



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA CNC
PARA MDF DE 2.5 – 12 mm**

TITULACIÓN INTEGRAL POR TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PRESENTA:
LUIS ALBERTO VALDEZ AGUILAR**

**NOMBRE DEL ASESOR:
DR. RAÚL CORTÉS MALDONADO**



APIZACO, TLAX., SEPTIEMBRE 23



Apizaco, Tlaxcala, 03/Mayo/2023

Oficio No.: MM/325/2023.

ASUNTO: Liberación de Proyecto para la Titulación Integral.

MARTIN ROJAS RAMÍREZ
JEFE DEL DEPTO. DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno:	LUIS ALBERTO VALDEZ AGUILAR
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	10370680
Nombre del Proyecto:	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA CNC PARA MDF DE 2.5 – 12 MM.
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL POR TESIS.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

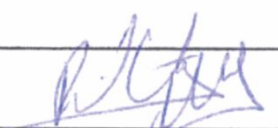
ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar*


EFREN SÁNCHEZ FLORES
JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
**DEPARTAMENTO DE
METAL MECÁNICA**

		
RAÚL CORTES MALDONADO ASESOR	ROBERTO MORALES CAPORAL REVISOR	HAYDEE PATRICIA MARTÍNEZ HERNÁNDEZ REVISOR

- C.p. Oficina de Titulación.-
C.p. Departamento de servicios escolares
C.p. Expediente.- Jefe de proyectos de vinculación Metal-Mecánica





Apizaco, Tlax., 23/junio/2023
No. OFICIO: DEP-CT/493/2023

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

LUIS ALBERTO VALDEZ AGUILAR
EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL: 10370680
P R E S E N T E

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL POR TESIS** cuyo tema es: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA FRESADORA CNC PARA MDF DE 2.5-12mm"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Sin otro particular por el momento, le envió un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®


MARTÍN ROJAS RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

c.p. archivo



AGRADECIMIENTOS

A mis padres María Nieves Aguilar Rodríguez y Raúl Valdez Martínez les doy las gracias por haberme formado como la persona que soy, su apoyo incondicional y todo su esfuerzo realizado con dedicación, paciencia y sacrificio para permitirme cumplir esta meta.

Le agradezco a la persona que cambio mi vida y ser mi motivación, que me ha hecho ser cada día mejor, siempre brindándome su comprensión y amor, que me da fuerza con su apoyo incondicional y sus palabras de aliento, a mi amada prometida Rosalba Flores Atriano.

Gracias a cada uno de mis maestros por darme las herramientas para poder desarrollarme en este proceso de formación, y a mi asesor Dr. Raúl Cortés Maldonado por brindarme su apoyo, así como sus conocimientos para desarrollar esta tesis.

A todas las personas que han influido en mi para crecer como persona les deseo lo mejor y les doy las gracias.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	2
1.1 FRESADORA.....	2
1.1.1 Tipos de fresadora.....	3
1.1.2 Elementos que constituyen a una fresadora	4
1.2 MOVIMIENTO	5
1.3 CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA (CNC).....	5
1.4 FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA	7
1.5 FIBROPANEL DE DENSIDAD MEDIA (MDF)	8
1.6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.7 JUSTIFICACIÓN	8
1.8 OBJETIVOS.....	9
1.8.1 Objetivo General	9
1.8.2 Objetivos específicos	9
2. METODOLOGÍA.....	10
2.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO	11
2.2 DISEÑO CONCEPTUAL	11
2.3 DISEÑO DE MATERIALIZACIÓN	13
2.3.1 Selección de componentes.....	13
2.4 DISEÑO A DETALLE	14
2.4.1 Piezas de termoplástico.....	14
2.4.2 Dirección “X”	18
2.4.3 Dirección “Y”	19
2.4.4 Dirección “Z”	20
2.4.5 Diseño de la mesa de maquinado.....	22
2.4.6 Diseño final de la fresadora CNC	23
3. RESULTADOS	24
3.1 ACTUADOR Y MOTORES.....	24
3.2 SISTEMA DE CONTROL.....	25
3.2.1 Microcontrolador ATmega328P	25
3.2.2 Driver A4988	26
3.3 ENSAMBLE DE LA FRESADORA CNC Y PRUEBAS	29
3.3.1 Piezas de termoplástico.....	29
3.3.2 Placas de unión de los ejes	29
3.3.3 Otros Componentes.....	30
3.3.4 Ensamble del eje X, Y, Z	31
3.4 PROCESO DE MAQUINADO	33
3.5 ANÁLISIS DE COSTOS.....	39
4. CONCLUSIONES	41
5. BIBLIOGRAFÍA.....	42
6. ANEXOS	43

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como principal objetivo diseñar e implementar una maquina CNC (Control Numérico por Computadora) para crear modelos en MDF (Tablero de Fibra de Densidad Media) a partir de un diseño CAD (Diseño Asistido por Computadora), brindando la posibilidad de fabricar piezas funcionales con dicho material.

