00	0,00	15,000
Y	200,0000	0,00	0,00	15,000
Z	200,0000	0,00	0,00	15,000

Fuente: elaboración propia.

Los valores modificados que se enlista se muestran en la Figura 48, con sus respectivos valores, estos valores se implementaron bajo pruebas prácticas donde se determinó, que no se generara daños en los componentes y que no sobre cargue los motores paso a paso evitando que pierdan pasos en procesos de maquinado.

Figura 48. Edición de parámetros para Setup.

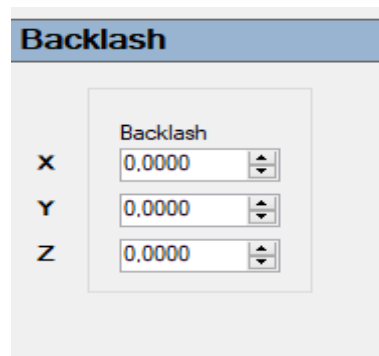
Setup				
	Steps/Unit	Acceleration Ramp		
		Init speed	Maximum speed	Acceleration
X	390,0000	150,00	1500,00	250,000
Y	385,0000	150,00	1500,00	250,000
Z	212,0000	150,00	1500,00	250,000

Fuente: Elaboración propia.

El *Backlash* (juego mecánico) es cualquier no-movimiento que ocurre durante revocaciones del eje. Es decir, por ejemplo, el eje X se mueve 1 mm en dirección positiva. Inmediatamente después de este movimiento de X, se ordena al eje de X que mueve 1 mm en la dirección negativa. Eventualmente el contragolpe existe en el eje de X, después no comenzara

inmediatamente a moverse en la dirección negativa, y la salida del movimiento no será exacto a 1 mm. En la Figura 49, se muestra el apartado de configuraciones para la compensación del juego mecánico.

Figura 49. Configuraciones backlash.



Fuente: Elaboración propia.

Para determinar un valor para el juego mecánico es necesario realizar pruebas en cada uno de los ejes de la máquina, haciendo uso de herramientas de medición como lo es el reloj comprador el cual arrojará el valor de juego mecánico exacto y posteriormente poderlo corregirlo. En la Figura 50, se puede apreciar la prueba de existencia de juego mecánico.

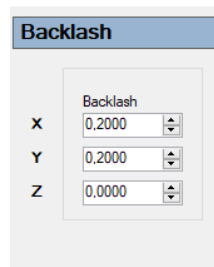
Figura 50. Verificación de juego mecánico.



Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de las pruebas anteriores se confirmó la existencia de juego mecánico, se procede a realizar la compensación en cada uno de los eje X, Y y Z como se muestra en la Figura 51.

Figura 51. Compensación del valor de juego mecánico.



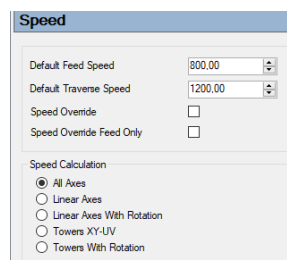
The image shows a software window titled "Backlash". Inside, there is a sub-section labeled "Backlash" containing three input fields for axes X, Y, and Z. Each field has a numeric value and a small up/down arrow icon to its right.

Axis	Value
X	0,2000
Y	0,2000
Z	0,0000

Fuente: Elaboración propia.

En el apartado Speed se muestra la configuración para el avance de maquinado predeterminado (G01, G02, G03) cuando la letra F (Avance) no está especificada en el Código G, también se puede configurar la velocidad máxima para movimientos rápidos (G00). En la Figura 52, se muestran los valores por defecto los cuales se modifican para que correspondan con las configuraciones anteriormente vistas.

Figura 52. Configuración de speed.



The image shows a software window titled "Speed". It contains several settings for feed and traverse speeds, as well as checkboxes for speed override and speed calculation options.

Parameter	Value
Default Feed Speed	800,00
Default Traverse Speed	1200,00
Speed Override	☐
Speed Override Feed Only	☐

Speed Calculation

- ☒ All Axes
- ☐ Linear Axes
- ☐ Linear Axes With Rotation
- ☐ Towers XY-UV
- ☐ Towers With Rotation

Fuente: Elaboración propia.

