



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**“Desarrollo e Implementación de una Fresadora y Grabadora láser
CNC para incrementar la versatilidad en la fabricación de piezas
artesanales en acrílico y MDF.”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Contreras Zavaleta, Julián Enrique (ORCID: 0000-0002-8055-2096)

Custodio Puelles, Anderson Adrian (ORCID: 0000-0002-6282-9565)

ASESOR:

Dr. Sixto Ricardo Prado Gardini (ORCID: 0000-0002-9135-2663)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

Trujillo – Perú

2021

DEDICATORIA

Anderson Adrian Custodio Puelles

A Dios, por haberme dado sabiduría e inspirar mi espíritu para realizar esta investigación, por darme salud y muchas bendiciones.

A Melisa, por su amor y su apoyo incondicional para el cumplimiento exitoso de este proyecto y mis metas personales.

A Dios, por siempre acompañarme y brindarme los conocimientos necesarios para realizar esta investigación, lleno de salud y tranquilidad.

A mi padre, hermanos y familiares que con su apoyo incondicional formaron parte de este logro en mi vida profesional.

A mis padres Martin y Marilú, y a mis hermanos por haberme inspirado, apoyado y motivado incondicionalmente para lograr culminar esta etapa de mi formación profesional.

Julián Enrique Contreras Zavaleta

Dedico esta tesis a mi madre María Zavaleta, quien día a día supo inculcarme buenos valores haciéndome una gran persona y siempre estar ahí en todo momento a lo largo de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

Anderson Adrian Custodio Puelles

A mis padres, Martin Custodio Contreras y Marilú Puelles Veloz expresarles mi gratitud por su apoyo, confianza y sus consejos durante mi formación profesional, por lo que hoy culmino este proyecto y mi carrera satisfactoriamente.

A mi asesor de tesis, Dr. Sixto Ricardo Prado Gardini le expreso mi gratitud por su tiempo y dedicación para lograr finalizar este proyecto exitosamente, y por sus enseñanzas brindadas durante la investigación.

A mi asesor de tesis, Dr. Jorge Eduardo Lujan López agradezco por su tiempo y enseñanzas brindadas para lograr desarrollar este proyecto satisfactoriamente.

Julián Enrique Contreras Zavaleta

A mi madre, María Zavaleta, quien estoy muy agradecido por la confianza, el apoyo incondicional y los consejos recibidos a lo largo de esta etapa de mi vida académica.

A mis asesores de tesis, por cada conocimiento compartido hacia mi persona y que hoy me permitieron realizar esta investigación.

A mis hermanos Pedro, Antoni, Irvin y Marita, quienes me apoyaron en todo momento y estuvieron ahí cuando más los necesite.

A el Sr. Alberto Vilca, quien siempre me apoyo con cualquier consejo y conocimiento en el ámbito de mi carrera profesional.

ÍNDICE

5

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE.....	5
RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
I.1. Teorías relacionadas al tema.....	15
A.Control Numérico Computarizado (CNC).....	15
Ventajas de un sistema CNC.....	15
Las ventajas de este tipo de maquina según Gómez y Muñoz (2006):	15
B.Sistemas de Control de Movimiento.	16
- Interpolación lineal.	17
- Interpolación circular.	17
C. CONCEPTOS TEÓRICOS.....	17
- Precisión.....	17
- Versatilidad.	17
- Repetitividad.....	18
- Resolución.	18
D. Código G.....	18
F. Código M.	20
G. Maquinas herramientas CNC.....	21
- Partes de las maquinas CNC.	22
H. Tableros de control:	26
a. Controlador de 1 Sección 1Q.....	27
b. Controlador de 4 Secciones 4Q.	27
I. Automatización.	28
J. METODOLOGÍA DE DISEÑO.	29
1. Estructura de la metodología de diseño:.....	29
2. Metodología en diseño de Ingeniería:.....	30
3. Metodología de diseño para máquinas.	31
a. Identificar la necesidad:.....	31
b. Investigar las posibles soluciones:	31
c. Plantear el problema:	31
d. Especificaciones de tarea:.....	31

	6
e. Idear e Inventar:	31
f. Analizar:.....	31
g. Seleccionar:	31
h. Diseño detallado:.....	32
i. Elaborar prototipos:	32
j. Producción:	32
I.2. Formulación del problema.	33
I.3. Justificación del estudio.....	33
I.4. Hipótesis.....	34
I.5. Objetivos.	34
I.5.1. Objetivo General	34
II. MÉTODO.....	35
II.1. Diseño de investigación.	35
II.2. Variables, Operacionalización.....	35
II.3. Población y muestra.	36
II.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.	36
II.5. Métodos de análisis de datos.	37
II.6. Aspectos éticos.....	37
III. RESULTADOS.	38
III.1. Requerimientos técnicos y Necesidades de las Empresas artesanales de Trujillo.	38
III.2. Diseño de la estructura morfológica de la máquina.	40
A. Conceptos de Diseño.....	40
B. Dimensionamiento de la Máquina.	47
C. Componentes de la Fresadora y Grabadora Laser.....	47
D.Simulación	52
III.3. Selección del sistema actuador, sensorico y control electrónico.....	53
A. Selección del sistema actuador.	53
B. Selección del sistema sensorico y control electrónico. (Matriz morfológica)	53
III.4. Integrar la estructura mecánica, eléctrica y electrónica mediante la programación.	58
A. Integración de la estructura mecánica (boceto de explotado)	58
B. Integrar la estructura mecánica, eléctrica y electrónica	61
C. Programación	62
III.5. Validar los resultados a partir de diversas aplicaciones.....	63
III.6. Elaboración del presupuesto de construcción y programación de la máquina.	64

IV. DISCUSIÓN.....	65
V. CONCLUSIONES.....	67
VI. RECOMENDACIONES.....	68
REFERENCIA.....	69
ANEXOS.....	72

RESUMEN

En la presente investigación se desarrolla y se implementa una maquina fresadora y grabadora laser CNC (cabezales intercambiables), teniendo como objetivo general desarrollar e implementar una Fresadora y Grabadora láser CNC para incrementar la versatilidad en la fabricación de piezas artesanales en acrílico y MDF. Basados en teorías y algoritmos de fresadoras los que nos permitieron calcular los parámetros principales de la maquina (fuerza de corte, potencia de corte, torque del tornillo de potencia, velocidad del husillo, etc.) desarrollamos una investigación de tipo aplicada con un alcance descriptivo con datos cuantitativos con diseño pre experimental, se toma como población y muestra la Fresadora y Grabadora Laser, para lo cual se realiza una guía de entrevista para la recolección de necesidades y requerimientos técnicos de los artesanos de Trujillo, para evaluar si la maquina incrementa la versatilidad en la fabricación de piezas artesanales en acrílico y MDF, se realizó una guía de observación la cual se desarrolló con presencia de los artesanos seleccionados aleatoriamente. Obteniendo una maquina fabricada de perfil estructural de aluminio, con un sistema sensorico y control electrónico compuesto por un arduino MEGA 2560 R3, firmware marlín y sensores finales de carrera mecánicos, teniendo componentes mecánicos y electrónicos tales como, motores nema 17, un dremel que es la herramienta de fresar, y un láser de 2500 mw de potencia, el cual nos permite grabar. Se logró incrementar la versatilidad en la fabricación de piezas artesanales el principal objetivo de esta investigación, la cual se evaluó mediante una guía de observación.

Palabras clave: CNC, Fresadora, Laser, Versatilidad

ABSTRACT

In the present investigation, a CNC laser milling and engraving machine (interchangeable heads) is developed and implemented, with the general objective of developing and implementing a CNC laser milling and engraving machine to increase the versatility in the manufacture of handcrafted pieces in acrylic and MDF. Based on theories and algorithms of milling machines that allowed us to calculate the main parameters of the machine (cutting force, cutting power, torque of the power screw, spindle speed, etc.) we developed a type investigation applied with a descriptive scope with quantitative data with pre-experimental design, it is taken as a population and shows the Laser Milling Machine and Recorder, for which an interview guide is made for the collection of needs and technical requirements of Trujillo artisans, to evaluate if the machine increases the versatility in the manufacture of artisan pieces in acrylic and MDF, an observation guide was developed which was developed with the presence of randomly selected artisans. Obtaining a machine made of aluminum structural profile, with a sensorial system and electronic control composed of an arduino MEGA 2560 R3, firmware marlin and mechanical end-of-stroke sensors, having mechanical and electronic components such as, nema 17 engines, a dremel that is the milling tool, and a laser of 2500 mw of power, which allows us to record. It was possible to increase the versatility in the manufacture of handcrafted pieces, the main objective of this research, which was evaluated through an observation guide.

Keywords: CNC, Milling machine, Laser, Versatility.

I. INTRODUCCIÓN.

Según INTEREMPRESAS Net, los trabajos de mecanizado poseen un relevante protagonismo en la tarea rentable, tanto de manera directa en la fabricación de componentes como de manera indirecta en la fabricación de piezas auxiliares. Los avances tecnológicos en relación al mecanizado se han desarrollado demasiado últimamente con aportes que afectan a diferentes campos, como las cortadoras, los procesos de mecanizado, los medios de producción, el CAD/CAM o la sensorica. Sin embargo, aún existen posibilidades de mejorar los trabajos de mecanizado a través de la aplicación de los nuevos avances tecnológicos y óptimos con un conocimiento más avanzado del proceso.

Gracias a la versatilidad de los trabajos de mecanizado para fabricar piezas mecánicas, su trascendencia industrial es muy relevante en lo técnico y económico. Actualmente es necesario incrementar la productividad en los procesos de fabricación para sostener la competitividad de las industrias y su lugar en el mercado. La obligación de mejorar estos procesos es efecto de dos causas: por un lado, el económico relacionado a la disminución de costos por el ingreso de competidores de países donde los costos de salarios son más bajos; y, por otro lado, el tecnológico con los desafíos para la fabricación de productos con mayor valor añadido que hacen más complejos los procesos de mecanizado (nuevos materiales, geometrías complejas, requisitos de calidad y precisión). En conclusión, la supervivencia se reduce a la mejoría de los procesos de fabricación en menos tiempo, mejor y más económico para satisfacer con los requerimientos económicos, plazos y calidad que demanda el mercado

El láser, que ya presentaba una variedad de ventajas entre ellas; la flexibilidad, rapidez y permanencia en comparación a otros procesos convencionales, en la actualidad goza de una característica más: su bajo costo. Estas propiedades convierten al láser en un sistema cada vez más integrado en los procesos industriales contemporáneos.

Según el Instituto Peruano de Artesanía (INPAR), una de las actividades comerciales más dinámicas, a escala mundial, es la exportación de artesanías. Según cifras recientes, los tres primeros lugares en venta internacional de productos artesanales fueron ocupados por la India, con US\$1.005 millones; Irán, con US\$1.000 millones; y, México, con US\$600 millones. El Perú exportó alrededor de US\$18 millones; paralelamente se estima que la actividad artesanal da ocupación a más de tres millones de personas, distribuidas

en más de 23 mil talleres artesanales registrados formalmente, estimándose que una cifra similar, cuando menos, representa el número de talleres informales. La escasa calidad en el diseño es una de las mayores debilidades en la producción de la artesanía peruana de exportación, por lo que no cumple con las necesidades y exigencias del actual mercado mundial, que requiere productos ventajosos, variados y modernos. También, el costo es un factor de la eficiencia con que se administra la producción, principalmente, y de manera complementaria los procesos de abastecimiento y venta.

En sectores como el aeronáutico, aeroespacial, eólico o médico, fabricar productos con una calidad muy alta y a la primera, es fundamental. Para ello, es importante utilizar técnicas avanzadas de diseño, modelos predictivos del proceso de corte, así como técnicas de monitoreo online para detectar y corregir errores que apoyen a conseguir una producción estable y sin defectos.

Según la compañía internacional fabricante de tecnologías laser TROTEC, en el mundo la aplicación de grabado es muy utilizable y cada vez va en aumento, Apple utiliza el grabado en laser para personalizar con diseños sus modelos de sus iPhone y así poder elevar los costos de estos equipos y también tener una exclusividad con sus clientes. En México empresas dedicadas a la fabricación de asientos, accesorios reclinables para automóviles en cuero con diseños netamente exclusivos, cuentan con áreas de corte y grabado en cuero, y para estos trabajos utilizan maquinas laser. En Canadá empresas dedicadas a prestar servicios de grabado a mineras, realizan trabajos como grabado de etiquetas para sus equipos o accesorios, grabado de códigos y modelos a equipos. Peter McCan uno de los más importantes maquetistas de Canadá usa fresadoras y laser para cortar contrachapado fino, madera, acrílico y papel para construir maquetas arquitectónicas. En países como Francia, Austria, Reino Unido, agencias dedicadas a la arquitectura y modelismo realizan procesos de corte y grabado para realizar sus maquetas arquitectónicas pudiendo así aumentar su producción y también su competitividad.

En la actualidad en la ciudad de Trujillo la artesanía realizadora de corte, grabados y tallados en acrílico y MDF, afronta un gran problema, debido al escás tecnología para realizar dicho trabajo. Las diferentes piezas artesanales que fabrican ya sean llaveros en acrílico, recordatorios, regalos para premios o reconocimientos, tallado de cuadros, personalización de regalos, son hechos a mano, o cortados por maquinas convencionales que son manuales lo cual genera malos acabados, o discontinuidades en las aristas del

acrílico. Es importante resaltar que en la ciudad si existe maquinas laser, para realizar este tipo de cortes, pero al nivel económico de estos microempresarios, es muy costoso realizar estos trabajos. Por lo cual es importante la versatilidad en la fabricación de piezas, tener una buena precisión en el corte, una buena resolución, tener piezas repetitivas de igual forma, en efecto tener una máquina que se adapte al tipo de trabajo requerido por el cliente, además de ser fácil de transportar a diferentes lugares.

Pérez (2015) en su tesis titulada “diseño de una cortadora laser CNC de CO2 para acrílicos y madera”, afronto la problemática de corte con precisión en madera y acrílicos, que eran los requerimientos más demandados en la sociedad, en estudiantes universitarios de arquitectura y pequeñas empresas dedicadas a sector de manualidades y artesanía. Teniendo, así como objetivo principal diseñar una cortadora laser de bajo costo, de tal manera que sea accesible para universitarios y microempresas, para esto realizó una investigación descriptiva, y posteriormente usó una metodología de diseño y selección basada en una lista de requerimientos técnicos (mecánicos, electrónicos, control y economía), obteniendo resultados, medianamente satisfactorios, el costo de la máquina (\$4900) el principal objetivo, fue menor a las que se encuentra en el mercado (\$6000), respecto al diseño se obtuvo una máquina de baja potencia (laser), pero que si cumplía con las necesidades y requerimientos de diseño. Y concluyendo así, principalmente el trabajo pretendió y consiguió reducir costos en cada área de la máquina, debido al uso de un láser de menor potencia y uso de materiales de piezas y tornillos en el mercado local. Es más económico comprar algunos componentes en el mercado local, que importados ya que estos son encarecidos. Aunque no se menciona en la investigación la maquina tiene un bajo costo de operación ya que se consideró una baja potencia del láser y se diseñó los circuitos de control que pretenden optimizar el uso casi exclusivo de la corriente para los motores. Logrando diseñar una maquina con mayor capacidad a las que existen en el mercado, con mayor calidad de componentes y una mejor precisión (resolución de corte)

Chávez, Chávez, Rivera y Roa, (2015), en su trabajo terminal II titulado “prototipo cortador y grabador laser”, abordaron la problemática control de potencia de corte y grabado para tener trabajos de mejor calidad, extracción de gases emitidos por el láser que obstruyen la luz de este ocasionando un mal funcionamiento, enfriamiento del sistema para tener una potencia y longitud de onda optima del láser. Teniendo como

objetivo general diseñar y construir un prototipo cortador y grabador láser, para ello realizaron una investigación descriptiva y aplicada, y luego usaron una metodología de diseño mecánico y electrónico basados en la problemática, obteniendo como resultados una máquina fabricada en perfil de aluminio estructural, y operada con un control numérico que tiene como funciones principales grabar y cortar materiales no metálicos usando un láser de diodo con una longitud de onda de 808nm, implementado un sistema de extracción de gases emitidos por el láser, concluyendo en el sistema mecánico, enfocando al proceso de elaboración de piezas, se obtuvo una mejor resolución en comparación a trabajos antecesores, los sistemas de electrónica para control son modificables, permitiendo la fabricación de piezas con diseños personalizados y estándares.