Se contempla el MDF ya que es un material que es utilizado en la fabricación de una gran variedad de productos debido a que se puede conseguir con diferentes grosores, lo que lo hace útil es que está fabricado a partir de la unión de fibras de madera mediante adhesivos y un proceso de prensado en caliente, por lo que se obtiene un material que conserva su espesor a lo largo del tablero.

Este trabajo presenta los siguientes capítulos:

En el capítulo 1; se abordan las generalidades del proyecto, seguido del 1.1 correspondiente a la introducción. También se definen conceptos del Control Numérico por Computadora, así como el código que utiliza para desplazar la maquina a lo largo de los tres ejes x, y, z.

En el capítulo 2; se describe la metodología, el proceso de diseño de la máquina y el ensamble de la misma.

En el capítulo 3; se presentan los resultados de los componentes utilizados, el sistema eléctrico, el proceso para realizar una pieza con la fresadora CNC y el análisis de costos.

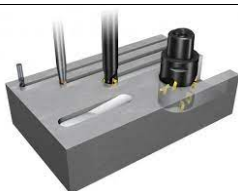
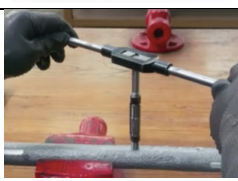
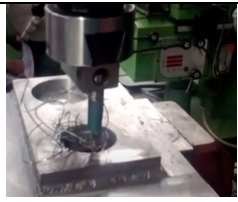
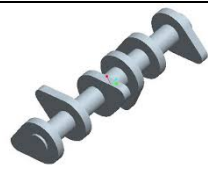
En el capítulo 4; se realizan las conclusiones del trabajo presentado.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Fresadora

Las fresadoras son máquinas ampliamente utilizadas en procesos industriales de manufactura, su característica principal consiste en que su útil cortante lo constituyen discos o cilindros de acero, llamados fresas, provistos de varios filos cortantes. Las fresadoras facilitan la elaboración de ensambles de madera, fresar perfiles o molduras, maderas y plástico. El maquinado de las piezas se realiza por arranque de viruta a través del movimiento de distintas herramientas rotativas perfiladas accionadas mecánicamente. La tabla 1 muestra las principales formas de piezas y trabajos característicos que se pueden obtener con una fresadora utilizando los accesorios adecuados.

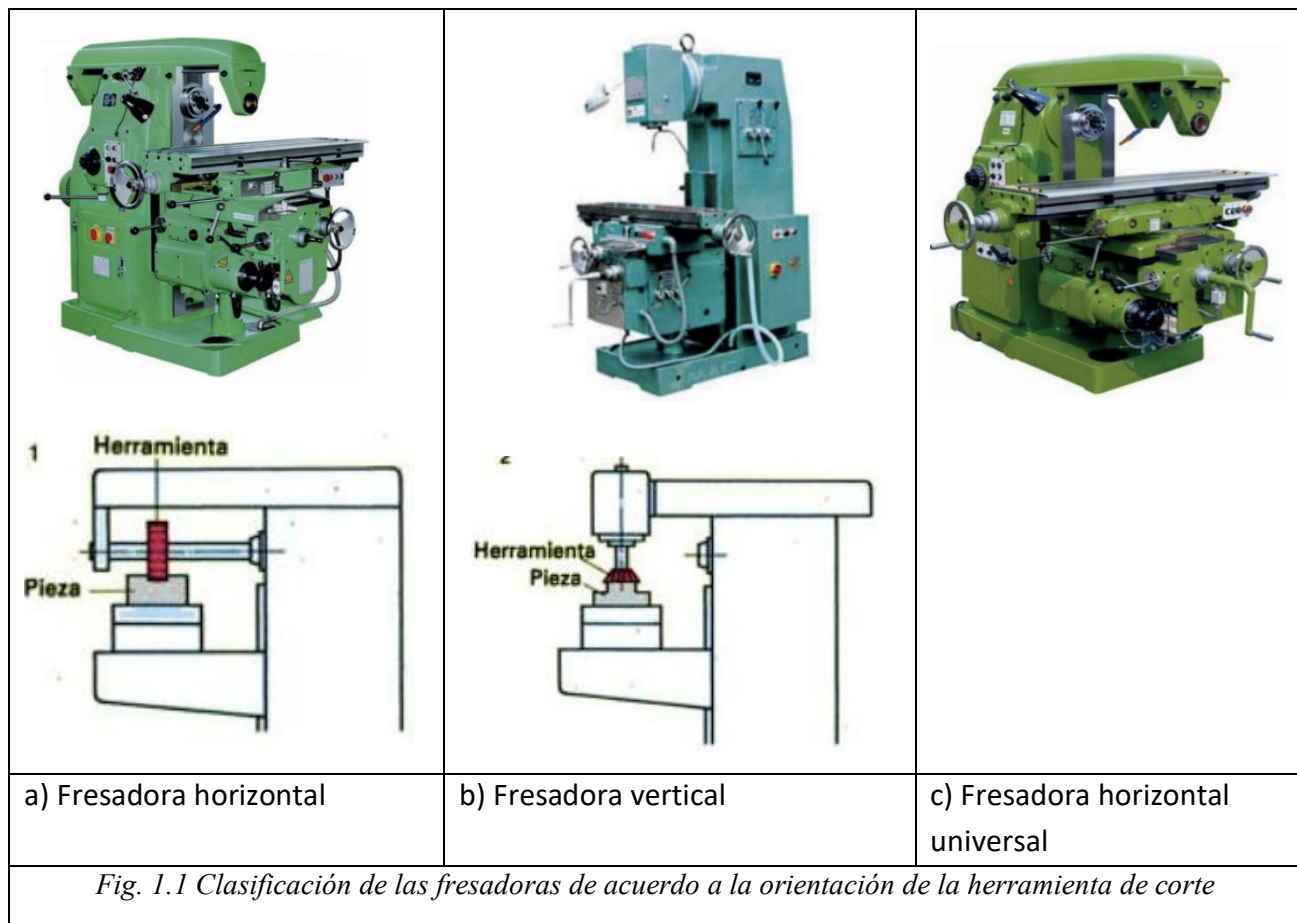
Tabla 1 Formas de piezas y trabajos característicos que se pueden obtener con una fresadora.