Se determinaron valores para los movimientos rápidos G00 de 800 mm/min para seleccionar este valor se tomaron en cuenta condiciones en las que no se cargue demasiado los motores paso a paso cuando realizan cambios de dirección en el eje, como también evitar colisiones producidas por una velocidad de avance muy alta.

En la configuración Lookhead se determina el ángulo que puede recorrer la máquina CNC sin reducir la velocidad. Ejemplo: El valor de 170° grados significa que se puede cortar un dodecágono (un polígono de doce lados) con ángulos internos de 170° grados sin reducir la velocidad en las esquinas. Así mismo, se puede configurar el radio de arco mínimo que la máquina puede viajar sin reducir la velocidad.

El valor para el ángulo 170° por defecto mostrado en la Figura 44, no es óptimo en procesos por debajo de 170° grados ya que la máquina en este tipo de trayectorias va a realizar desaceleración en la entrada y aceleración en la salida del cambio de dirección, se opta por un ángulo más agudo como lo es el de 45 grados este cambio se ve reflejado en la fluidez de la máquina al correr códigos con trayectorias con cambio de dirección con ángulos más cerrados sin que tenga que desacelerar y acelerar obteniendo ciclos de mecanizado más cortos.

Para el caso del radio del arco mínimo el valor "0" por defecto como se muestra en la Figura 44, Se considera perjudicial ya que los radios muy pequeños la distancia recorrida para la interpolación circular va a requerir mayor capacidad de alimentación del controlador, si se sobre carga el sistema perderá pasos y por ende afectara las dimensiones del maquinado. Se opta por un radio mínimo de arco de 5 mm teniendo en cuenta que los radios de arco para trayectorias internas son los más críticos.

11. EVALUACIÓN CONVENIENCIA ECONÓMICA

La conveniencia económica se realiza por medio de una comparativa que tiene por el análisis de costos unitarios se tiene en cuenta los siguientes rubros: costos directos e indirectos, estos costos nos ayudan a determinar el costo para la ejecución de este proyecto.

11.1 COSTOS DIRECTOS

Dentro de los costos directos se consideraron la adquisición de materiales necesarios para que se elabore el proyecto dentro de ellos se consideró los materiales con su costo local y materiales con costo de pedido. Además, máquinas herramientas empleadas durante la fabricación de los nuevos componentes de la máquina. Estos datos se muestran en la siguiente Tabla 6.

Tabla 6. Costos por equipamiento de materiales.

Equipamiento de materiales				
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio
1	Husillo DC 500 W	Wattas	1	700,000
2	Rodamientos SCS20UU	20 mm	4	140,000
3	Barrilla lisa	20 mm	2	40,000
4	Platinas de acero	9 mm	3	25,000
5	Tornillo métrica M6x1	6 mm	30	15,000
6	Rodamiento	12 mm	2	38,000
7	Tornillo trapezoidal	12 mm	1	20,000
8	Barrilla lisa	12 mm	1	15,000
9	Rodamientos SCS12UU	12 mm	2	50,000
11	Chumacera plana	mm	1	25,000
12	Acople flexible	mm	1	9,000
Corto total				1,067,000

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7, se muestran los costos de máquinas y herramientas utilizadas.

Tabla 7. Costos de máquinas y herramientas utilizadas.

Máquinas y herramientas utilizadas					
Ítem	Descripción	Cantidad	Horas de trabajo	Precio/hora	Precio total
1	Torno	1	7	20000	140,000
2	Fresadora	1	5	20000	100,000
3	Equipo de soldadura	1	2	10000	20,000
4	Taladro portátil	1	5	2500	12,500
5	Pulidora	1	3	5000	15,000
Costo Total					287,500

Fuente: Elaboración propia.

A continuación en la Tabla 8, se muestran los gastos directos.

Tabla 8. Costos directos.

Costos directos		
Ítem	Descripción	Costo
1	Equipamiento de materiales	1,067,000
2	Máquinas y herramientas utilizados	287,500
3	Mano de obra	1,200,000
4	Transporte	500,000
Costo total		3,054,500

Fuente: Elaboración propia.

11.2 COSTOS INDIRECTOS

En esta Tabla 9, se indicara todos los costos adicionales a los costos directos como son: estudios que se han realizado en el proyecto, gastos administrativos.

Tabla 9. Costos indirectos.