Castro y Guamán (2015), en su proyecto para obtener el título; “diseño y construcción de un maquina CNC para el corte y grabado en madera utilizando láser de co2, implementado con hardware y software de uso libre como sistema de control”, abordaron la problemática de precisión y mejor calidad en los productos realizado por maquinas convencionales, reducir el uso de personal trabajador. Teniendo como objetivo, diseñar, construir e implementar una máquina CNC para corte y grabado en madera. Para ello realizaron una investigación descriptiva aplicada, apoyándose de una metodología de diseño y control por software, obteniendo el resultado de una máquina CNC cortadora y grabadora láser en madera implementado un sistema de control usando hardware y software libre. Concluyendo que hardware y software abren grandes posibilidades para personalizar diseños en sistemas de control en máquinas CNC, funciona en corte y grabado de madera y otros materiales a fines (MDF, triplex, acrílico, cartón, papel, entre otros). La velocidad de trabajo será en función a las características del material a maquinar siendo el espesor del material fundamental, pues a mayor espesor se necesitará menor velocidad y viceversa,

Sosa y Tonato (2015) en su tesis titulada “Diseño y Construcción de una Maquina Industrial de Control Numérico Computarizado Tipo Router para la Empresa Metalmecánica GUTTI C.A.”: abordo la problemática de La empresa Gutti C.A. se encarga de realizar diversos proyectos bajo pedido entre los cuales se encuentran aquellos que requieren piezas personalizadas de tallado en materiales como madera y aluminio. Por lo general, este tipo de trabajos se realiza de manera manual, invirtiendo gran

cantidad de tiempo y dinero, además de que se requiere de personal especializado, dependiendo de la complejidad de la pieza, teniendo como objetivo Diseñar y construir una máquina-herramienta CNC tipo router industrial para la empresa metalmecánica Gutti C.A., para ello realizo una investigación descriptiva, practica y aplicada Obteniendo que la maquina CNC tipo router tiene las siguientes especificaciones: área de trabajo (1200 x 1200 mm), precisión (+/-0.1mm), velocidad de avance rápido (2000 mm/min), velocidad de corte (1000 mm/min) y recorrido mínimo de eje Z (15 mm) y además logro cumplir con la fabricación de piezas personalizadas en madera y aluminio con geometrías complejas.

Quimbita y Sánchez (2008) en su tesis titulada “Diseño y Construcción de un Router CNC para la Fabricación de Puertas de MDF”: abordo la problemática la fabricación de las puertas en MDF sigue siendo manual, tal es así que los fabricantes utilizan diferentes técnicas y metodologías de diseño y construcción, las cuales varían de acuerdo a la complejidad de formas y tamaños, dando como resultado un producto final que no goza de un buen terminado, teniendo como objetivo Diseñar y construir un router CNC para la construcción de puertas en MDF para ello realizo una investigación descriptiva y aplicada Obteniendo que el diseño y construcción del router CNC asegura la fabricación personalizada o en serie de una infinidad de diseños de puertas de madera con un acabado preciso y exacto, reduciendo el tiempo de mecanizado y los residuos de materiales, y logrando un incremento notable en la producción.

Garcia (2009) en su tesis titulada “Diseño e Implementación de un Control CNC para Crear Modelos y Esculturas en Tercera Dimensión a Partir de un Diseño CAD”: abordo la problemática el elevado costo del producto final de elaboración de modelos en el plano y tres magnitudes de escudería y medallas, ya que se necesita de un escultor que realiza una asesoría externa en la elaboración de estos modelos, teniendo como objetivo Diseñar e implementar un control numérico computarizado (CNC), para motorizar el fresado convencional, y a partir de esta elaborar modelos en tres magnitudes, para ello realizo una investigación aplicada, obteniendo que este tipo de máquina versátil como lo son las maquinas CNC, puede satisfacer los requerimientos de las empresas industriales colombianas, logrando piezas de gran precisión y repetitividad en su maquinado.

I.1. Teorías relacionadas al tema.

A. Control Numérico Computarizado (CNC)

“El CNC consiste en el empleo de información codificada numéricamente para ejercer funciones de control de dispositivos” (Abdón Sánchez, 1991, p.94).

Si son equipos para la manufactura de piezas en muchos materiales (metales y otros materiales industriales), se habla de control numérico computarizado en máquinas herramientas, por ejemplo: Cortadoras, fresadoras, taladros, etc. En la Figura 1 se muestra el diagrama de control de una maquina CNC.

Ventajas de un sistema CNC

Las ventajas de este tipo de maquina según Gómez y Muñoz (2006):

- Facilidad de fabricar piezas muy complejas o casi imposibles de adquirir con máquinas convencionales.
- Precisión, debido a que las articulaciones mecánicas son menos importantes y la máquina-herramienta en su complemento tiene mayor precisión.
- Versatilidad, gracias a su sistema de control automático, se puede realizar diferentes funciones y operaciones, a diferencia que las maquinas convencionales no pueden.
- Permite reducir el tiempo de los ciclos de operación. Los factores para reducir el tiempo de maquinado son:
 - Trayectorias más pequeñas debido a su precisión y velocidades más grandes gracias a su sistema de control.
 - La verificación de medidas en operaciones se reduce.

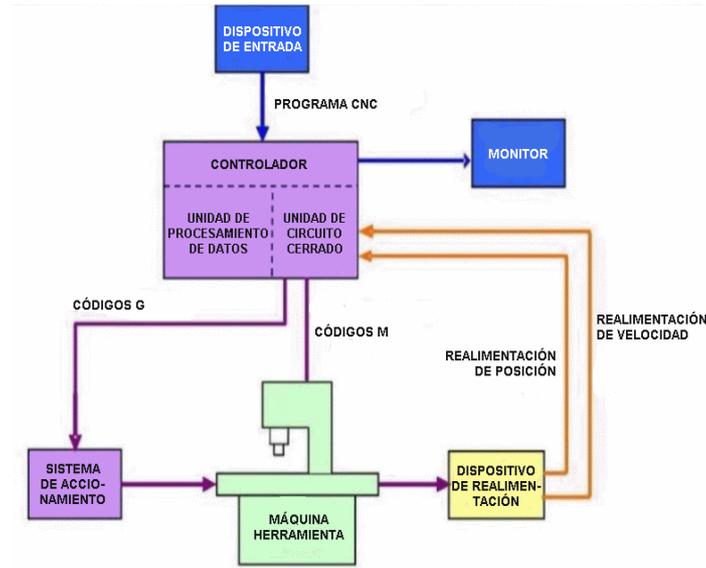


Figura 1: Diagrama de control de una CNC clásica

Fuente: De máquinas y herramientas (web)

B. Sistemas de Control de Movimiento.

- a. **El control punto a punto** es la trayectoria que sigue la herramienta, pero con coordenadas de puntos como se muestra en la Figura 2 (a). En el maquinado convencional es más usado para la ubicación donde se realizará la perforación o taladrado.

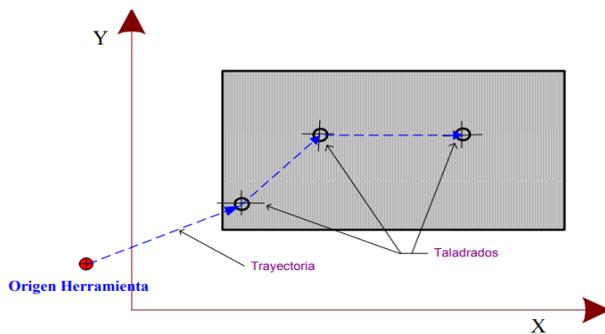


Figura 2: (a) Control punto a punto

Fuente: Gavilema, S. (2016)

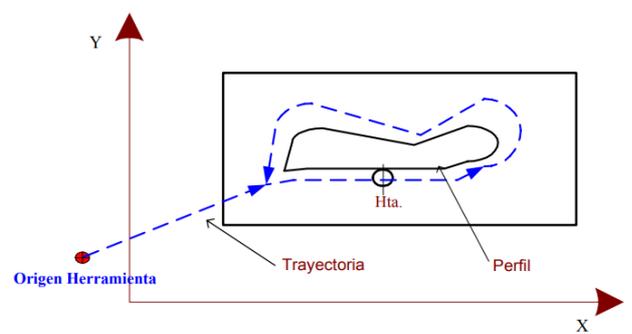


Figura 2: (b) Control de contorno

Fuente: Gavilema, S. (2016)

- b. **Los sistemas de control de contorno** dan como resultado una trayectoria de la herramienta controlada mediante la interpolación de coordenadas como se observa en la Figura 2 (b).

- **Interpolación lineal.**

La herramienta hace movimientos rectilíneos desde el punto que inicia hasta el punto final de la operación, en dos o más ejes. Conceptualmente, todos los diferentes modelos de trayectos son posibles realizarlos con este sistema, pero es obligatorio procesar bastantes datos como se presenta en la Figura 3(a).

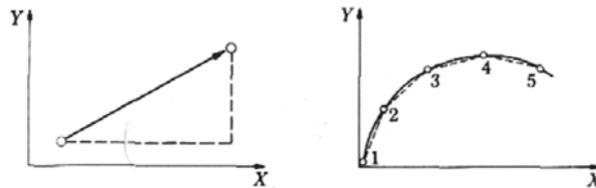


Figura 3: (a) Interpolación lineal

Fuente: Gavilema, S. (2016)

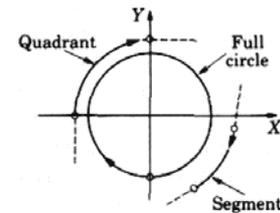


Figura 3: (b) Interpolación circular

Fuente: Gavilema, S. (2016)

- **Interpolación circular.**

Los datos que se requiere son la ubicación de los puntos de comienzo y finalización, la ubicación del punto centro de los círculos y la orientación de la herramienta en todo el recorrido del arco como se muestra en la Figura 3 (b).

C. CONCEPTOS TEÓRICOS.

- **Precisión.**

Según Rubio (2016) lo define como, que tan exacta es la maquina en llegar a una determinada ubicación. Las maquinas CNC pueden tener una precisión de posicionamiento de aproximadamente $\pm 3\mu\text{m}$.

- **Versatilidad.**

Según GROOVER (2007), es la competencia de una máquina para adecuarse rápidamente y fácil a diferentes funcionalidades

La versatilidad de una maquina CNC, va depender de la cantidad de grados de libertad que tenga, de la variedad de materiales y formas que maquine.

Es decir, a mayor cantidad de grados de libertad, a mayor variedad de materiales y formas de maquinado tendremos una maquina más versátil.

Grados de Libertad. - Según Candel (2011) es la cantidad mínima de parámetros que requerimos establecer para definir totalmente las velocidades de mecanismos o la cantidad de esfuerzos en una estructura.

Tipos de materiales. - Según Larburú (1994) una maquina CNC fresadora tiene que estar diseñada para poder mecanizar distintos tipos de materiales, el parámetro que usamos para medir esto es la fuerza de corte. Mientras la maquina CNC fresadora pueda generar un alto valor en la fuerza de corte indica que tiene la capacidad de maquinar materiales con valores grandes de resistencia al corte; por ello para tener una maquina versátil se necesita adecuar este parámetro al material más resistente, así, para materiales blandos la maquina podrá cumplir su función sin esforzarse.

- Repetitividad.

Según Pagano (2000) lo define como la desigualdad en los resultados de cambio de posición de la misma magnitud del mecanismo que realiza la máquina, bajo los mismos parámetros de operación, que en general la repetitividad ronda en los 8 μm . La repetitividad de una maquina CNC va depender del sistema de control y selección de los motores.

- Resolución.

Según Pierdafita (2004) lo conceptualiza como el cambio de posición más pequeño que pueden realizar estas máquinas, que se acerca a los 2.5 μm . La flexibilidad en los mecanismos de transmisión de movimiento satisface un papel muy significativo en cuestión a precisión. La resolución de una maquina básicamente depende de los motores seleccionados, cuan capaces son los motores de realizar paros y avances.

D. Código G.

Según Gómez y Muñoz (2006) El código G mostrado en la tabla 1 son funciones principales que intervienen en los movimientos de esta máquina. Los códigos G tienen acciones de movimiento veloces, pausas, avances y ciclos

Tabla 1 : Códigos G

Código	Definición	Código	Definición
G00*	Posicionamiento rápido	G41	Compensación de radio a izquierdas.
G01	Interpolación lineal	G42	Compensación de radio a derechas
G02	Interpolación circular a derechas	G43	Compensación de longitud
G03	Interpolación circular a izquierdas	G44*	Anulación de compensación de longitud
G04	Temporización, duración Programada	G49	FEED-RATE programable
G05	Trabajo en arista matada	G50	Carga de dimensiones de herramienta en la tabla
G06	Interpolación circular con programación del centro del arco en coordenadas absolutas	G53- G59	Traslados de origen
G07*	Trabajo en arista viva	G70	Inicio subrutina
G08	Trayectoria circular tangente a la trayectoria anterior	G71*	Llamada subrutina
G09	Trayectoria circular definida mediante tres puntos	G72	Factor escala
G10*	Anulación imagen espejo	G73	Giro sistema de coordenadas
G11	Imagen espejo en el eje X	G74	Búsqueda automática de referencia – máquina
G12	Imagen espejo en el eje Y	G75	Trabajos con palpador
G13	Imagen espejo en el eje Z	G76	Creación automática de bloques
G17*	Selección del plano XY	G79	Ciclo fijo definido por el usuario
G18	Selección del plano XZ	G80*	Anulación de ciclos fijos
G19	Selección del plano YZ	G81	Ciclo fijo de taladro
G20	Programación en pulgadas	G82	Ciclo fijo de taladro con temporización
G21	Programación en milímetros	G83	Ciclo fijo de taladro profundo

Fuente: Pilatásig y Sánchez (2013)

La programación tiene bloques cada uno con su llamada variable de programación que son (Pilatásig y Sánchez, 2013).

N: Numero de bloque (comienzo de bloque); G: Comando preparatorio; X: Coordenada X; Y: Coordenada Y; Z: Coordenada Z; I: Ubicación en X del centro de un arco; J: Ubicación en Y del centro de un arco; K: Ubicación en Z del centro de un arco; S: Velocidad del cabezal; F: Asigna velocidad de avance; M: Comando auxiliar.

E. Código M.

Según Gómez y Muñoz (2006) los códigos M mostrados en la tabla 2 son comandos auxiliares que se necesita para mecanizar los componentes, es decir ayudan al cambio de posición de la maquina (encendido, detención de la herramienta, sustitución de herramienta, sistema de refrigeración, paro de programa, etc.)

Tabla 2: Códigos M

M00	Parada de programa
M01	Parada condicional del programa
M02 – M30	Final del programa
M03	Arranque del cabezal a derechas
M04	Arranque del cabezal a izquierdas
M05	Parada del cabezal
M06	Cambio de herramienta
M08	Encendido del sistema refrigerante
M09	Apagado del sistema refrigerante
M47	Repita el programa desde la primera línea
M48	Habilitar la velocidad y la alimentación
M49	Deshabilitar la velocidad y la alimentación
M98	Llamado a subrutina
M99	Retorna desde la subrutina y repite

Fuente: Pilatásig y Sánchez, (2013)

El CNC cuenta con una sucesión de partidas codificadas para que ayudan a realizar alguna función auxiliar. Dichas partidas son estipuladas a las tareas

que se requiere en el comienzo de puesta en marcha de esta máquina. Las funciones que no fueron estipuladas a partidas codificadas se establecen siempre al empezar el bloque en que están programadas.

F. Maquinas herramientas CNC.

Según KALPAKJIAN (2002) se llama maquina CNC, al que equipo que tiene una operación mediante un control numérico computarizado, que usa un código programable para elaborar un componente determinado, este código se obtiene manualmente o a través de un programa (software) CAD – CAM, partiendo de un diseño 3D de dicho componente.



Figura 4: CNC grabando en alto relieve

Fuente: <https://zmorph3d.com/products/toolheads/cnc-pro>

Existen distintos tipos de máquinas CNC que KALPAKJIAN (2002) describe:

Maquinas herramientas. - Son los equipos en los que se ponen en marcha los códigos de CNC realizados en los softwares CAD-CAM.

En el mercado existen una variedad de tipos que cubren los requerimientos en gran parte en procesos industriales, las más conocidas son:

- **Fresadoras.** Estos equipos son utilizados para maquinar espacios independientes y perimétricos, se usa una herramienta rotatoria para cortar y un trayecto rectilíneo para el avance.

El material es empujado en la fresa, o viceversa, en trayectos rectilíneos o curvilíneos, para generar los elementos diseñados de piezas.