Forma de pieza	Imagen	Trabajo característico	Imagen
Calzos		Planeado de superficies	
Bases o mesas ranuradas		Ranurado en piezas fijas	
Escariadores		Taladrado	
Ejes y agujeros estriados		Mandrilado	
Levas		Ejecución de chaveteras exteriores e interiores	

1.1.1 Tipos de fresadora

Las fresadoras pueden clasificarse de acuerdo a la orientación de la herramienta de corte de la siguiente manera [1, 2].

- Fresadora horizontal (ver Fig. 1.1a): utiliza fresas cilíndricas que se montan sobre un eje horizontal accionado por el cabezal de la máquina y apoyado por un extremo sobre dicho cabezal y por el otro sobre un rodamiento situado en el puente deslizante llamado carnero. Este tipo de fresadoras permiten realizar trabajos de ranurado, con diferentes perfiles o formas de las ranuras.
- Fresadora vertical (ver Fig. 1.1b): el eje de la herramienta rotativa (husillo) está orientada verticalmente, perpendicular a la mesa de trabajo. La fresadora vertical se aplica generalmente para trabajos de fresado frontal.
- Fresadora horizontal universal (ver Fig. 1.1c): contiene un husillo principal para el acoplamiento de ejes, portaherramientas horizontales y un cabezal que se acopla a dicho husillo y que convierte la máquina en una fresadora vertical. En el ámbito de aplicación la fresadora horizontal universal es limitado debido a los costos, así como por el tamaño de las piezas que se pueden trabajar, no obstante, son de las más empleadas por mayor versatilidad.



1.1.2 Elementos que constituyen a una fresadora

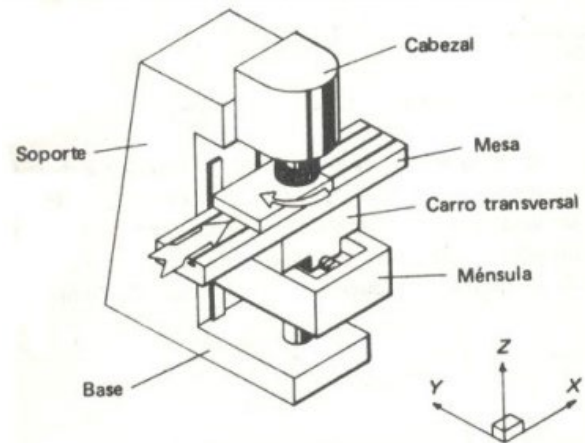


Fig. 1.2 Elementos de una Fresadora [3]

Los elementos que conforman una Fresadora (Fig. 1.2) se describen a continuación:

Base: es el soporte donde se apoya la fresadora y que permite fijarla al piso.

Carro transversal: Se denomina así, al conjunto de mecanismos que se desplazan en sentido paralelo al eje principal de la máquina. El carro transversal puede desplazarse a través de las guías de la ménsula.

Mesa: es la superficie donde se trabaja la pieza, las cabezas de los tornillos que implementan los accesorios para el anclaje del material van alojadas en las ranuras con forma de "T" que posee esta parte de la máquina.