Costos indirectos		
Ítem	Descripción	Costo
1	Diseño del proyecto	250,000
2	Internet	170,000
3	Energía eléctrica	80,000
Costo Total		500,000

Fuente: Elaboración propia.

11.3 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

En la Tabla 10, se mostrar la suma de los costos directos e indirectos que viene hacer el costo total del proyecto de (valor).

Tabla 60. Costo total del proyecto.

Costo total del proyecto		
Ítem	Descripción	Costo
1	Costo total directo	3,054,500
2	Costo total indirecto	500,000
3	Costo del equipo CNC	2,300,000
Costo total		5,854,500

Fuente: Elaboración propia.

Como comparativa se toma un modelo de máquina en el mercado actual, teniendo en cuenta las dimensiones de trabajo de la máquina del proyecto que son 300 mm de longitud por 200 mm de ancho, se realiza la búsqueda

de una máquina con un área aproximada a la del proyecto como se muestra en la Figura 53.

Figura 53. Router CNC.



Fuente: 3MILLCNC. 2020.

Este modelo cuenta con un área de trabajo de 400 mm por 400 mm y un husillo de 1.5 Kw de potencia, el fabricante especifica que la máquina realiza operaciones de maquinado en aluminio como moldes y relieves 3D, su valor ronda los 13.200.000 millones de pesos colombianos sin tener en cuenta costos adicionales¹². La diferencia de valor entre el prototipo de este proyecto y la máquina CNC ronda los 7.400.000 millones de pesos.

11.4 VENTAJAS DEL PROYECTO

Inicialmente el proyecto es más accesible para la empresa por su valor final, las prestaciones finales de la máquina cumplen con las necesidades actuales de la empresa de maquinar plásticos de ingeniera y metales blandos, esto quiere decir que esta máquina se puede adecuar a las diferentes necesidades particulares de cada empresa.

¹² 3millcnc. (2020). Obtenido de <https://3millcnc.com/>

11.5 DESVENTAJAS DEL PROYECTO

El proyecto final se trata de un prototipo por el cual no se ha desarrollado en su totalidad para hacer frente a demandas grandes de producción, como si hace la maquina con la cual se está comparando que es un producto desarrollado para la industria.

12. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se realiza un mecanizado en aluminio donde se lleva a prueba los diferentes arreglos que se le hicieron a la máquina en el transcurso de la investigación, este consiste en realizar cavidades de 3 mm de profundidad a una platina de aluminio como se ver en la figura 54.

Figura 54. Prueba de mecanizado resultados finales.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 11, se muestran los diferentes parámetros que se emplearon en la práctica.

Tabla 71. Prueba de rendimiento, maquina acondicionada.

Material	Avance	RPM	Ancho	Profundidad	Herramienta	Tiempo
Aluminio	700 mm/min	5000	5 mm	1 mm	1/8 - HSS	65 mm

Fuente: Elaboración propia.

Con estos parámetros se quiso establecer un equilibrio donde no se cargar la máquina consiguiendo una pieza con las características del modelo CAD. Por otra parte, presenta un cavado un poco irregular esto debido a las altas RPM manejadas y las cualidades del aluminio que lo hacen especial. Por lo general posterior a un proceso de conformado se somete las piezas a un proceso de acabado final.

13. CONCLUSIONES

- Se logró alcanzar el objetivo de acondicionar un router CNC que mecanizara piezas en aluminio.
- Con el diseño y construcción de una nueva estructura (eje z) permitió que la maquina adquiriera robustez y estabilidad en los procesos de mecanizado.
- La implementación de un husillo incremento en un 60 % de potencia, se traduce en programas con avances y profundidades mayores, por lo cual el ciclo de mecanizado tarde menos tiempo.
- Con la construcción de la cabina de mecanizado se logró aislar los procesos. De tal manera que, se redujo el ruido emitido de 75 decibeles a 50 decibeles.
- Con el nuevo sistema de herramientas permite realizar mecanizado de mayor dificultad y un amarre seguro de las piezas a trabajar.
- La configuración realizada a los parámetros del software *USB Controller CNC* se logró reducir un 80% de las desaceleraciones y aceleraciones que presentaba la maquina en cambios de dirección.
- La evaluación económica demostró la viabilidad del proyecto respecto a las necesidades actuales de la empresa, con un valor final de 5, 854,500 pesos colombianos.
- Los acabados son irregulares en el mecanizado de aluminio debido a la velocidad de mecanizado, propiedades y composición de este material que lo hacen especial. Cabe mencionar que en general las piezas son sometidas a procesos de acabados finales.