- **Tornos.** Los Tornos CNC son utilizados para realizar mecanizados de pieza de revolución, para llevar acabo la función del torno se necesita que la pieza gire e intercepte en un punto con la herramienta de corte, logrando así las piezas de revolución.
- **Taladradoras.** Son utilizados para la perforación de materiales según diseños.
- **Centros de Maquinado.** Son máquinas sofisticadas que mezclan la tecnología del torno y fresadora, logra la realización de piezas más complejas.
 - Partes de las maquinas CNC.

Según KOSOW (2003) las partes principales de una maquina CNC son:

a.) estructura.

En la estructura se encuentran montado todas las partes mecánicas de la máquina, cada uno de estos equipos montados en la estructura cumple funciones específicas y dan alojamiento a otros ensambles.

Los elementos mecánicos que competen a la estructura son diseñados en función a la carga que van a soportar, puede ser mediante análisis estáticos o dinámicos según sea el caso.

b.) Actuadores (Motores).

Son equipos que brindan el movimiento a la máquina, además, son los encargados de convertir la energía eléctrica en energía mecánica.

Lo más común encontrar en las maquinas CNC son motores paso a paso o servomotores según sea la aplicación:

c.) Servomotor.

Un servomotor tiene la característica de ser controlado mediante velocidad y posición. En la Figura 5 se puede observar un servomotor



Figura 5: Servomotor

Fuente: (KOSOW, 2003)

Un servomotor para su control de movimientos tiene adosado un encoder, lo cual nos permite controlar su posición y/o velocidad, logrando así tener una gran precisión en el monitoreo de este.

“la característica de un motor de alimentación continua es que su celeridad se puede conservar constante, ya que para las aplicaciones de control la velocidad de un motor tiene que ser conocida” (Pilatásig y Sánchez, 2013).

d.) Motor a pasos.

“Los motores de pasos poseen una característica de ser muy precisos en sus movimientos, esto se debe el hecho de controlar un paso a la vez por cada señal que se le envíe. Los pasos de los motores pueden variar en un rango de 90° - 1.8° , es decir, para el caso de 1.8° por señal se necesitaría 200 señales para completar una vuelta de 360° ” (KOSOW, 2003). En la Figura 6 se puede observar un estator de 4 bobinas y un rotor.

Los motores paso a paso también se pueden enclavar en una posición fija o quedar libres en su funcionamiento. Si se energiza más de una bobina del motor, este se enclava en dicha posición y si no se energiza ningún bobinado este quedará libre.

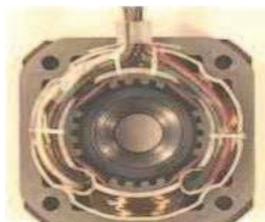


Figura 6: (a) Estator de 4 bobinas

Fuente: (KOSOW, 2003)

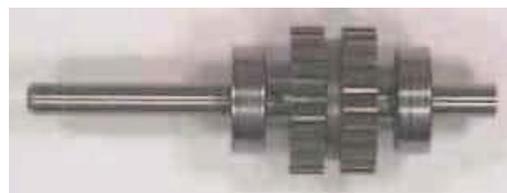


Figura 6: (b) Rotor dentro del motor

Fuente: (KOSOW, 2003)

d.1.) Bipolar.

Mayormente estos tipos de motores tienen cuatro cables en su salida como se muestra en la figura 7. Son necesarios usar ciertos trucos para su control, ya que es necesario la inversión de corriente debido a un cambio de giro.

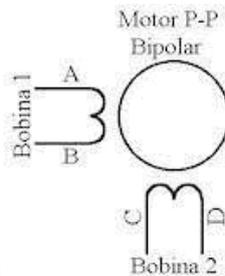


Figura 7: Motor a pasos bipolar

Fuente: (KOSOW, 2003)

El cambio de la corriente que viaja en su bobinado en una sucesión definida. Cada cambio de la polaridad genera el desplazamiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está definido por la siguiente sucesión.

En la tabla 3 se muestra la sucesión que se necesita para gobernar motores a pasos Bipolares.

Tabla 3: Secuencia para gobernar motores a pasos bipolares.

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Fuente: (KOSOW, 2003)

d.2.) Unipolar

Este tipo de motor lleva 5 o 6 cables en su salida, la característica principal de este motor es que es más fácil de controlar, y su diagrama de conexión de muestra en la figura 8.

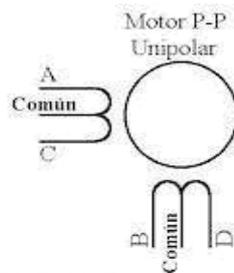


Figura 8: Diagrama del motor pasó a paso unipolar
Fuente: (KOSOW, 2003)

G. Tableros de control:

Los tableros de control CNC llevan todos los controles para el funcionamiento de la máquina. Algunas máquinas más completas incluyen la programación del maquinado de la pieza.

1. Tipos de control.

“El sistema de control automático de movimiento lleva a cabo que el valor de salida sea el valor requerido. Para esto, el actuador transforma una señal de ingreso (señal de control) en una señal de marcha (desplazamiento gobernado)” (KUO, 1996).

Hay dos formas de realizar este control, una es de lazo abierto y otra de lazo cerrado:

a.) Lazo libre

Se usa en procedimientos muy simples. Ya que no poseemos un sensor agrupado al actuador, no logramos gozar de un control justo de la carga, aunque exista una señal de orden que imprima un punto de función asegurado de la celeridad (figura 9).



Figura 9: Control a lazo libre

Fuente: KUO (1996)

b.) Lazo cerrado

Es tipo de control más recomendable para llevar a cabo un control más preciso figura 10.

Entregada una señal de orden, el medio actúa con alta velocidad, precisión y confiabilidad en el manejo de variables.

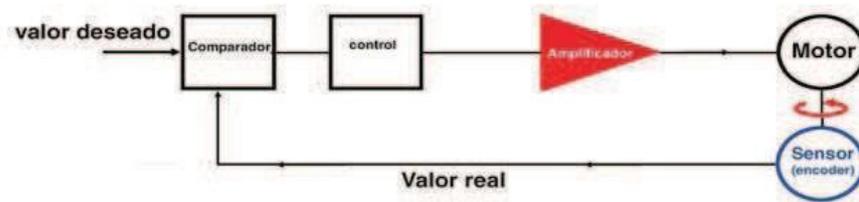


Figura 10: Control de lazo cerrado

Fuente: KUO (1996)

El método requiere mayor cableado: se tiene que brindar al control la ubicación real del motor.

2. Tarjetas de control.

a. Controlador de 1 Sección 1Q.

Puede acelerar al motor (celeridad y par en un solo sentido). Funciona exclusivamente en el primer o tercer cuadro, no facilita un frenado controlado.

b. Controlador de 4 Secciones 4Q.

Gobiernan la velocidad en los dos sentidos de giro abriendo paso a realizar frente a las variaciones de la carga, aun durante la aceleración o el frenado, trabajan en los 4 cuadrantes figura 11.

Admite reducir la velocidad de modo activa en ambos sentidos de giro. Es decir, permite emplear un par de frenado libremente del sentido de giro.

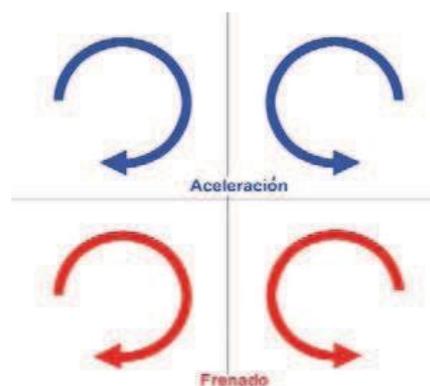


Figura 11: Cuatro cuadrantes: aceleración y frenado en los dos sentidos de giro

Fuente: KUO (1996)

H. Automatización.

Según Carrillo (2011), es una habilidad industrial que necesita integrar tres ocupaciones básicas:

- Control automático de los equipos.
- Conceder un sistema de retroalimentación.
- Manejo eficaz del material.

a. Automatización industrial

La automatización industrial esta diferenciado por fases de constantes creaciones tecnológicas. Esto es a consecuencia que los sistemas de automatización se encuentren reducidamente relacionados a los acontecimientos económicos internacionales.

Hay tres tipos de control automático industrial:

- **Automatización fija**

Es usada cuando se tiene una producción muy alta y se justifica económicamente el alto precio del diseño de los equipos especializados para fabricar el producto, con un beneficio alto y tazas de fabricación excelsas.

- **Automatización programable**

Es usado cuando el volumen de fabricación de productos es de medio bajo y esta una variedad de productos a conseguir.

- **Automatización flexible**

Es la más usada para producciones de productos medios, tiene las características de las 2 mencionadas anteriormente.

I. METODOLOGÍA DE DISEÑO.

En ingeniería las metodologías de diseño son un proceso concreto de acciones que tienen como objetivo diseñar sistemas técnicos, que dimanen de conocimientos de la ciencia del diseño, de la psicología cognitiva y de la experiencia en diferentes campos prácticos. Pahl y Beitz (2006).

Una metodología de diseño, además de otras características, según estos autores, debe:

- Ser adaptable a todo tipo de diseño, sin importar la especialidad que sea.
- Agilizar la búsqueda de alternativas de solución óptimas.
- Ser similar con los conceptos, métodos y resultados de diferentes disciplinas.
- No creer en la contingencia en la búsqueda de soluciones.
- Ser asequible.
- Reducir la complejidad del trabajo, acortar tiempos y evitar errores humanos.
- Facilitar la planificación y el trabajo en equipo.

1. Estructura de la metodología de diseño:

Según Pahl y Beitz (2006), una metodología está basada en cuatro principales etapas. Figura 16

- Clarificación de la tarea y generación de especificaciones.
- Diseño conceptual.
- Diseño de materialización.
- Diseño de detalle.

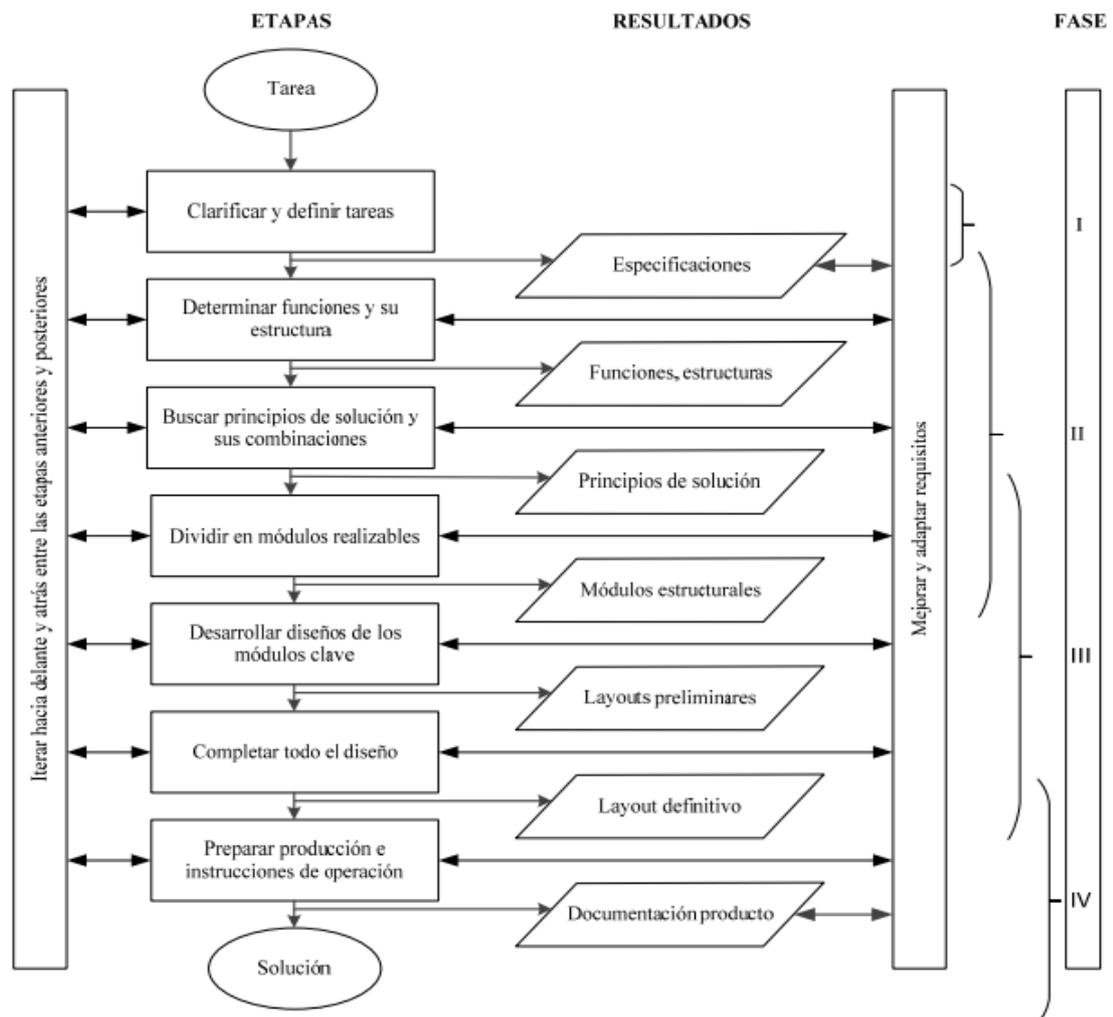


Figura 12: Estructura de metodología de Diseño

Fuente: Pahl y Beitz (2006)

2. Metodología en diseño de Ingeniería:

Robert Mott (2006) en su libro Diseño de elementos de máquinas, sugiere seguir los siguientes pasos:

- Identificar el elemento a diseñar.
- Elaborar un diagrama de cuerpo libre.
- Identificar el tipo de análisis a realizar.
- Realizar una lista de los datos e hipótesis.
- Insertar las fórmulas y variables a usar.
- Simplificar las ecuaciones y obtener valores.
- Analizar los resultados.
- Publicar los resultados.

3. Metodología de diseño para máquinas.

Robert Norton, sugiere que se debería seguir los siguientes pasos:

a. Identificar la necesidad:

Es un paso fundamental de la metodología, consiste básicamente en conocer la necesidad (lo que se necesita), sin importar equipo o máquina. Las soluciones se ven después.

b. Investigar las posibles soluciones:

Es una revisión detenida y detallada del problema, y buscar posibles soluciones viables a este.

c. Plantear el problema:

Después de haber identificado e investigado la necesidad y sus posibles problemas, el siguiente paso es plantear la necesidad del cliente técnicamente en parámetros ingenieriles.

d. Especificaciones de tarea:

Conociendo el problema en parámetros ingenieriles, se define las funciones, variables y características técnicas que deberían satisfacer el problema. Por ejemplo; velocidad de corte, potencia de corte, potencia de láser, etc.

e. Idear e Inventar:

Conociendo la necesidad, y las funciones y parámetros que debe cumplir se procede a idear la solución (diseño mecánico) que satisfaga el problema y cumpla las funciones. En este paso se debe de idear más de una posible solución.

f. Analizar:

En este paso se analiza los datos técnicos, su confiabilidad, su mantenimiento, su costo, su ergonomía del equipo.

g. Seleccionar:

Con el análisis de datos, se evalúa de acuerdo a una matriz de decisión, es decir de las posibles soluciones planteadas, y se selecciona la alternativa más adecuada, en la cual se empezará a realizar el diseño de detalle.

h. Diseño detallado:

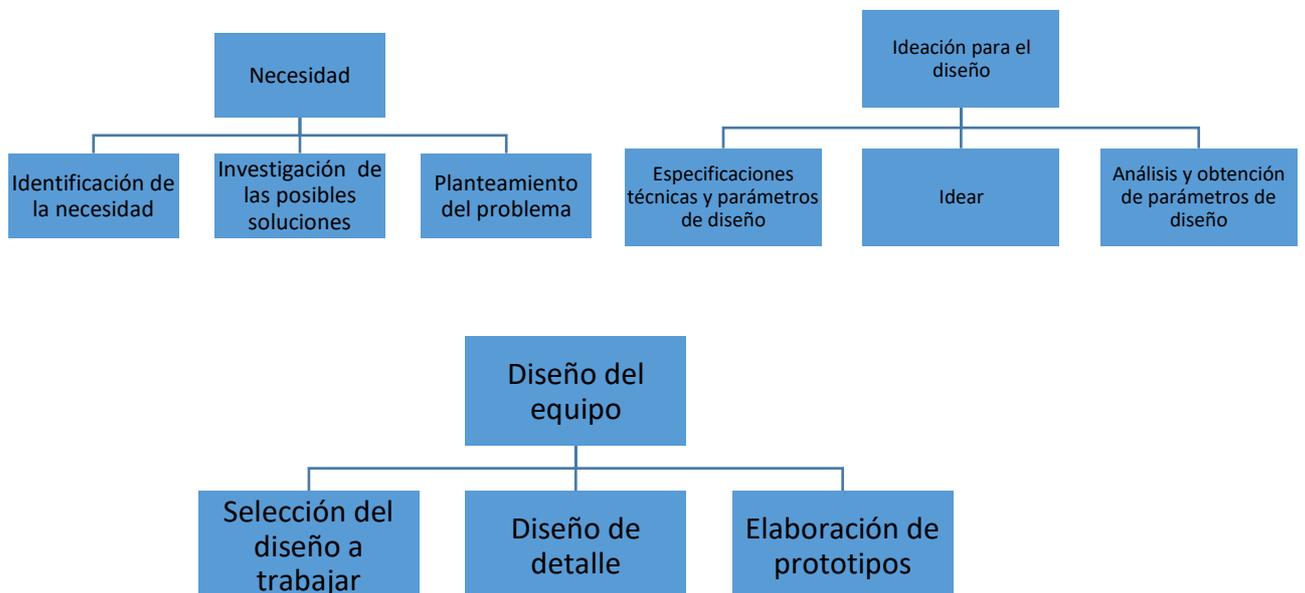
En el diseño detallado, se calcula la maquina a detalle, el diámetro del eje, diámetro de los pernos, soldadura, etc.

i. Elaborar prototipos:

Es la parte final del diseño, se construye un prototipo de la máquina para ir mejorando errores de diseño. En la actualidad, los pasos de diseño detallado y elaboración de prototipos van de la mano, debido a las nuevas tecnologías de CAD/CAE, pues nos permite elaborar un prototipo o una maquina real virtualmente antes de construir, ayudándonos así muchas veces eliminar la necesidad de construir un prototipo de laboratorio.

j. Producción:

Es la etapa en la cual se construye la maquina real ya probada en el prototipo. Es recomendable si se va a producir en serie tener un prototipo virtual y una maquina real antes de producir, ya que un pequeño error puede ocasionar grandes problemas.