Soporte: estructura donde se desplaza la ménsula para subir y bajar la mesa, también se utiliza para fijar el cabezal.

Cabezal: estructura donde se ubica el motor que permite girar la fresa para realizar el corte.

Ménsula: Se llama así al carro vertical que, por medio de las guías, se acopla al cuerpo de la máquina. En la parte superior lleva las guías para el carro transversal. En el interior de la ménsula se alojan los mecanismos para el avance manual de los distintos carros. El desplazamiento de la ménsula (hacia arriba o abajo) se realiza por medio de un tornillo que se acciona con una manivela que tiene un tambor graduado para controlar dicho desplazamiento [3].

1.2 Movimiento

Uno de los principales retos para desarrollar una fresadora CNC es el control y sincronización de los ejes (X, Y, Z) utilizando motores paso a paso, donde el posicionamiento y precisión juegan un rol muy importante.

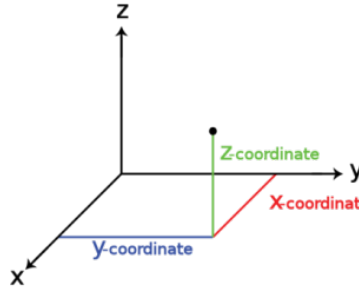


Fig. 1.3. Plano tridimensional [4]

Para realizar un movimiento tridimensional (ver Fig. 1.3) típicamente suele emplearse un sistema de banda dentada y varilla roscada.

1.3 Control Numérico por Computadora (CNC)

El control numérico por computadora es un tipo de automatización programable ampliamente utilizado en procesos de manufactura. En este tipo de automatización se debe crear un programa que contiene los datos alfanuméricos codificados que controla las acciones de cada parte del equipo.

La fig. 1.4 muestra el diagrama de control de una máquina CNC donde el dispositivo de entrada es una computadora mediante la cual se envía el programa al controlador para realizar el movimiento de la máquina, también permite monitorear sus movimientos a través de su pantalla, para el desplazamiento de la máquina el controlador utiliza el código G (Generales) y para realizar tareas diversas el código M (Misceláneos) [5]. En la tabla 2 se presenta un ejemplo de dichos códigos.

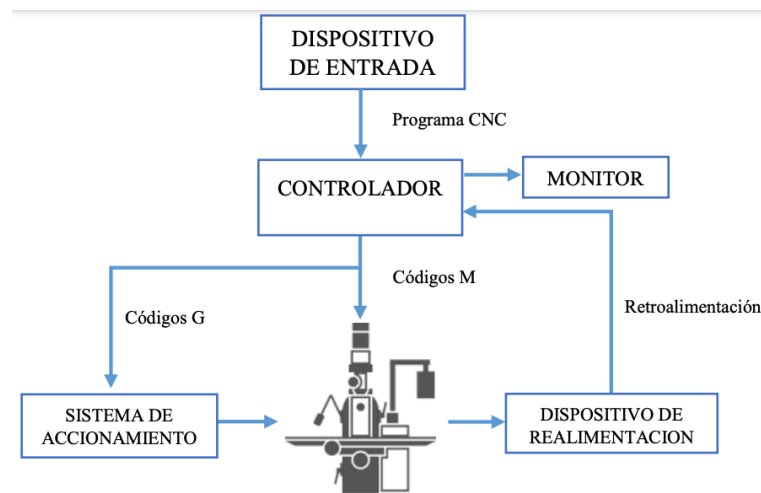


Fig. 1.4 Diagrama de control de una máquina CNC (Fuente: Ref. [5])