14. BIBLIOGRAFÍA

- 3D CAD PROTAL. (2015). Obtenido de <http://www.3dcadportal.com/fusion-360.html>
- 3millcnc. (2020). Obtenido de <https://3millcnc.com/>
- AGUILAR, J. (2013). *Fresado*. Obtenido de http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/pro_ma/11.pdf
- BERTOMEU JOSE, G. J. (2014). MOTOR PASO A PASO.
- Carlo Erique, A. A. (2019). *Diseño y construcción de un prototipo experimental de una Fresadora Router CNC para su aplicación en la Industria Manufacturera*. Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4237>
- Castor, B. A. (2000). *Sistema de sujecion y soporte* . Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/7752/1/1020136695.PDF>
- CNC DIY. (2019). Obtenido de <https://cncdiyblog.wordpress.com/2017/04/09/titulo-de-la-entrada-de-blog/>
- CNC, M. (s.f.). Obtenido de http://www.jmptechnological.com/manual_cnc/ciclos.php
- DENTAL TIX. (2020). Obtenido de <https://www.dentaltix.com/es/straussco/fresa-856-conica-redonda-fg>
- ECU RED . (2019). Obtenido de https://www.ecured.cu/Control_Num%C3%A9rico_Computarizado
- GADGETBRO. (2019). Obtenido de <https://www.gadgetbro.mx/products/maquina-de-grabado-cnc-3020-300w>
- GONZALEZ, E. (2016). *MORDAZA GIRATORIA. APLICACIÓN PARA CENTROS DE MECANIZADO*. Obtenido de <file:///C:/Users/Jupiter/Desktop/Downloads/385672.pdf>
- HAAS. (2019). *Haas*. Obtenido de <https://www.haascnc.com/es/productivity/spindles.html>
- HURTADO, C. (2015). *Diseño y construcción de un prototipo de fresadora-CNC*. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/27540>
- IAC. (2019). Obtenido de <https://www.iac.com.co/autodesk-inventor-2/>

JENNIGS, S. (2002). MOTORES PASO A PASO.

Jhonny Orozco, E. G. (2018). Obtenido de https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2018/06/Articulo_2.pdf

JIMÉNEZ, F. A. (2019). PROTOTIPO MULTIPROPÓSITO FRESADORA CNC E IMPRESORA VOLUMÉTRICA. .

JORGE CASTILLO, S. I. (2018). Obtenido de DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROUTER CNC (DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A CNC ROUTER): <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas/article/view/1669>

MACALUX. (s.f.). Obtenido de <https://www.logismarket.com.ar/herramientas-fresadoras/1449439314-cp.html>

OROZCO JHONNY, E. F. (2018). Elaboración de una CNC de 3 ejes para el ruteo de pistas y de circuitos impresos(PCBs). *3C tecnología*.

RENISHAW. (02 de 2007). Obtenido de <https://www.renishaw.es/es/sondas-de-maquina-herramienta-para-reglaje-e-inspeccion-de-componentes--6075>

SANTANA, A. (2019). Repotenciación del equipo CNC Router modelo TS 1325 mediante un plan de mantenimiento integral para la empresa Ganetel S.A, de la ciudad de Guayaquil – Ecuador.

SIDECO. (2018). *Sistemas de corte*. Obtenido de *¿Qué es un Router CNC?* Obtenido de <https://sideco.com.mx/que-es-un-router-cnc/>

SLIDE PLAYER . (2015). Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/4300795/>

SLIDE SHARE. (2014). Obtenido de <https://es.slideshare.net/ProcesosManufactura/cnc-34312272>

Smid, S. F.-A.-P. (2009). *Tecnología de las Maquinas Herramientas* . Mexico : Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.,Mexico .

TOOLS, M. (19 de 03 de 2020). Obtenido de <http://www.melamitools.com/producto/piorro-quisquam/>

ZAMORA, R. (24 de 7 de 2014). *Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas*. Obtenido de <file:///C:/Users/Jupiter/Desktop/Downloads/proyecto%20CNC/antecedentes/Diseño%20y%20fabricación%20de%20una%20fresadora%20CNC.pdf>

15. ANEXOS