I.2. Formulación del problema.

¿Cómo incrementa la versatilidad en la fabricación de piezas artesanales en acrílico y MDF?

I.3. Justificación del estudio.

La importancia de tener una maquina CNC fresadora y grabadora laser (dos en una), es que vamos a gozar de un potencial tecnológico al alcance de nuestras manos, pudiendo así realizar trabajos como cortes y marcados ya sea en medianas y grandes empresas dedicadas a la industria automotriz, industria del vidrio, industria electrónica, industria del metal, etc. Eso es en relación a la CNC fresadora. En relación a grabado en laser tenemos un campo más amplio, en pequeñas y medianas empresas dedicadas a fabricación anuncios publicitarios, artículos promocionales, grabados generales, premios de reconocimiento en acrílico y madera, personalización de regalos por medio de grabado. Es importante contar con una maquina CNC fresadora y grabadora laser en una industria ya que se aumentaría la competitividad y la rentabilidad de la empresa, ya que en trabajos de repetitividad tendríamos más exactitud y podríamos realizar grabados y cortes en materiales difíciles de maquinar manualmente.

Debido al costo elevado de las maquinas cortadoras laser, los microempresarios artesanales no están en la capacidad económica de comprarlas, es un motivo más por lo que se diseñó y se implementó esta CNC fresadora y grabadora laser, debido que su costo de fabricación es bajo. Además, al realizar trabajos con un muy buen acabado incrementa el valor económico de ventas de estas piezas lo cual en efecto tendrán mayores ingresos.

Es importante en estos talleres artesanales contar con una maquina versátil, capaz de adaptarse a cualquier tipo de trabajo, y realizar diferentes tipos de corte y grabados, con una capacidad de cortar y grabar repetitivamente la misma pieza sin tener errores y/o diferencias.

También hoy en día podemos ver que la sociedad demanda más en regalos personalizados, lo cual por medio de un grabado en laser y un tallado por fresadora se puede realizar esto. Por ejemplo, en el 2019 en los juegos panamericanos, seria de vital importancia contar con una máquina CNC fresadora y grabadora laser, que pueda realizar cortes y grabados, para hacer pequeños recordatorios (llaveros,

cuadros, recordatorios personalizados, etc.), ya que estos serán comprados en grandes cantidades por turistas que visitaran nuestro país debido a esta fiesta deportiva.

I.4. Hipótesis.

Implementando una maquina CNC fresadora y grabadora laser si incrementa la versatilidad en la fabricación de piezas artesanales en acrílico y MDF

I.5. Objetivos.

I.5.1. Objetivo General

Desarrollar e implementar una Fresadora y Grabadora láser CNC para incrementar la versatilidad en la fabricación de piezas artesanales en acrílico y MDF.

I.5.2. Objetivos Específicos

- 1) Determinar los criterios de diseño a partir de los requerimientos técnicos y necesidades de las empresas artesanales de Trujillo.
- 2) Diseñar la estructura morfológica de la maquina CNC tal que cumpla los requerimientos técnicos y necesidades de las empresas artesanales de Trujillo.
- 3) Seleccionar el sistema actuador, sensórico y control electrónico.
- 4) Integrar la estructura mecánica, eléctrica y electrónica mediante la programación.
- 5) Validar los resultados a partir de diversas aplicaciones.
- 6) Elaborar el presupuesto de fabricación de la máquina.

II. MÉTODO

II.1. Diseño de investigación.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2010), una investigación es; aplicada cuando se tiene como objetivo resolver un problema específico, buscando y consolidando un conocimiento para aplicarlo, de alcance descriptivo cuando se describe fenómenos, situaciones, características, parámetros, contextos, etc., con datos cuantitativos cuando dichos datos se pueden cuantificar, contar y medir, con un diseño pre experimental cuando se realiza una sola medición de una o más variables.

Por lo que decimos que;

Nuestra investigación es de tipo aplicada, ya que usamos y revisamos teorías y algoritmos descubiertos por investigaciones ya realizadas.

Esta investigación es de alcance descriptivo, con datos cuantitativos ya que describimos nuestras variables y estas son medibles y nos permite un mayor nivel de control.

Nuestra investigación tiene un diseño pre experimental ya que una vez construida la maquina solamente se estudia y se analiza la versatilidad

II.2. Variables, Operacionalización.

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Versatilidad	Variable Dependiente	Es la capacidad de algo o alguien de adaptarse con rapidez y facilidad a distintas funciones	La capacidad de poder realizar nuevos diseños de piezas artesanales en distintos materiales.	Tipo de material	Fuerza de Corte	Nominal
				Tipos de formas	Resolución	De razón

II.3. Población y muestra.

Fresadora y Grabadora laser CNC

II.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

En este proyecto se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos de investigación de recolección de datos respectivamente:

Entrevista.

Se planificaron entrevistas con diferentes gerentes de talleres artesanales, y también se entrevistó al personal operario de máquinas convencionales para obtener la información necesaria y poder plasmarla en parámetros ingenieriles.

Guía de entrevista.

La guía de entrevista cuenta con una serie de preguntas puntuales que nos ayudaron a identificar las necesidades de estos talleres artesanales, y también información relevante que nos ayudaron al proceso de selección.

Observación.

Se le entrego un formato a cada gerente de diferentes talleres artesanales, para que ellos puedan hacer la comparación de las piezas mediante sus características, que se fabrica en la máquina CNC, con las que fabrican con máquinas convencionales.

Ficha de observación.

La ficha de observación cuenta con una serie de características y niveles de calidad que los gerentes de diferentes talleres de acuerdo a su criterio evaluaron, las piezas que fabrica la máquina CNC, con las que fabrican las maquinas convencionales.

II.5. Métodos de análisis de datos.

Los datos obtenidos en las entrevistas fueron plasmados en parámetros ingenieriles por medio de un análisis estadístico, posterior a esto se realizó el diseño mecánico de la máquina, basándonos en una metodología de diseño de Robert Norton. Una vez diseñada la maquinada, se realizó simulaciones en SOLIDWORKS para determinar esfuerzos y eliminar posibles errores. El sistema de control, se diseñó en base a estudios y recomendaciones previas. Finalmente, para evaluar la versatilidad, se hizo uso de una herramienta de análisis de datos (observación) validada por expertos; la finalidad de esta observación es realizar una comparación de piezas que se hacen manualmente y las que hará la máquina, y posteriormente se hará un análisis estadístico para concluir y reafirmar la hipótesis.

II.6. Aspectos éticos.

La presente investigación se realiza teniendo en cuenta los principios éticos recomendados para este tipo de investigación, ya que es un trabajo inédito de los autores, y en caso existan aportes o datos consignados por otros autores, serán debidamente referenciados.

III. RESULTADOS.

III.1. Requerimientos técnicos y Necesidades de las Empresas artesanales de Trujillo.

Los requerimientos técnicos y necesidades de las empresas artesanales de Trujillo, se determinaron mediante 5 encuestas realizadas a dueños y encargados de centros artesanales. La entrevista completa se puede observar en el ANEXO 1.

Los resultados resumidos se presentan en la Tabla 4, expresando los aspectos evaluados para un mejor análisis. A continuación, se presentan detalladamente las observaciones más resaltantes deducidas de las respuestas.

ASPECTO DE LA PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO

En promedio, el volumen de trabajo de la máquina debería ser de 35*35*20 cm, fabricando 135 productos diarios, teniendo la facilidad de adaptarse para realizar productos personalizados a bajo costo.

ASPECTO DE DISEÑO DE LA MAQUINA

En promedio los materiales que debería maquinar esta máquina serían: Acrílico, MDF, Falcote y madera, fabricando piezas en un promedio de 2.5 horas/pieza.

ASPECTO ECONÓMICO

En promedio un precio accesible para comprar una máquina de este tipo sería de \$ 3300 dólares.

Tabla 4: Resumen de entrevistas de necesidades de las empresas artesanales de Trujillo.

N°	ENTREVISTADO	Aspecto de la Producción de Producto	Aspecto del diseño de la maquina	Aspecto económico
1	Johana Rodríguez Saona	500*500*100 mm (volumen de trabajo) 200 productos diario no hacen diseños personalizados	Materiales como; Falcote, Kimberly, Cartulina, etc. Piezas grandes en 3 días	S/5,000.00
2	Jean pool Rivera DNI: 45253037	400*400*300 mm 100 productos diario Si hacen diseños personalizados	MDF 1 hora 30 minutos	\$ 3000 dólares
3	Santiago Llera Alvarado Roncal DNI:15660406	20*20*20cm 150 productos diarios Si hacen diseños personalizados	Cedro y otros tipos de madera 4 horas	\$ 3500 dólares
4	Carmen Elizabeth Panduro Aragón DNI:06004324	45*40*30 cm 50 Productos diarios Si hacen diseños personalizados	Distintos tipos de madera y Acrílico 2.5 horas	\$ 6000 dólares
5	Carlos Joel Salazar Acosta DNI:18096393	20*25*15cm 180 productos No hacen diseños personalizados	Acrílico y MDF 3 horas	S/8,000.00

III.2. Diseño de la estructura morfológica de la máquina.

IV. Conceptos de Diseño.

ALTERNATIVA 1: ROUTER FRESADOR CNC CON MESA DE TRABAJO FIJA Y TRASMISIÓN DE MOVIMIENTO CON TORNILLOS DE POTENCIA

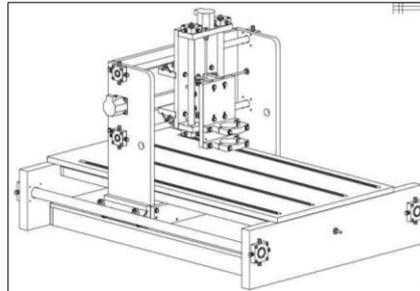


Figura 13: Router fresador CNC con mesa de trabajo fija y transmisión de movimiento con tornillo de potencia

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de máquina fresadora se caracteriza por que la meza de trabajo esta fija y todos los movimientos tienen que hacerlo la herramienta de corte. Los movimientos en sus ejes son accionados por tornillos de potencia, las partes móviles son guiadas a través de ejes acerados para evitar el pandeo. El motor se acopla de manera directa al tornillo de potencia.

Ventajas:

- Alta transmisión de potencia.
- Alto rendimiento.
- Mayor aprovechamiento del área de trabajo.

Desventajas:

- Elevado costo de fabricación.
- Difícil mantenimiento.

ALTERNATIVA 2: ROUTER FRESADOR CNC CON MESA DE TRABAJO MÓVIL Y TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO CON TORNILLOS DE POTENCIA

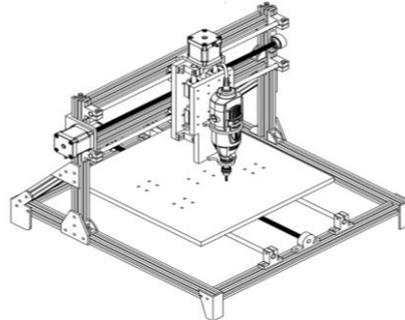


Figura 14: Router fresador CNC con mesa de trabajo móvil y transmisión de movimientos con tornillos de potencia

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de máquina fresadora se caracteriza por que la mesa de trabajo es móvil y herramienta de corte solo se encarga de moverse en dos ejes. Los movimientos en sus ejes son accionados por tornillos de potencia, las partes móviles son guiadas a través de ejes acerados para evitar el pandeo. El motor se acopla de manera directa al tornillo de potencia.

Ventajas:

- Alta transmisión de potencia.
- Alto rendimiento.
- Bajo costo de fabricación.

Desventajas:

- Difícil mantenimiento.
- Menor área de trabajo.

ALTERNATIVA 3: ROUTER CNC CON MESA DE TRABAJO FIJA Y TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO CON CORREA Y POLEA

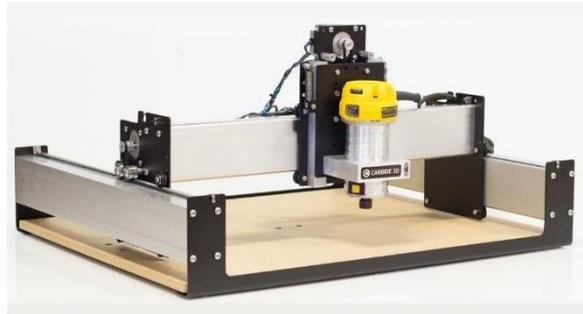


Figura 15: Router CNC con mesa de trabajo fija y transmisión de movimiento con correa y polea

Este tipo de máquina fresadora está caracterizada por que en todos sus ejes de movimiento son accionados por correas y poleas, la mesa de trabajo es fija. Se usa perfiles de metal para guiar a las partes móviles.

Ventajas:

- Alto rendimiento.
- Fácil mantenimiento.
- Convertible a láser.
- Bajo costo de fabricación y mantenimiento.
- Aprovechamiento de toda el área de trabajo.

Desventajas:

- Baja transmisión de potencia.
- Ubicación fija.
- Difícil ensamble.

ALTERNATIVA 4: ROUTER CNC CON MESA DE TRABAJO FIJO Y TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO CON TORNILLO DE POTENCIA Y CORREA CON POLEA

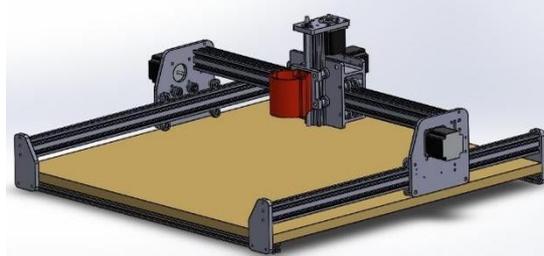


Figura 16: Router CNC con mesa de trabajo fijo y transmisión de movimiento con tornillo de potencia y correa con polea

Fuente: Elaboración propia

Este tipo de máquina fresadora se caracteriza por que dos de sus ejes son movidos a través de correas y poleas y el tercer eje mediante un tornillo de potencia. Para guiar el movimiento a través de las correas y poleas se usan ruedas y perfiles de aluminio, la mesa de trabajo esta fija.

Ventajas:

- Alto rendimiento.
- Fácil mantenimiento.
- Convertible a láser.
- Aprovechamiento de toda el área de trabajo.

Desventajas:

- Baja transmisión de potencia.
- Ubicación fija.
- Elevado costo de fabricación y mantenimiento.