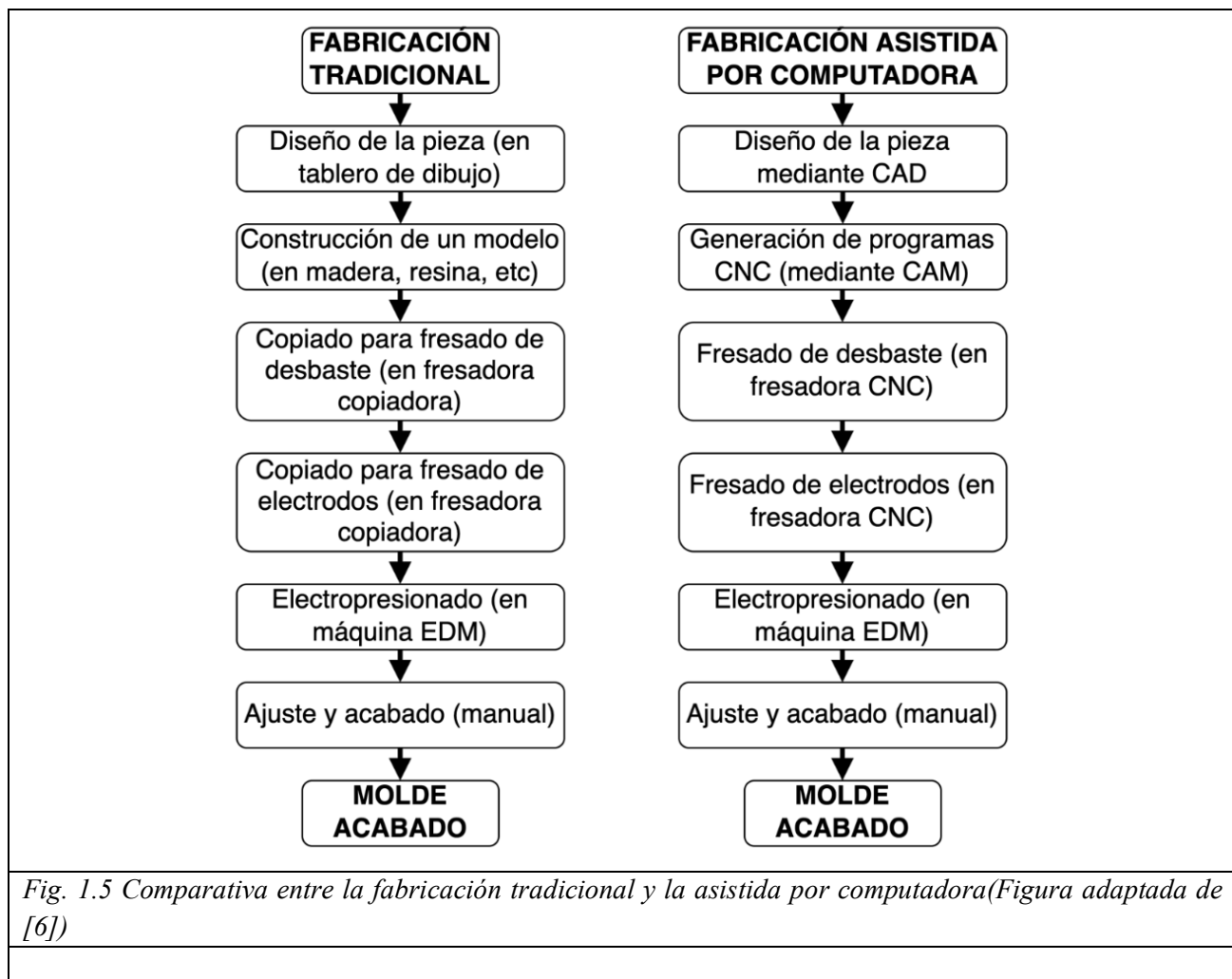
Tabla 2. Código y descripción para cortar un cuadro de 25 x 25 mm

Código	Descripción
T1	Llamar a la herramienta 1
G17	Seleccionar plano X, Y
G21	Usar sistema métrico
G90	Coordenadas absolutas
G0 Z20.000	Avance rápido a Z = 20 mm
G0 X0.000 Y0.000	Avance rápido a X = 0 mm y Y= 0 mm
S 9600 M3	Revoluciones por minuto de la herramienta (9600 rpm) de corte y enciende el cabezal en sentido horario
G0 X9.500 Y10.000 Z5.000	Avance rápido a X = 9.5 mm, Y = 10 mm, Z = 5 mm
G1 Z-3.200 F420.0	Avance de maquinado a Z = - 3.2 mm con una velocidad de 420 mm/min
G1 Y35.000 F1800.0	Avance de maquinado a Y = 35 mm con una velocidad de 1800 mm/min
G2 X10.000 Y35.500 I0.500 J0.000	Interpolación circular horaria iniciado en el punto X = 10 mm, Y = 35.5 mm. Como la curva es en dirección a X, se escribe en I la distancia entre la posición de la fresa y el centro de la curva (0.5 mm)
G1 X35.000	Avance de maquinado a X = 35 mm
G2 X35.500 Y35.000 I0.000 J-0.500	Interpolación circular horaria iniciando en el punto X = 35.5 mm, Y = 35 mm. Como la curva es en dirección a Y, se escribe en J la distancia entre la posición de la fresa y el centro de la curva, el valor es negativo ya que se desplaza hacia abajo (-0.5 mm)
G1 Y10.000	Avance de maquinado a Y = 10 mm
G2 X35.000 Y9.500 I-0.500 J0.000	Interpolación circular horaria iniciando en el punto X= 35mm, Y = 9.5 mm. Como la curva es en dirección a X, se escribe en I la distancia entre la posición de la fresa y el centro de la curva , el valor es negativo ya que se desplaza hacia la izquierda (-0.5 mm)
G1 X10.000	Avance de maquinado a X = 10 mm
G2 X9.500 Y10.000 I0.000 J0.500	Interpolación circular horaria iniciando en el punto X= 9.5 mm, Y = 10 mm. Como la curva es en dirección a Y, se escribe en J la distancia entre la posición de la fresa y el centro de la curva (0.5 mm)
G0 Z5.000	Avance rápido a Z = 5 mm
M5	Apagar el husillo
G0 Z20.000	Avance rápido a Z = 20 mm
G0 X0.000 Y0.000	Avance rápido a X = 0 mm y Y= 0 mm
M2	Fin del Programa

1.4 Fabricación asistida por computadora

La fabricación asistida por computadora (CAM) es ampliamente utilizada en diferentes procesos de fabricación que, normalmente están disponibles por módulos, por ejemplo, de fresado, torneado, electroerosión, punzonado, etc. La fabricación por medio de CAM es particularmente eficaz cuando la pieza a fabricar tiene una forma compleja y su fresado no puede ser manejado de forma manual. La figura 1.5 muestra una comparación esquemática entre el proceso tradicional y el computarizado para la fabricación de un molde de inyección [6].

Entre las ventajas en la fabricación asistida por computadora se encuentra el mecanizado de piezas más fieles con respecto al modelo virtual, así también, se evita el uso de modelos físicos. Además, si el diseño inicial debe modificarse, en el método tradicional se debe construir un nuevo modelo físico para el copiado, mientras que en la fabricación asistida por computadora la modificación es prácticamente inmediata.



1.5 Fibropanel de densidad media (MDF)

El fibropanel de densidad media o MDF es un material elaborado de fibras de madera, las cuales se combinan con cera y un aglutinante de resina, para así formar los paneles al aplicar presión y altas temperaturas. Las fibras se obtienen calentando partículas de madera y forzando su paso a través de los discos rotativos del desfibrador [7].

Existe una gran variedad de longitudes (desde 2,050 mm hasta más 4,000 mm), de anchuras (desde 1,220 mm hasta 2,500 mm) y de espesores (desde 2,5 mm hasta 50 mm). Actualmente, con las prensas continuas se pueden obtener tableros de cualquier longitud y espesor, la anchura queda limitada por el ancho de la prensa. Se caracterizan por su uniformidad y homogeneidad en todo su espesor, sus caras son lisas y suaves, no presentan problemas para su corte y se mecanizan con mucha facilidad [8].

1.6 Planteamiento del problema

La fabricación de productos y piezas realizadas en MDF de manera manual elevan su costo, esto se debe al proceso que se requiere, el cual puede variar dependiendo de la pieza a fabricar, los más usuales son: realizar el trazo o utilizar una plantilla, hacer cortes rectos o curvos utilizando una sierra cinta, perforaciones implementando un taladro con brocas de diferentes diámetros, el desbaste elaborado con un router manual con fresas de diferentes diámetros. El tiempo que se requiere para ejecutar todos los procesos mencionados además del cansancio físico y mental por realizar un proceso repetitivo limita el número de piezas que se pueden fabricar por día, así como su calidad, por lo que el producto resultante para el consumidor final no cumple con su expectativa.

En el caso de los estudiantes de ingeniería realizar prototipos complejos y funcionales resulta una tarea difícil ya que no cuentan con la diversidad de herramientas necesarias.

1.7 Justificación

La propuesta de una fresadora CNC para MDF de 2.5 – 12 mm de tres ejes, usando el microcontrolador Atmega 328P y motores paso a paso, enfocada en el mecanizado de piezas a través de modelos 2D y 3D, tiene por objeto atender la necesidad de optimizar tiempos, recursos económicos e infraestructura de microempresarios, artesanos y emprendedores que laboran con materiales de baja densidad, tal como lo es el MDF en espesores de 2.5 a 12 mm, mejorando la calidad de los productos que ofertan. La fresadora CNC para MDF que se propone, cuenta con un sistema que permite cortar y grabar dicho material permitiéndole la fabricación de productos únicos.

Por otra parte, brindar a los estudiantes de ingeniería un procedimiento claro y conciso que les permita desarrollar su propia máquina CNC a un bajo costo y, de esta forma, mecanizar piezas y

prototipos funcionales con base en diseños asistidos por computadora (CAD) que desarrollan en asignaturas como: mecanismos, diseño asistido por computadora, diseños de elementos mecánicos, manufactura avanzada, etc.

1.8 Objetivos

1.8.1 Objetivo General

Diseñar e implementar una fresadora CNC para MDF de 2.5 – 12 mm de tres ejes, usando el microcontrolador ATmega 328P y motores paso a paso, enfocada en el mecanizado de piezas a través de modelos 2D y 3D.