ALTERNATIVA 5: ROUTER CNC CON MESA DE TRABAJO MÓVIL Y TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO CON TORNILLO DE POTENCIA Y CORREA CON POLEA



Figura 17: Router CNC con mesa de trabajo móvil y transmisión de movimiento con tornillo de potencia y correa con polea

Este tipo de máquina fresadora se caracteriza por que dos de sus ejes son movidos a través de unos tornillos de potencia y el tercer eje mediante correas y poleas (en este caso es para la mesa de trabajo). Para guiar el movimiento a través de las correas y poleas se usan ruedas y perfiles de aluminio, la mesa de trabajo es móvil.

Ventajas:

- Alto rendimiento.
- Fácil mantenimiento.
- Convertible a láser.

Desventajas:

- Baja transmisión de potencia.
- Ubicación fija.
- Alto costo de fabricación y mantenimiento.
- Bajo aprovechamiento del área de trabajo.

Para la calificación de las alternativas de conceptos, se tendrá en cuenta los siguientes criterios:

Tabla 5: Criterios de evaluación de alternativas de concepto

CRITERIO	PORCENTAJE DE IMPORTANCIA (%)
COSTO DE FABRICACIÓN	40
ENSAMBLE	30
MANTENIMIENTO	15
AREA DE TRABAJO	15

Los criterios serán evaluados mediante los siguientes puntajes:

Tabla 6: Puntajes de evaluación de alternativas

Valor cualitativo	Valor cuantitativo
NADA SATISFECHO	0
INSATISFECHO	1
INDIFERENTE	2
POCO SATISFECHO	3
SATISFECHO	4
MUY SATISFECHO	5

Con los datos anteriores construimos la siguiente tabla.

Tabla 7: Matriz morfológica

DISEÑO DE UN ROUTER CNC PARA FRESADO		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4		ALTERNATIVA 5	
CRITERIO	PONDERACION (%)	CALIFICACION	PONDERACION ACUMULADA								
COSTO DE FRABRICACION	40	2	0.8	4	1.6	3	1.2	3	1.2	4	1.6
ENSAMBLE	30	3	0.9	4	1.2	2	0.6	3	0.9	2	0.6
MANTENIMIENTO	15	2	0.3	3	0.45	5	0.75	4	0.6	3	0.45
AREA DE TRABAJO	15	4	0.6	4	0.6	4	0.6	4	0.6	4	0.6
TOTAL	100	11	2.6	15	3.85	14	3.15	14	3.3	13	3.25

En conclusión, podemos decir que: El concepto ganador es la alternativa 2 ROUTER FRESADOR CNC CON MESA DE TRABAJO MÓVIL Y TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO CON TORNILLOS DE POTENCIA con 3.85 de PONDERACIÓN ACUMULADA

B. Dimensionamiento de la Máquina.

Según los cálculos realizados que se muestran completamente en el ANEXO 2, obtuvimos los siguientes resultados Tabla 8.

NOTA: Los cálculos se realizaron en base a materiales ligeros, ya que su densidad (4.5 g/cm^3) es mayor a la densidad de la madera, acrílico y MDF.

Tabla 8: Parámetros de diseño mecánico

PARAMETROS DE DISEÑO MECÁNICO	UNIDADES	CANTIDADES
Velocidad del husillo	rpm	21300
Potencia de corte	W	40
Fuerza de corte	N	34.62
Diámetro de guía lineal	mm	8
Diámetro de tornillo de potencia	mm	8
Torque de tornillo de potencia	mN.m	30

C. Componentes de la Fresadora y Grabadora Laser.

- **Tornillo de potencia TH SL-500-8D**

Los tornillos de potencia (Figura 18) son uno de los métodos que consta en ejercer o realizar un movimiento relativo de traslación y rotación simultaneo con respecto al mismo eje, el cual se emplea en la máquina para realizar movimiento en el eje x, en el eje y, y en el eje z. A continuación, se presenta sus especificaciones técnicas que cumplen con los valores calculados de la Tabla 8.



Figura 18: Tornillo de potencia TH SL-500-8D

Especificaciones técnicas:

Tornillo: THSL-500-8D
 Material: Acero Inoxidable
 Rosca: Métrica
 Longitud: 500mm
 Diámetro: 8mm
 Entradas (hélices): 4
 Paso: 2mm

- **Guías Lineales circular 8mm L500mm**

Son ejes lisos (Figura 19) que ayudan al movimiento ejercido por los tornillos de potencia, para que sean más simple y no exista posibles deflexiones. Se usarán e los tres ejes. A continuación, se muestra sus especificaciones técnicas.



Especificaciones técnicas:

Material: Acero Inoxidable
 Diámetro: 8mm
 Largo: 500mm
 Extremos chaflanados
 Acabado Superficial:
 Brillante

Figura 19: Guías Lineales Circular 8mm L500mm

- **Soporte de guía lineal circular 8mm SK8**

Son mecanismos (Figura 20) que sirven para sujetar en cada extremo de las guías lineales circulares, que ayudan a la reducción de vibraciones. A continuación, se muestra sus especificaciones técnicas.



Figura 20: Soporte guía lineal circular 8mm SK8

Especificaciones técnicas:

Diámetro interior: 8mm
 Dimensiones:
 42x14x32.8mm
 Tornillo sujeción eje: M4
 Tornillos de anclaje: M5
 Peso: 24 gramos
 Material: Aluminio

- **Rodamiento Lineal con soporte - SC8UU**

Es un rodamiento (Figura 21) ideal para ser empleado en soportes deslizantes movidas por motores paso a paso. Se deslizan sobre ejes del mismo diámetro. Muy común en sistemas CNC como impresoras 3D. Sirven para ayudar al alineamiento de las guías por ende a los tornillos de potencia. A continuación, se muestra sus especificaciones técnicas.



Figura 21: Rodamiento lineal con soporte - SC8UU

Especificaciones técnicas:

Carga dinámica C: 260N
 Carga estática Co: 400N
 Peso: 58 gramos
 Dimensiones: Diámetro Interior 8mm, Longitud 30mm, Ancho 22mm.
 Material: Aluminio
 Acabado: Mate

- **Husillo o herramienta de corte**

Es uno de los componentes más importantes de la máquina fresadora, ya que es con la cual se realizará los procesos de fresado. En esta máquina fresadora se empleará un dremel 3000 ya que resulta más económico y práctico. Figura 22.



Figura 22: Dremel 3000

Especificaciones técnicas:

Velocidad variable
 Aplicado en
 vidrio, fibra de
 vidrio, madera, metal,
 plástico, drywall, cartón
 Rotación (rpm)
 10.000 - 32.000
 Voltaje 127/220 V
 Watts 130W (127
 V) / 90W (220 V)
 Dimensiones (cm) 26 x
 14 x 7,6
 Peso (kg) 0,8

- **Laser**

Es un dispositivo (Figura 23) óptimo generador de un haz luminoso de una frecuencia única, y muy intenso mediante incitación eléctrica. En esta máquina se usará un láser de 2500Mw que a continuación se muestra sus especificaciones técnicas.

Especificaciones técnicas:

Longitud de onda del láser:
 450nm
 Potencia: 2500 mW
 Material de la carcasa:
 Aluminio
 Alimentación eléctrica: DC
 12V
 Corriente de trabajo: < 1^a
 Conector: 2.1 DC Jack|Socket
 Enfriamiento: por aire |
 Ventilador integrado
 Dimensiones: 33 x 33 x 75.5
 mm



Figura 23: Laser de 2.5 Watts

- **Perfil estructural**

También llamadas vigas (Figura 24), son productos utilizados para fabricar estructuras de gran resistencia, en este caso se usarán perfiles de aluminio V-

slot 2020 (0.25m), los que servirán para soportar todos los esfuerzos en la máquina. A continuación, se presentan sus especificaciones técnicas.



Especificaciones técnicas:

Material: Aluminio 6063 T-5

Tamaño: 20x20mm

Acabado Superficial: Natural
(Plateado)

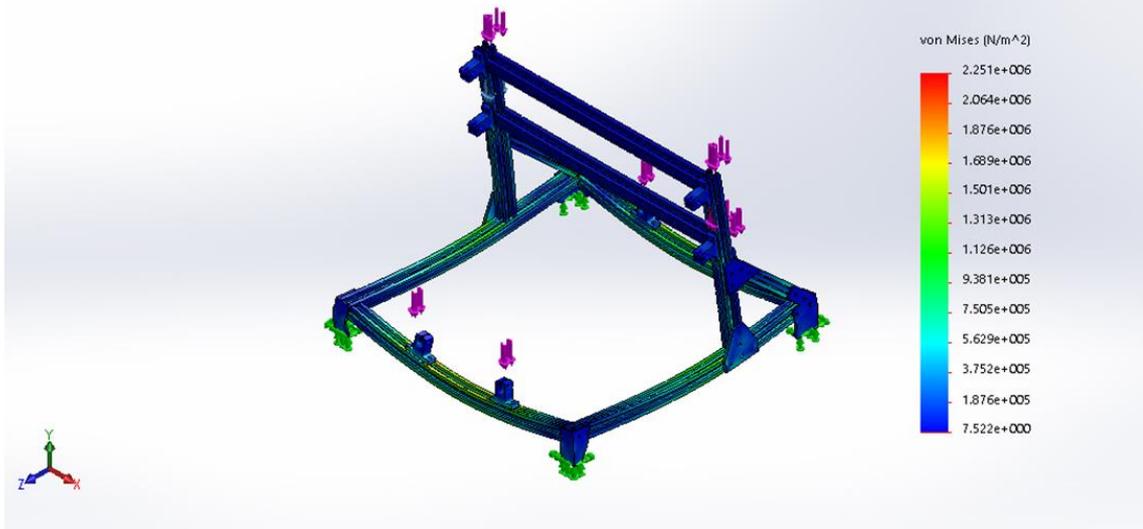
Momentos de inercia de áreas: $I_x = 6.988 \times 10^{-9} \text{ m}^4$, $I_y = 6.988 \times 10^{-9} \text{ m}^4$

Figura 24: Perfil V-Slot 2020 (0.25m)

D. Simulación

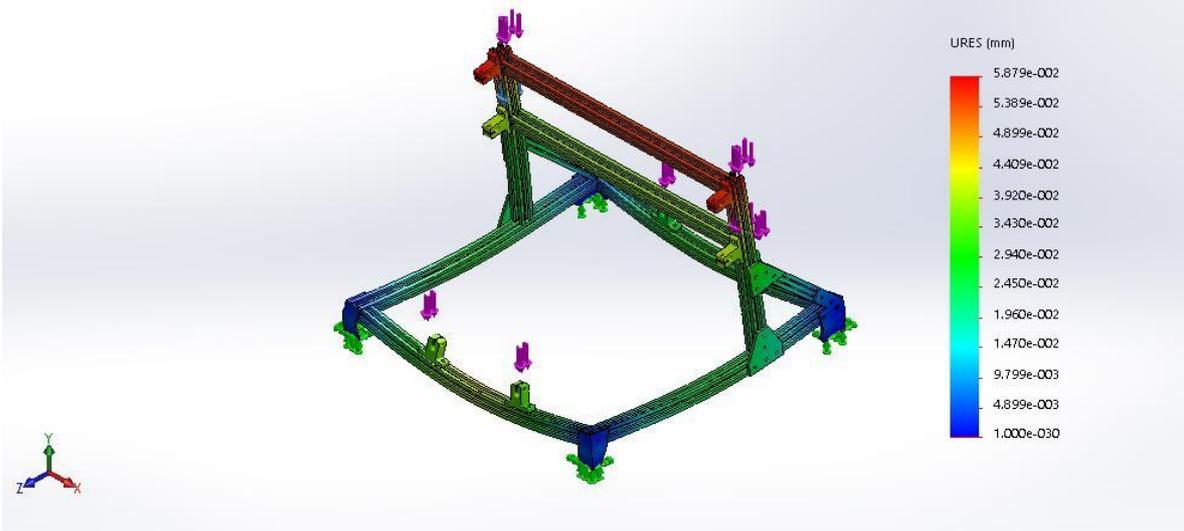
Simulación del esfuerzo de Von Mises

Nombre del modelo: Ensamble completo
Nombre de estudio: Análisis estático CNC(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 858,439



Simulación de esfuerzo de cargas

Nombre del modelo: Ensamble completo
Nombre de estudio: Análisis estático CNC(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 858,439



III.3. Selección del sistema actuador, sensórico y control electrónico.

A. Selección del sistema actuador.

- **Motor paso a paso Nema 17**

También llamado motor a pasos (Figura 25), es un dispositivo electromecánico que transforma una serie de pulsos eléctricos en movimientos angulares pequeños, lo que se deduce que está en la capacidad de realizar giros en una cantidad de grados dependiendo de sus entradas de control. Estos motores se usarán para realizar el torque y el grado adecuado para ejercer movimiento lineal en los ejes. A continuación, se muestra sus especificaciones técnicas del motor, y en el cual cumple con el torque requerido del tornillo de potencia (30 mNm) para ejercer el movimiento en los ejes.

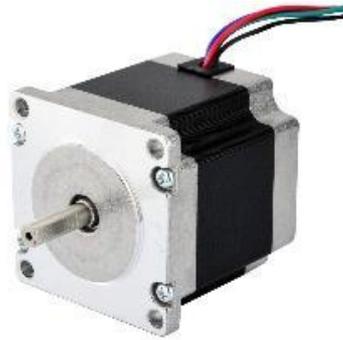


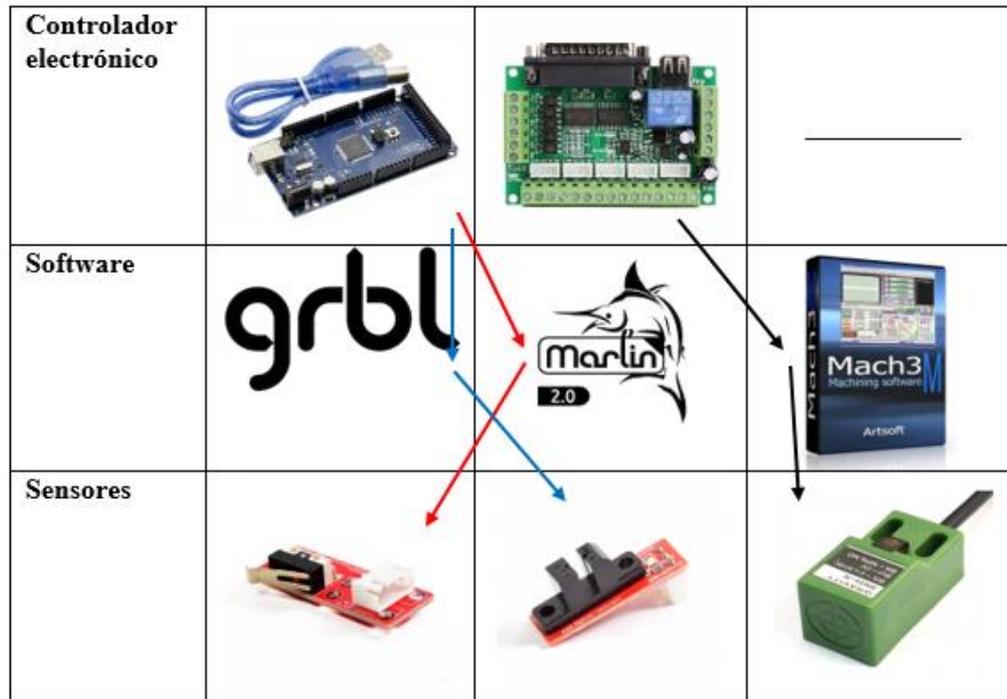
Figura 25: Motor a pasos Nema 17

Especificaciones técnicas:

Modelo: SL42STH48-1684A
 Corriente de fase: 1.68A
 Inductancia de fase: 2.8mH
 Torque detenido: 5Kg.cm ó 490 mN.m
 Diámetro del eje: 5mm
 Largo: 48mm
 Perfil Nema 17: 42.2mm x42.2mm

B. Selección del sistema sensorico y control electrónico. (Matriz morfológica)

En la selección del sistema sensorico y control electrónico, se hace mediante una matriz morfológica (Tabla 10). De acuerdo a los trabajos que va realizar la maquina se considera el software, que tiene que ser de fácil modificación, es decir, nos permita usar el mismo código de programación para ambas herramientas (fresadora y grabadora laser), la cual nos permite reducir tiempos al momento de intercambiar el cabezal.