1.8.2 Objetivos específicos

1. Diseñar e implementar el sistema de movimiento de una fresadora CNC para MDF de 2.5 – 12 mm de tres ejes.
2. Diseñar e implementar la mesa de maquinado
3. Cotizar los materiales para la implementación de la fresadora CNC para MDF de 2.5 – 12 mm de tres ejes.
4. Comprobar el funcionamiento de la maquina mediante la realización de piezas funcionales utilizando diseños elaborados en SolidWorks.

2. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se aplica una metodología descriptiva siguiendo el modelo de cuatro fases [9], el cual considera únicamente el diseño de la máquina o producto y establece las etapas del problema a resolver y la secuencia recomendada para llevarlas a término. Este modelo es adoptado por Pahl & Beitz [10], French [7] y la norma de los ingenieros alemanes VDI 2221 [11]. El diagrama del proceso de diseño y la descripción de las fases se presentan en la Fig. 2.1 y en la tabla 3.

Tabla 3 Modelo de cuatro fases para el diseño de una máquina o producto [9, 10].

Fases	Descripción corta	Resultados (Entregables)
1. Definición del producto	Especificaciones del producto que originan diversas alternativas de principio de solución y, después de evaluarlas, se elige la más conveniente.	Lista de requerimientos
2. Diseño conceptual	Creación del diseño conceptual y definición de los principios de funcionamiento, así como la selección de los principales componentes y el análisis de viabilidad económica.	Concepto del producto (Principios de solución, estructura funcional y modular)
3. Diseño de materialización	El diseño de detalle da como resultado los dibujos de fabricación	Diseño preliminar y diseño definitivo (Planos de conjunto, prototipos)
4. Diseño a detalle	Construcción de un prototipo de trabajo.	Documentación del producto (Planos de pieza, documentos de fabricación)

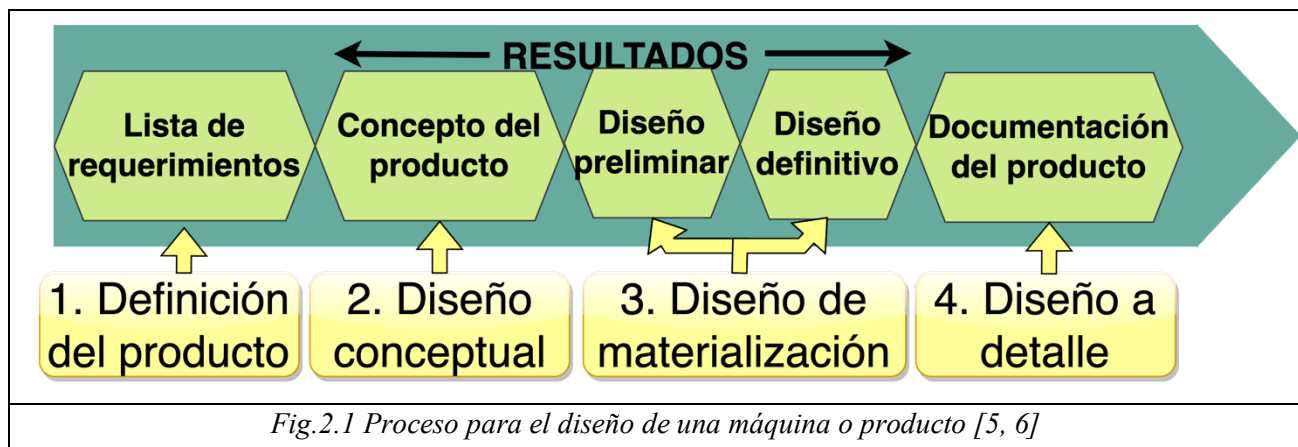


Fig.2.1 Proceso para el diseño de una máquina o producto [5, 6]

2.1 Definición del producto

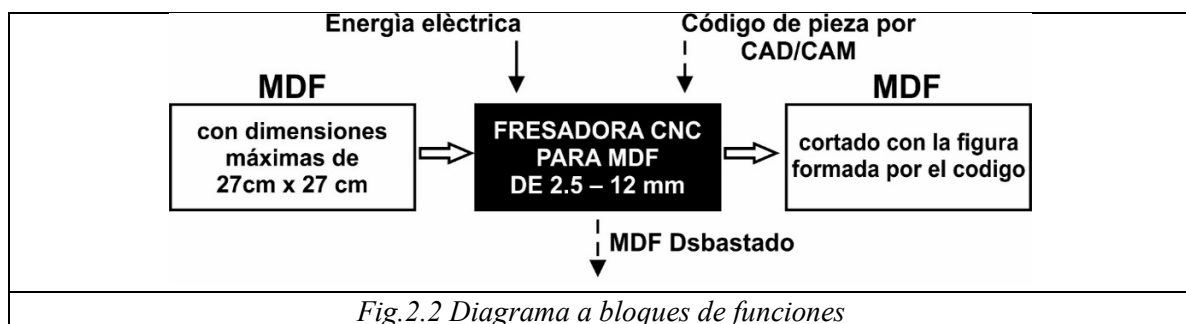
La tabla 4 presenta una lista de referencia de especificaciones del prototipo a desarrollar en el presente trabajo.