Leyenda:

- Sistema sensorico y control electrónico N°1
- Sistema sensorico y control electrónico N°2
- Sistema sensorico y control electrónico N°3

- **Sistema sensorico y control electrónico N°1**

Está compuesto por un arduino MEGA 2560 R3, firmware marlín y sensores finales de carrera mecánicos. Y cuenta con las siguientes ventajas y desventajas.

- Ventajas.
 - Fácil adquisición de componentes en el mercado local
 - Códigos de programación fácil de entender y modificar
 - Posee gran cantidad de puertos disponibles para nuevos componentes.
 - Posee un interface usuario – maquina mediante una pantalla LCD.
- Desventajas.
 - Costo elevado
 - Difícil montaje

- **Sistema sensorico y control electrónico N°2**

Está compuesto por un arduino UNO R3, firmware GRBL y sensores finales de carrera ópticos. Y presenta las siguientes ventajas y desventajas.

- Ventajas.
 - Fácil adquisición de componentes en el mercado local
 - Costo bajo
 - Códigos de programación fácil de entender
- Desventajas.
 - Códigos no modificables
 - Posee una limitada cantidad de puertos disponibles
 - No posee interface usuario – maquina

- **Sistema sensorico y control electrónico N°3**

Está compuesto por una placa electrónica llamada Breakout Board, software Match 3 y sensores finales de carrera de distancia. Y cuenta con las siguientes ventajas y desventajas.

- Ventajas.
 - Fácil interacción hombre-software
 - Gran capacidad para generación de códigos de programación.
- Desventajas.
 - Costo elevado
 - Se necesita una PC de gran capacidad de memoria RAM, con tarjeta de video
 - Difícil adquisición de componentes en el mercado local
 - Se necesita un sistema de enfriamiento en la PC y en los drivers

Para la selección de las alternativas de sistemas sensoricos y control electrónico, se considera los siguientes criterios Tabla 9.

Tabla 9: Criterios de evaluación de alternativas de sistemas sensoricos y control electrónico

CRITERIO	PORCENTAJE DE IMPORTANCIA (%)
COSTO DE COMPONENTES	15
ENSAMBLE	15
INTERFACE	30
ADQUISICIÓN DE COMPONENTES	40

Los criterios serán evaluados mediante el puntaje que se muestra en la Tabla 6. En la cual obtenemos la siguiente matriz morfológica Tabla 10.

Tabla 10: Matriz morfológica del sistema sensorico y control electrónico

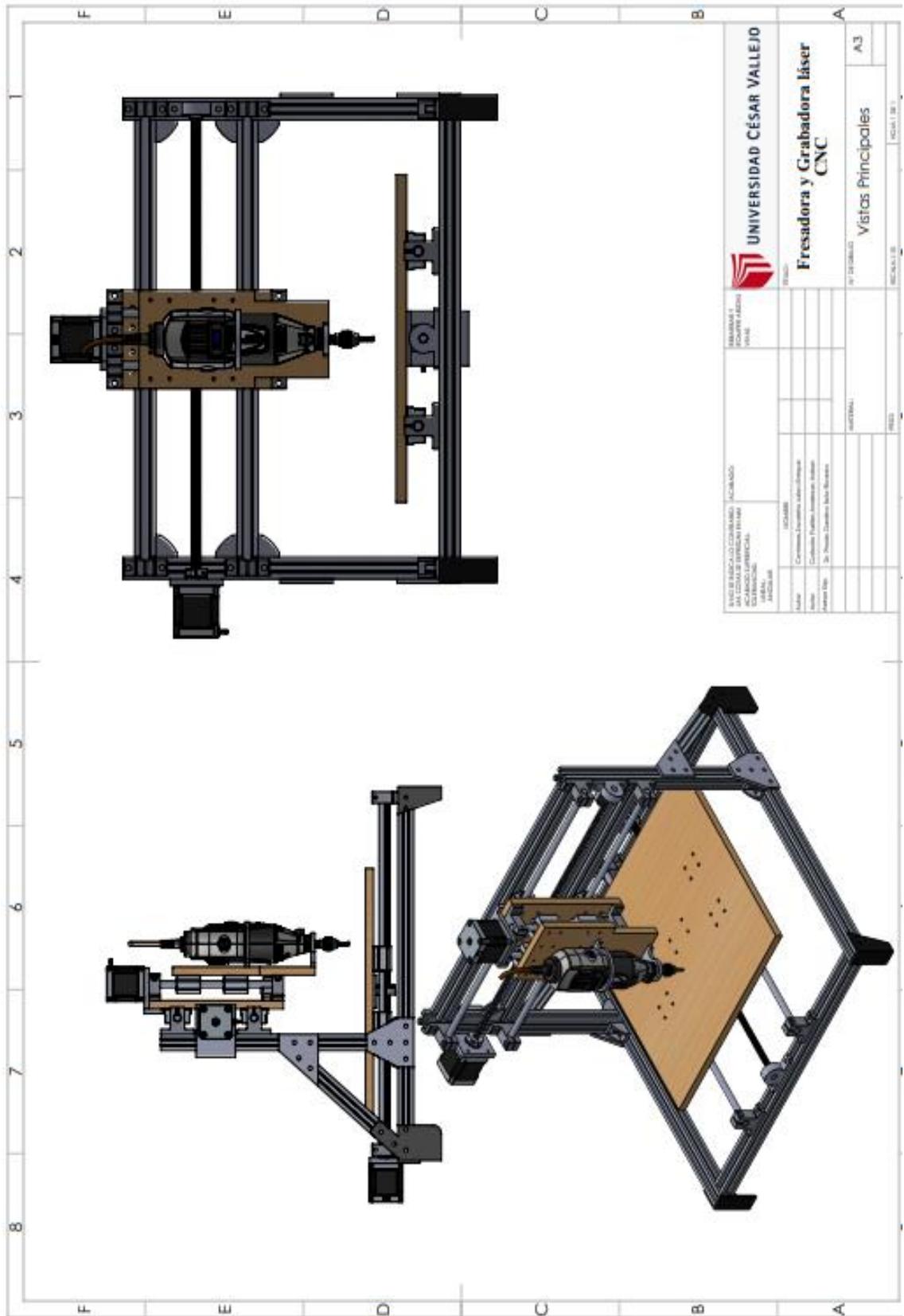
SISTEMA SENSORICO Y CONTROL ELECTRÓNICO		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
CRITERIO	PONDERACION (%)	CALIFICACION	PONDERACION ACUMULADA	CALIFICACION	PONDERACION ACUMULADA	CALIFICACION	PONDERACION ACUMULADA
COSTO DE COMPONENTES	15	2	0.3	4	0.6	2	0.3
ENSAMBLE	15	2	0.3	2	0.3	3	0.45
INTERFACE	30	5	1.5	2	0.6	4	1.2
ADQUISICIÓN DE COMPONENTES	40	4	1.6	4	1.6	2	0.8
TOTAL	100	13	3.7	12	3.1	11	2.75

De acuerdo a la matriz realizada concluimos que, la alternativa ganadora es el Sistema sensorico y control electrónico N°1 que está compuesto por un arduino MEGA 2560 R3, firmware marlín y sensores finales de carrera mecánicos.

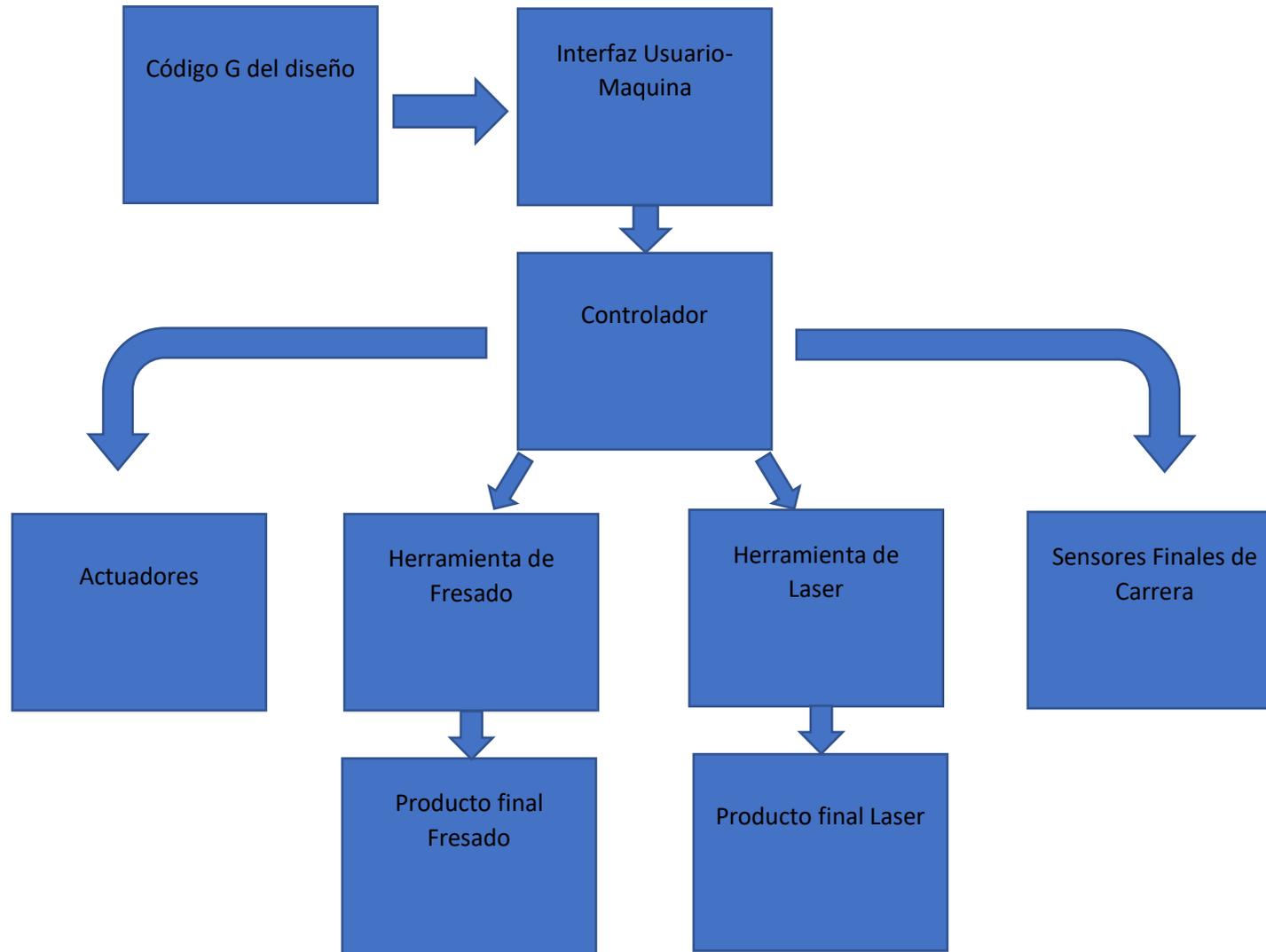
III.4. Integrar la estructura mecánica, eléctrica y electrónica mediante la programación.

A. Integración de la estructura mecánica (boceto de explotado)

Para una mejor visualización de la integración de la parte mecánica se muestra un boceto de explotado (Boceto N°01), en el cual se observa como es ensambladas las partes de la máquina. También se muestra un boceto (Boceto N°02) de las vistas principales de la máquina, lo cual estos bocetos nos facilitan el montaje de la máquina.



 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		TÍTULO: Fresadora y Grabadora Láser CNC	AÑO: 2014
INSTITUCIÓN: FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		AUTOR: CARMEN EUGENIA JARA SANCHEZ	FECHA: 2014
TÍTULO: Fresadora y Grabadora Láser CNC		ASIGNATURA: Mecánica de Máquinas	MATERIAL: A3
AUTOR: CARMEN EUGENIA JARA SANCHEZ		FECHA: 2014	ESCALA: 1:1
INSTITUCIÓN: FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		TÍTULO: Fresadora y Grabadora Láser CNC	MATERIAL: A3
TÍTULO: Fresadora y Grabadora Láser CNC		ASIGNATURA: Mecánica de Máquinas	FECHA: 2014

B. Integrar la estructura mecánica, eléctrica y electrónica

C. Programación

```

Marlin - Configuration.h | Arduino 1.8.3
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Marlin Conditionals.h Conditionals_LCD.h Conditionals_post.h Configuration.h Configuration_adv.h G26_Mesh_Validation_Tool.cpp I2CPositionEncoder.cpp I2CPositionEncoder.h M100_Free_Mem_CI :pp

#define ENDSTOPPULLUPS // Comment this out (using // at the start of the line) to disable the endstop pullup resistors

#if DISABLED(ENDSTOPPULLUPS)
  // fine endstop settings: Individual pullups. will be ignored if ENDSTOPPULLUPS is defined
  // #define ENDSTOPPULLUP_XMAX
  // #define ENDSTOPPULLUP_YMAX
  // #define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
  #define ENDSTOPPULLUP_XMIN
  #define ENDSTOPPULLUP_YMIN
  #define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
  #define ENDSTOPPULLUP_ZMIN_PROBE
#endif

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the probe.

// Enable this feature if all enabled endstop pins are interrupt-capable.
// This will remove the need to poll the interrupt pins, saving many CPU cycles.
// #define ENDSTOP_INTERRUPTS_FEATURE

//-----
<

```

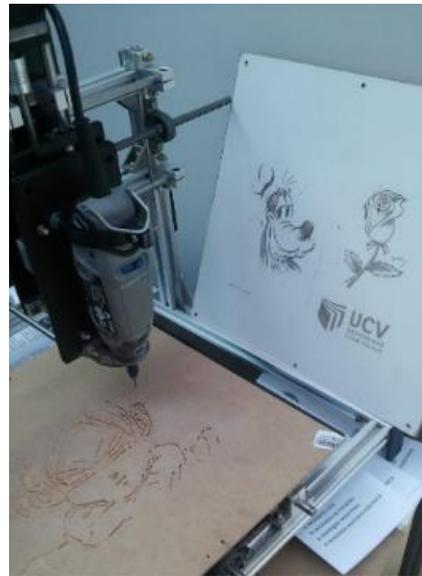
Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) en COM5

Figura 26: Programación en Marlin

Fuente: Elaboración Propia

III.5. Validar los resultados a partir de diversas aplicaciones.

Para validar los resultados, elegimos dos empresas de fabricación de piezas artesanales de forma aleatoria.



Después de realizar varias piezas en la máquina según sus diseños y mediante la ayuda de una guía de observación (ANEXO 3), se obtuvieron los siguientes resultados:

Ítem	Tesisista 1			Tesisista 2		
	SI	NO	Observación	SI	NO	Observación
1	X		La máquina realice más de una pieza a la vez.	X		
2	X		Mayor recorrido en la altura.	X		Realice piezas de mayor altura.
3	X			X		
4	X		Cuando realice formas difíciles no baje su velocidad.	X		

Según las respuestas dadas por los artesanos, la maquina cumple con los 4 ítems planteados en la guía de observación, por lo tanto, la maquina es versátil.

III.6. Elaboración del presupuesto de construcción y programación de la máquina.

En el siguiente cuadro mostramos el presupuesto de construcción y programación de maquina:

PRESUPUESTO MAQUINA FREASADORA Y GRABADORA LASER CNC			
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA (ALIMENTACIÓN Y PROGRAMACIÓN)			
EQUIPOS	CANTIDAD	PRESIO UNITARIO	TOTAL
Arduino mega 2560	1	70	70
Shield Ramps 1.4	1	40	40
Drivers DRV8825	3	20	60
Fuente de 10 A	1	80	80
Finales de Carrera	3	6	18
Motor Bipolar Nema 17	3	70	210
Dremel Multipro 3000 Y 10 Acc	1	169.9	169.9
Laser TTL 500 mW	1	150	150
Pantalla LCD 12864 Panel de Control	1	110	110
MECÁNICA (ESTRUCTURA Y TRANSMISIÓN DE POTENCIA)			
Perfil de Al V-SLOT 2020 L2m 20x20 mm	2	60	120
Placa de Unión de 5 Agujeros	2	12.5	25
Conector de esquina interno	4	4.7	18.8
Bracket de esquina de 90°	10	3.3	33
Guía Lineal de Acero 8 mm L500mm	4	50	200
Guía Lineal de Acero 8 mm L300mm	1	40	40
Soporte guía lineal circular 8 mm SK8	12	10	120
Tornillo de Potencia 8 mm L500 mm	3	80	240
Tornillo de Potencia 8 mm L500 mm	1	60	60
Acople CNC flexible 5 mm/8 mm	3	12	36
chumacera CNC de Bolas 8 mm	6	15	90
Impresión 3d de piezas especiales	1	265	265
SUBTOTAL (ST)			2155.7
COSTOS VARIABLES (5% DEL ST)			107.785
Costo de construcción (mano de obra, 10% del ST)			215.57
Costo de programación (mano de obra, 25% del ST)			538.925
TOTAL			3017.98

El costo total de la máquina es de 3017.98 soles.

IV. DISCUSIÓN

- Los requerimientos más resaltantes que nos exigieron los artesanos a los que se entrevistó fueron, (Tabla 4) que la maquina tenía que fresar y grabar en tres materiales (Madera, MDF y acrílico), fabricando en promedio 135 productos (piezas) diarios y estaban dispuestos a pagar en promedio \$3000 dólares por la máquina. A diferencia de investigaciones anteriores como el de Alonso Pérez (2015), sus requerimientos eran que su máquina tenía que cortar en madera y acrílicos, aunque el costo no fue un requerimiento principal su máquina costo \$4900 dólares.
- Para seleccionar el concepto optimo se realizó una matriz morfológica (Tabla 7), lo que otras investigaciones anteriores no hicieron, pero si se coincidió en que la estructura de la maquina es de perfil de aluminio estructural (Chávez, Chávez, Rivera y Roa 2015). Los parámetros principales que nos ayudaron a seleccionar los equipos resultaron ser, velocidad del husillo 21300 rpm, potencia de corte 40W, fuerza de corte 34.62 N y torque del motor 30 mN,m esto fue debido a que calculamos con densidad de materiales ligeros (4.5 g/cm^3) que es mayor a los de los otros materiales a maquinar, lo que esto nos permite fresar en madera a diferencia de la CNC de investigaciones previas (Castro y Guamán 2105) que el material más resiste a maquinar fue el MDF. La selección de los componentes se realizó en función a los parámetros de diseño (Tabla 8). La simulación nos permitió corroborar que los perfiles de aluminio iban a ser resistentes a los esfuerzos a los que iba estar sometidos ya sean peso y torque de motores (Nema 17), peso del husillo, etc.
- El sistema actuador (Nema 17) se seleccionó en base al torque del tornillo de potencia (Tabla 8), que es utilizado en los tres ejes (X, Y y Z). A diferencia de otros proyectos que se usaron servomotores (X y Y) y un motor paso a paso (Z), (Quimbita y Sánchez, 2008). El sistema sensorico y control electrónico está compuesto por un arduino MEGA 2560 R3, firmware marlín y sensores finales de carrera, se llegó a este sistema optimo mediante una matriz morfológica (Tabla 10), mientras que Quimbita y Sánchez en su investigación seleccionaron elemento por elemento, es decir, seleccionaron tarjetas electrónicas, tarjetas de interface, tarjetas controladoras, sensores por separado.

- La integración de la estructura mecánica se realizó mediante la ayuda de un boceto de explotado de la máquina, donde se presenta la maquina completamente en un despiece de sus componentes, lo que nos permite visualizar en qué sentido van ensambladas las piezas y un boceto de las vistas principales de la máquina para ayudarnos en el ensamble, en comparación a Quimbita y Sánchez (2015), realizaron un manual de montaje de la maquina por ejes (X, Y y Z), donde en cada eje detallan el procedimiento de montaje y presentan un despiece de los componentes. En la integración de la estructura mecánica, eléctrica y electrónica de la maquina se elaboró un diagrama de cómo interactúan los componentes entre sí, a diferencia de las investigaciones anteriores que no realizaron ningún tipo de diagrama de conexión de los componentes de toda la máquina. La programación se realizó en el software marlín y se muestra la secuencia y configuración de los códigos (Figura 26), en comparación a Sosa y Tonato (2015) en su investigación realizaron una programación detallada, como por ejemplo detalle del circuito de los pines de salida y entrada de las tarjetas, detalle del circuito de pines de los motores, etc.
- Después de realizar las piezas en la máquina, se obtuvo que esta si incrementa la versatilidad en la fabricación de productos artesanales, lo cual en otras investigaciones no realizaron.
- El costo de la máquina para los materiales, mano de obra en construcción y programación fue de 3017.98 soles. A diferencia de otros proyectos que el costo de la máquina fue de \$4900, siendo esto solo para la fabricación de una máquina de corte laser (Pérez 2015), y en nuestra maquina se pudo obtener las dos tecnologías de fresado y grabado laser.

V. CONCLUSIONES

- De acuerdo con las entrevistas realizadas a los artesanos, sus requerimientos más resaltantes eran, poseer de una máquina que pueda adaptarse rápidamente a realizar productos personalizados a bajo costo, en materiales tales como acrílico, MDF, Falcote y madera, aunque el costo de la maquina no fue un objetivo principal, sin embargo, los artesanos están en la capacidad a pagar \$ 3300 dólares por una máquina que pueda incrementar su versatilidad en la fabricación de sus productos (piezas).
- En el diseño de la estructura morfológica de la máquina se describió una serie de conceptos de diseño, los cuales fueron evaluados mediante una matriz morfológica (Tabla 7), permitiendo así obtener un diseño conceptual óptimo. El dimensionamiento de la maquina se realizó en base a una densidad de materiales ligeros (4.5 g/cm^3), obteniendo resultados que satisficieron las necesidades de los artesanos que posteriormente ayudaron a la selección de componentes de la máquina. La simulación se realizó con un factor de seguridad de 2.5, lo cual el perfil seleccionado si resiste a los esfuerzos a los que está sometida la máquina. En conclusión, la estructura de la maquina está construida por perfiles de aluminio V-Slot 2020 (0.25m), en los que están ensamblados todos los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos.
- Los actuadores (NEMA 17) fueron seleccionados en base a los cálculos paramétricos del tornillo de potencia y el sistema sensorico y control electrónico que controlará la maquina se seleccionó mediante una matriz morfológica (Tabla 10), en el cual este sistema está compuesto por, un Arduino MEGAS 2560 que se le cargará el firmware Marlin, siendo este último un firmware libre que está disponible en la web. En conclusión, el sistema actuador, sensorico y control electrónico nos permite desarrollar y manipular la maquina con facilidad debido que el interface máquina- hombre no es muy complicado.
- En conclusión, la estructura mecánica, eléctrica y electrónica se integraron mediante una programación (Figura 26), pero también se puede mostrar bocetos (explotado y vistas principales), los cuales nos permiten integrar con facilidad la parte mecánica, y finalmente se muestra un diagrama como está integrada la maquina

- Se concluye que la maquina es versátil debido que, si cumplió con todos los requerimientos de los artesanos en su fabricación de pieza y tiene 3 grados de libertad, maquina diferentes formas y diferentes materiales (MDF, Madera y acrílico), también maquina piezas de la misma forma sin presentar diferencias en la geometría de una con la otra, por ende, se reafirma la hipótesis de la investigación que es Desarrollar e implementar una maquina CNC fresadora y grabadora laser si incrementa la versatilidad en la fabricación de piezas artesanales en acrílico y MDF.
- En conclusión, el costo de la maquina CNC fresadora y grabadora laser es muy bajo con un monto de 3017.98 soles, a diferencia de las maquinas en el mercado, además siendo esta una maquina especial para la fabricación de piezas artesanales.

VI. RECOMENDACIONES

- El tema del CNC es un tema muy amplio donde siempre hay mucho en que innovar, como por ejemplo este proyecto logro juntar dos tecnologías como lo es la fresadora y el láser. Para proyectos de investigación posteriores se recomienda investigar en cómo implementar una impresora 3d y además que la forma de cambiar las herramientas sea de forma automática.

REFERENCIA

- Boylestad Robert. (2007). *Teoría de Circuitos y Dispositivos electrónicos*.
- Candel Gonzales, V. (2011). *Diccionario Tecnológico*. Zaragoza, España. RA-MA Editorial.
- Castro, M. Guamán, D. (2015). *Diseño y construcción de una maquina CNC para el corte y grabado en madera utilizando láser de CO2, implementado con hardware y software de uso libre como sistema de control* (Proyecto de titulación). Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador.
- Chávez, E. Chávez, U. Rivera, j. Roa, K. (2015). *Prototipo cortador y grabador láser* (trabajo terminal II para obtener título). Instituto Politécnico Nacional Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, México, D.F. México.
- Garcia Mutis, Iván Camilo (2009). *Diseño e implementación de un control CNC para crear modelos y esculturas en tercera dimensión a partir de un diseño CAD*. Tesis.
- Gavilema, S. (2016). *Construcción de un prototipo CNC de grabado laser para optimizar el tiempo de producción gráfica en madera y cuero en el laboratorio de robótica de la universidad técnica Cotopaxi periodo 2016* (Proyecto de Investigación). Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Globo. E. Carrillo (2011). *Diseño y construcción de una fresadora de control numérico computarizado con movimientos en tres ejes*. Tesis de licenciatura. Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador.
- Gómez Villeda, M., & Muñoz Medina, E. (2006). *Control numérico computarizado: manual de prácticas para fresadora EMCO F-1 (CNC)*.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Pearson Educación. Recuperado en: http://www.academia.edu/32222323/Fundamentos_de_Manufactura_Moderna_tercera_edici%C3%B3n._Mikell_P._Groover.pdf

- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M.P. (2010) *Metodología de la Investigación* (5ª Ed.). México: McGraw Hill Educación.
- Interempresas (2016). *Mecanizado para el área aeronáutica*. Recuperado de <https://www.interempresas.net/PrimeraPagina/>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación. Recuperado en: https://www.academia.edu/22528886/Manufactura_Ingeniería_y_Tecnología_5ta_Edición_-_S._Kalpakjian_and_S._Schmid
- Kosow, Irving L. (2003), *Máquinas Eléctricas e Transformadores*, 14ª edición, Ed.
- Kuo, Benjamin C. *Sistemas de control automático*. Pearson Educación, 1996.
- Mott, Robert L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas (4ta)*. México. Editorial Pearson Educación.
- Nicolas Larburú, *Protuario de máquinas herramientas*, 6ta edición, ed, paraninfo s.a., madrid – españa, 1994.
- Pagano, R. R. (2000). *Estadística para las ciencias del comportamiento*. Madrid: International Thompson.
- Pahl, G. Beitz, W. Feldhusen, J y Grote, K.H (2006). *Engineering Design (3ra)*. Darmstadt, Alemania. Editorial Springer.
- Pérez, A. (2015). *Diseño de una cortadora láser CNC de CO2 para acrílicos y madera* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Pierdafita Moreno, R. (2004). *Ingeniería de la Automatización Industrial (2da)*. Zaragoza, España. RA-MA Editorial.
- Pilatásig, G., Fabián, H., & Sánchez Oquendo, H. P. (2013). *Diseño y construcción de una máquina fresadora CNC de 3 grados de libertad con un volumen de trabajo útil de 500 x 500 x 100 mm para tallar madera en alto y bajo relieve* (Master's thesis, Quito, 2013.).

Quimbita, Quimbita; Medardo, Javier; Sánchez Barrionuevo, Raúl Ernesto. *Diseño y construcción de un Router CNC para la fabricación de puertas de MDF*. 2008. Tesis de Licenciatura. LATACUNGA/ESPE/2008.

Rubio Sánchez, J. (2016). *Automatización Industrial*. Madrid, España. Editorial Centros de Estudios Financieros (CEF).

Sánchez Sossa, A. *Sistema de prototipos para control numérico*. *Ingeniería e Investigación*; núm. 27 (1992); 93-98 *Ingeniería e Investigación*; núm. 27 (1992); 93-98 2248-8723 0120-5609. Recuperado en: <http://bdigital.unal.edu.co/23737/1/20780-70266-1-PB.pdf>

Sosa Silva, Aída Estefanía; Tonato Llerena, Jorge Geovanny. *Diseño y construcción de una máquina industrial de control numérico computarizado tipo Router para la empresa Metal Mecánica Gutti*. CA. 2015. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

ANEXOS

Anexo 1.

Entrevista

ENTREVISTA PARA DETERMINACIÓN DE NECESIDADES DE DISEÑO

EQUIPO POR DISEÑAR: MAQUINA CNC PARA PROCESOS DE FRESADO Y GRABADO EN LASER.

ENTREVISTADO:

CARGO:

EMPRESA:

UBICACIÓN:

ENTREVISTADOR:

ASPECTO DE LA PRODUCCIÓN DEL PRODUCTO

1) ¿realiza diseños personalizados?

SI NO Comentario

2) ¿cuál es su producción diaria aproximadamente que se realiza en su empresa?

.....
.....

3) ¿Cuál es la razón más importante por la que su producto es más costoso? Ejemplo:
¿acabado, diseños, etc.?

.....
.....

4) ¿Qué espacio de trabajo sería adecuado para este tipo de maquina (Ejemplo:
400mmx400mmx300mm)?

.....
.....

ASPECTO DE DISEÑO DE LA MAQUINA

5) ¿Qué tipo de materiales utiliza usted en su producción?

.....
.....

6) ¿Cuál es el tiempo aproximado que realiza una pieza?

.....
.....

ASPECTO ECONÓMICO

7) ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una máquina que pueda realizar la
fabricación de sus piezas?

.....

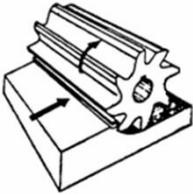
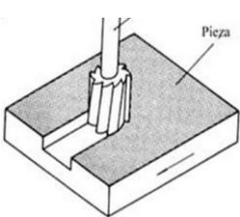
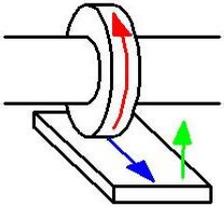
8) ¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una Maquina que pueda realizar la fabricación de sus piezas?

9) ¿En cuánto valoriza su producto (piezas artesanales) más costoso?

Anexo 2.

Cálculos paramétricos

CALCULO DE PARÁMETROS PARA EL FRESADO DE LA FRESADORA CNC

SIMBOLOS	Fresa Cilíndrica		Fresa Cilíndrica Frontal		Fresa de Disco	
Vc= Velocidad de corte en mm/min Vf= Velocidad de avance en mm/min						
Anchura max. Fresado	b = 100 mm		b = 100 mm		b = 100 mm	
	Desbasta do	Afinado	Desbasta do	Afinado	Desbasta do	Afinado
Profundidad de corte	a = 5 mm	a = 0.5 mm	a = 5 mm	a = 0.5 mm	a = 10 mm	a = 10 mm
	Vc	Vf	Vc	Vf	Vc	Vf
Acero sin alear hasta 65 kg/mm ²	17	100	22	60	17	100
Acero sin alear hasta 75 kg/mm ³	14	80	18	50	14	90
Acero sin alear hasta 100 kg/mm ⁴	10	30	14	36	10	55
Fundicion gris has 180 Brinell	12	120	18	60	12	140
Latón (Ms 58)	35	70	35	50	36	190
Metales ligeros	200	200	250	100	200	250
					250	110
					200	200
					25	10
					0	0

Cálculo de las RPM (n):

Usamos la ecuación de la velocidad de corte:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_{fresa}}$$

Dónde:

$$D_{fresa} = \text{Diámetro de la fresa [mm]}$$

$$V_c = \text{Velocidad de corte [mm/min]}$$

Reemplazando datos:

$$n = \frac{200 \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right] \times 1000}{\pi \times 3 [\text{mm}]} = 21220.66 [\text{RPM}] \cong 21300 [\text{RPM}]$$

Cálculo de Avance por diente (f_z):

Con la ecuación:

$$f_z = \frac{V_f}{n \times ZEFF}$$

Dónde:

$$V_f = \text{Avance de mesa}$$

$$ZEFF = \text{Numero de dientes}$$

Reemplazando en la ecuación:

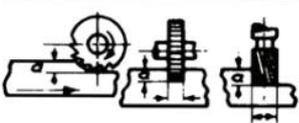
$$f_z = \frac{200 \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right]}{21300 [\text{RPM}] \times 2 [\text{diente}]} = 0.004694 \left[\frac{\text{mm}}{\text{diente}} \right]$$

Cálculo de sección de viruta [S_v]:

Con la ecuación:

$$S_v = a \times f_z$$

El valor de a lo sacamos de:

NORMALIZACION DE LAS PROFUNDIDADES DE FRESADO			
	Profundidades de fresado «a» y ancho de corte		
	Fresado en terminación y con pasada única	Fresado en desbaste	Fresado en Afinado
1. Fresas Cilíndricas.	Todo el ancho de la fresa, a = 3 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 5-8 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 1 mm.
2. Fresas Frontales.	Ancho = al diámetro de la fresa, a = 3 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 5 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 1 mm.
3. Fresas Frontales de mango.	Igual al diámetro de la fresa, a = 2 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 4 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 0,5 mm.
4. Fresas de disco.	a = Ancho de la fresa como máximo	a = a la mitad del ancho de la fresa	a = 5 % del ancho de la fresa
5. Fresas de forma.	a = Todo el perfil en pequeñas formas	a = 1.º Pasada 45 % altura, 2.º 45 %	a = 10 % de la altura de su forma

FUENTE: (Pilatásig y Sánchez, 2013)

Reemplazando datos:

$$S_v = 5[mm] \times 0.004694 \left[\frac{mm}{diente} \right] = 0.02347 [mm^2]$$

Cálculo de tasa de corte o remoción de material (Q):

Con la ecuación:

$$Q = \frac{V_f \times W_c \times a}{1000}$$

Dónde:

$$W_c = \text{Espesor de corte [mm]}$$

$$a = \text{Profundidad de corte [mm]}$$

Reemplazando:

$$Q = \frac{200 \left[\frac{mm}{min} \right] \times 3[mm] \times 5[mm]}{1000} = 3 \left[\frac{cm^3}{min} \right]$$

Cálculo de la potencia de corte [P_c]:

Con la ecuación:

$$P_c = \frac{Q}{Q'}$$

De tablas:

Cantidad V' Admisible de virutas en cm ³ /Kw min de potencia en la máquina						
Clase de fresado	Acero sin alear 35...60 kg/mm ² de resistencia	Acero aleado 6080 kg/mm ² de resistencia	Acero aleado hasta 100 kg/mm ² de resistencia	Fundición gris semidura	Latón y bronce rojo	Metales ligeros
Fresado con fresa cilíndrica	12	10	8	22	30	60
Fresado con fresa frontal	15	12	10	28	40	75

FUENTE: (Pilatásig y Sánchez, 2013)

Entonces de tablas $Q' = 75 \left[\frac{cm^3}{min \times kW} \right]$, entonces reemplazando datos:

$$P_c = \frac{3 \left[\frac{cm^3}{min} \right]}{75 \left[\frac{cm^3}{min \times kW} \right]} = 0.04 [kW] = 40 [W]$$

Cálculo de la fuerza de corte o fuerza de empuje [F_c]:

Con la ecuación:

$$F_c = K_s \times S_v$$

Dónde:

$$K_s = K_{s0} \times e^{-z}$$

$$e = \left(\frac{V_f}{ZEFF \times n} \right) \times \left(\sqrt{\frac{a}{W_c}} \right)$$

De tablas:

MATERIAL	k_{s0} da N/mm ²	z
Cobre	78	0.3
Bronce	124	0.3
Latón	54	0.3
Plásticos	19	0.3

FUENTE: (Pilatásig y Sánchez, 2013)

El valor de K_{s0} , asumimos que es un plástico. Entonces sería $K_{s0} = 19 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$.

Reemplazando datos:

$$e = \left(\frac{200 \left[\frac{mm}{min} \right]}{2[diente] \times 21300[RPM]} \right) \times \left(\sqrt{\frac{5[mm]}{3[mm]}} \right) = 0.00606 [mm]$$

$$K_s = 19 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \times 0.00606 [mm]^{-0.3} = 87.9 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$F_c = 87.9 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \times 0.3939 [mm^2] = 34.62 [N]$$

CALCULO PARA EL TORNILLO DE POTENCIA PARA EL EJE Y

Para este análisis la ecuación que utilizaremos para calcular el torque que debe generar el tornillo de potencia es: (el análisis se realizara para el eje X debido a que ahí se presenta el mayor torque)

$$T_u = \frac{F \times D_m}{2} \times \left(\frac{\tan \tan (\lambda) + \mu}{1 - \mu \tan \tan (\lambda)} \right)$$

$$F = F_r + F_c$$

$$\tan \tan (\lambda) = \frac{p}{\pi \times D_m}$$

$$D_m = D_e - p$$

Dónde:

$$T_u = \text{Torque}$$

$$F = \text{Carga total}$$

$F_r =$ Fuerza de rozamiento de los rodamientos lineales

$F_c =$ Fuerza de corte o fuerza de empuje

$p =$ paso

$D_m =$ Diametro medio

$D_e =$ Diametro exterior

De los datos del modelo sabemos:

$$m_{DREMEL} = 550 [g]$$

$$m_{SOPORTE\ DEL\ DREMEL\ y\ estructura\ Z} = 1000 [g]$$

$$m_{guias} = 58 \left[\frac{g}{guia} \right]$$

$$Numero\ de\ guias = 4$$

La masa total será:

$$m_{total} = 550 + 1000 + 58 \times 4 = 1782 [g] = 1.782 [kg]$$

Calculamos el peso:

$$W = 1.782 [kg] \times 9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 17.48 [N]$$

Calculo de la Carga total:

La fuerza de rozamiento es:

Como son 4 rodamientos lineales.

$$F_{rod} = \frac{17.48}{4} = 4.37 [N]$$

Ahora la fuerza de rozamiento:

$$F_r = 4.37 \times 0.34 \times 4 = 5.94 [N]$$

La fuerza de corte ya fue calculada en parámetros de la fresa:

$$F_c = 34.62 [N]$$

Por lo tanto:

$$F = 5.9432 + 34.62 = 40.5632 [N]$$

Calculo de $\tan \lambda$:

Por los datos del fabricante.

$$p = 2 \text{ mm}$$

$$D_e = 8 \text{ mm}$$

Calculando:

$$D_m = 8 - 2 = 6 \text{ mm}$$

$$\tan \lambda = \frac{2}{\pi \times 6} = 0.106$$

Para el coeficiente de fricción, lo sacamos de tablas en metal sobre metal sin engrasar:

VALORES DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO "u"		
superficie de contacto	"u" estatico	"u" cinético
metal sobre metal (secos)	0,2	0,1
metal sobre metal (engrasada)	0,1	0,05

FUENTE: <http://www.fullmecanica.com/definiciones/t/147-tornillos-de-potencia-mecanica>

Reemplazando en la ecuación de potencia:

$$T_u = \frac{40.5632[N] \times 0.006[m]}{2} \times \left(\frac{0.106 + 0.2}{1 - (0.2)(0.106)} \right) = 380.43 [mN.m]$$

CALCULOS EN EJES GUÍA

Los cálculos se realizarán para los ejes guía de los ejes X y Y, debido a que son los que soportan más carga.

Datos Para Calculo de ejes guía:

Características de las guías (proveedor: Bosch Rexroth AG)

<https://www.boschrexroth.com/en/xc/products/product-groups/linear-motion-technology/linear-bushings-and-shafts/steel-shafts/index>

- Material = eje macizo de acero
- Densidad = 7800 kg/m³
- Módulo de Young, E= 205 MPa = 205 N/mm²

Para el eje Y:

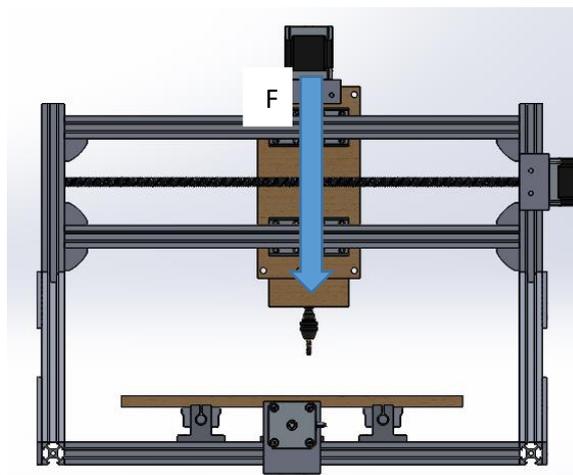


Imagen del eje x (Fuente SolidWorks)

La fuerza que soportan las guías del extrusor la designamos con la letra “F”, las cuales son el peso del e, el soporte del dremel y el eje Z.

Tomando mediciones de las piezas en una balanza:

$$m_{DREMEL} = 550 [g]$$

$$m_{SOPORTE\ DEL\ DREMEN\ y\ estructura\ Z} = 1000 [g]$$

$$m_{guias} = 58 \left[\frac{g}{guia} \right]$$

$$Numero\ de\ guias = 4$$

La masa total será:

$$m_{total} = 550 + 1000 + 58 * 4 = 1782 [g] = 1.782 [kg]$$

La fuerza será:

$$F_{total} = m_{total} \times g = 1.782 \times 9.81 = 17.48 [N]$$

Entonces la fuerza por cada guía será:

$$F = \frac{F_{total}}{2} = \frac{17.48}{2} = 8.74 [N]$$

Consideramos que la guía estará sometida a una carga puntual, entonces el momento flector máximo se puede expresar con la ecuación:

$$M = \frac{FL}{4} [N.m]$$

De datos de las piezas sabemos que:

$$L = 400\ mm = 0.4\ m$$

Reemplazando:

$$M = \frac{(8.74)(400)}{4} = 874 [N.mm]$$

Y el esfuerzo debido al momento flector será:

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

De la Teoría del Máximo Esfuerzo Cortante:

$$(\sigma_1 - \sigma_2) \leq S_y/n$$

Calculando los esfuerzos principales:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{16M}{\pi d^3}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2} = \frac{16M}{\pi d^3}$$

Ahora los esfuerzos principales:

$$\sigma_1 = \tau_{max} + \sigma_m = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_2 = \tau_{max} - \sigma_m = 0$$

Comparando con la ecuación principal:

$$\frac{32M}{\pi d^3} \leq S_y/n$$

Despejamos el diámetro:

$$d \geq \left(\frac{32Mn}{\pi S_y} \right)^{\frac{1}{3}}$$

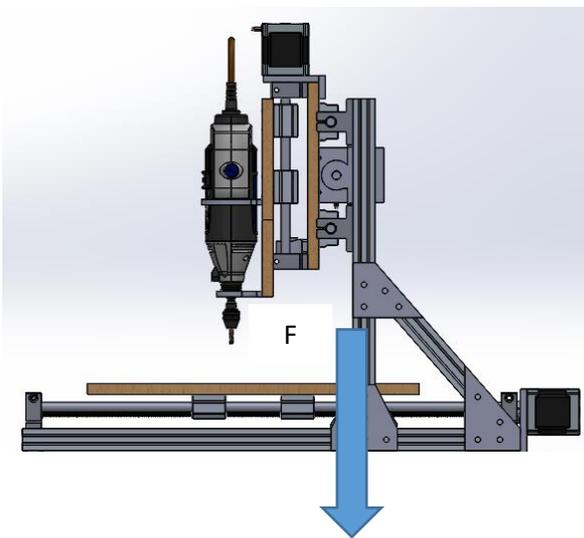
Esta es la ecuación para seleccionar el diámetro de las guías, asumimos un factor de seguridad $n = 3$, entonces llenando de valores la ecuación:

$$d \geq \left(\frac{32(874)(3)}{\pi(205)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d \geq 5.06 \text{ [mm]}$$

El diámetro de las guías tiene que ser mayor o igual a 5.06 mm para que se cumpla un factor de seguridad 3.

Para el eje X:



Datos medidos en una balanza:

$$medidas_{\text{mesa de trabajo}} = 300 \times 300 \times 10 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{materiales ligeros}} = 4.50 \text{ kg/cm}^3$$

$$m_{\text{guias}} = 58 \left[\frac{g}{\text{guía}} \right]$$

$$\text{Numero de guias} = 4$$

Asumimos que las piezas sobre la mesa de trabajo tendrán una masa de:

$$m_{pieza} = 1000 [g]$$

La masa total será:

$$m_{total} = 1000 + 58 * 2 + (0.3 + 0.3 + 0.01) * 4.5 * 1000 = 3.816 [kg]$$

La fuerza será:

$$F_{total} = m_{total} \times g = 3.816 \times 9.81 = 37.43 [N]$$

Entonces la fuerza por cada guía será:

$$F = \frac{F_{total}}{2} = \frac{37.3}{2} = 18.715 [N]$$

Consideramos que la guía estará sometida a una carga puntual, entonces el momento flector máximo se puede expresar con la ecuación:

$$M = \frac{FL}{4} [N.m]$$

De datos de las piezas sabemos que:

$$L = 400 \text{ mm} = 0.4 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$M = \frac{(18.715)(400)}{4} = 1871.5 [N.mm]$$

Y el esfuerzo debido al momento flector será:

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

De la Teoría del Máximo Esfuerzo Cortante:

$$(\sigma_1 - \sigma_2) \leq S_y/n$$

Calculando los esfuerzos principales:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{16M}{\pi d^3}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2} = \frac{16M}{\pi d^3}$$

Ahora los esfuerzos principales:

$$\sigma_1 = \tau_{max} + \sigma_m = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_2 = \tau_{max} - \sigma_m = 0$$

Comparando con la ecuación principal:

$$\frac{32M}{\pi d^3} \leq S_y/n$$

Despejamos el diámetro:

$$d \geq \left(\frac{32Mn}{\pi S_y} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Esta es la ecuación para seleccionar el diámetro de las guías, asumimos un factor de seguridad $n = 3$, entonces llenando de valores la ecuación:

$$d \geq \left(\frac{32(1871.5)(3)}{\pi(205)} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d \geq 6.534 \text{ [mm]}$$

El diámetro de las guías tiene que ser mayor o igual a 6.534 mm para que se cumpla un factor de seguridad 3.

Anexo 3. Guía de Observación

GUÍA DE OBSERVACIÓN

Datos Generales:

Observador:	DNI:
Empresa:	Cargo:

INSTRUCCIONES: Observe si las siguientes actividades que se enuncian son cumplidas por la máquina y marque que tan buena es con su ejecución. Es importante también si tiene alguna observación la indique en el recuadro.

No	Actividades a evaluar	1	2	3	4	5	Observación
1	La máquina realiza dos o más piezas del mismo modelo sin resaltar diferencias en sus geometrías.						
2	La máquina puede realizar movimientos en tres ejes lo que facilita el maquinado de las piezas						
3	La máquina puede fresar y grabar en más de tres tipos de materiales (madera, MDF, acrílico).						
4	La máquina puede fresar y grabar diseños con diferentes geometrías (diferentes formas).						

NOTA: Los números que se muestran después de la actividad son las escalas en las que se evaluara, que tiene los siguientes valores: (5) Muy Bueno, (4) Bueno, (3) Regular, (2) Malo, (1) Muy Malo.

Anexo 4.**Certificados de validez del contenido de instrumentos de investigación****CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO (ENTREVISTA)**

N°	Items	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
1	¿realiza diseños personalizados?	✓		✓		✓		
2	¿cuál es su producción diaria aproximadamente que se realiza en su empresa?	✓		✓		✓		
3	¿Cuál es la razón más importante por la que su producto es más costoso? Ejemplo: ¿acabado, diseños, etc.?	✓		✓		✓		
4	¿Qué espacio de trabajo sería adecuado para este tipo de maquina (Ejemplo: 400mmx400mmx300mm)?	✓		✓		✓		
5	¿Qué tipo de materiales utiliza usted en su producción?	✓		✓		✓		
6	¿Cuál es el tiempo aproximado que realiza una pieza?	✓		✓		✓		
7	¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una máquina que pueda realizar la fabricación de sus piezas?	✓		✓		✓		
8	¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una Maquina que pueda realizar la fabricación de sus piezas?	✓		✓		✓		
9	¿En cuánto valoriza su producto (piezas artesanales) más costoso?	✓		✓		✓		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Sí [] No [X]

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Mg / Dr.: Sixto Ricardo Prado Gardini DNI:

Especialidad del validador: *Automatización*

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Trujillo, mayo de 2019


Firma del Experto Informante

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO (ENTREVISTA)

Nº	Items	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
		Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	¿realiza diseños personalizados?							
2	¿cuál es su producción diaria aproximadamente que se realiza en su empresa?							
3	¿Cuál es la razón más importante por la que su producto es más costoso? Ejemplo: ¿acabado, diseños, etc.?							
4	¿Qué espacio de trabajo sería adecuado para este tipo de maquina (Ejemplo: 400mmx400mmx300mm)?							
5	¿Qué tipo de materiales utiliza usted en su producción?							
6	¿Cuál es el tiempo aproximado que realiza una pieza?							
7	¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una máquina que pueda realizar la fabricación de sus piezas?							
8	¿En cuánto tiempo piensa que podría recuperar la inversión de comprar una Maquina que pueda realizar la fabricación de sus piezas?							
9	¿En cuánto valoriza su producto (piezas artesanales) más costoso?							

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Sí [] No []

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador. Mg / Dr.: Jorge Antonio Inciso Vásquez DNI: 26695389

Especialidad del validador:

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión.

Trujillo, mayo de 2019



Firma del Experto Informante