Tabla 4 Lista de referencia de especificaciones para el diseño de la fresadora CNC.

LISTA DE REFERENCIA DE ESPECIFICACIONES PARA FRESADORA CNC	
Categoría	Descripción
Función	Cortar, perforar y desbastar MDF de 2.5 a 12 mm a través de movimientos en el espacio.
Dimensiones	El área de corte debe ser de 27x27 cm. Las dimensiones finales de la fresadora no deben sobrepasar 80x80x30 cm.
Movimientos	La fresadora CNC debe realizar movimientos en el espacio (ejes X, Y, Z).
Energía	Alimentación: 120 V a 60 Hz.
Materiales	Motores paso a paso Drivers para motores paso a paso Herramienta de Corte Fuente de alimentación MDF Microcontrolador ATmega 328P Banda dentada Tornillo sin fin Poleas
Señales y control	Comunicación serial entre PC y microcontrolador.

2.2 Diseño conceptual

A partir de la lista de especificaciones elaborado en la sección 2.1, en la presente etapa se establece el principio de solución y la estructura funcional del producto, así como las estructuras físicas adecuadas que definen el concepto. La Fig. 2.2 presenta el diagrama a bloques del diseño conceptual para la fresadora CNC a desarrollar en este trabajo.



En la tabla 5 se presentan las alternativas para la fabricación de la fresadora CNC. Para el sistema de corte se proponen tres tipos de herramientas, el primero es un spindle de 1.2kg cuyo precio es de \$2,500 pesos, el segundo es un router de 1.5kg con un precio de \$1,900 pesos y el tercero es un Dremel de 0.6Kg el cual cuesta \$1,000 pesos, las tres alternativas permiten utilizar fresas para realizar el corte.

En lo referente a la fuerza motriz del sistema de movimiento de los ejes, se propone utilizar motores paso a paso en las tres alternativas. Así mismo, para el sistema de transición se considera utilizar un sistema de bandas y de varilla roscada para las tres propuestas.

Para el soporte de la máquina se proponen tres alternativas, la primera considera el uso de ejes acerados, la segunda es la implementación de tubos cuadrados de acero y, la tercera es utiliza perfiles de aluminio (tabla 5).

Tabla 5 Alternativas para la fabricación de la fresadora CNC

Alternativas		1	2	3
Función				
Sistema de Corte				
Sistema de Movimiento de los ejes	Fuerza Motriz			
	Sistema de Transición			
				
Soporte de la maquina				

2.3 Diseño de materialización

A continuación, se describe la propuesta de diseño el cual se observa en la fig. 2.3, para este se consideran las alternativas que se observan en la tabla 5, la cual fue dividida en el sistema de corte, sistema de movimiento de los ejes y soporte de la máquina.

Se plantea utilizar placas de MDF para conectar los componentes necesarios y las alternativas de la tabla 5, ya que es un material estructural y se puede manipular con relativa facilidad.

2.3.1 Selección de componentes

Dentro de las alternativas para el sistema de corte se considera utilizar un router, Dremel 3000 y un spindle. La alternativa que resulta ser más accesible para este proyecto es el Dremel 3000 ya que puede cortar el MDF de 2.5 a 12 mm, es ligero, y de menor precio. Al ser una máquina pequeña se puede optimizar el área de corte, ya que esta herramienta abarca menos espacio.

Para el sistema de movimiento se considera motores paso a paso ya que permiten mover cada uno de los ejes con gran precisión. En los ejes X, Y se considera utilizar poleas dentadas debido a que son económicas en comparación a una varilla, ya que las únicas piezas adicionales que se necesitan son los tensores para fijar la banda y las poleas tensoras. Para el eje Z la mejor alternativa es utilizar una varilla roscada debido al peso del Dremel que debe subir y bajar, además de mantener la placa que se desliza del eje “Z” en su posición sin necesidad de que el motor este todo el tiempo energizado.

Para el soporte se seleccionó el perfil de aluminio, ya que se pueden ajustar con mayor facilidad en comparación con las otras dos alternativas, el desgaste es menor debido a que las ruedas que se utilizan son de plástico. En las barillas aceradas se utilizan rodamientos lineales de metal ocasionando el rápido desgaste de los rodamientos, en los tubos cuadrados se implementan rodamientos de metal como si se trataran de ruedas ocasionando el mismo resultado que en el caso anterior, el usar este tipo de tubo dificulta el ajuste de la máquina ya que se deben colocar a 45° para que el carro se deslice sin que se salga del mismo.

Por lo antes mencionado, se concluye que la mejor alternativa de diseño es la que se presenta en la columna tres.

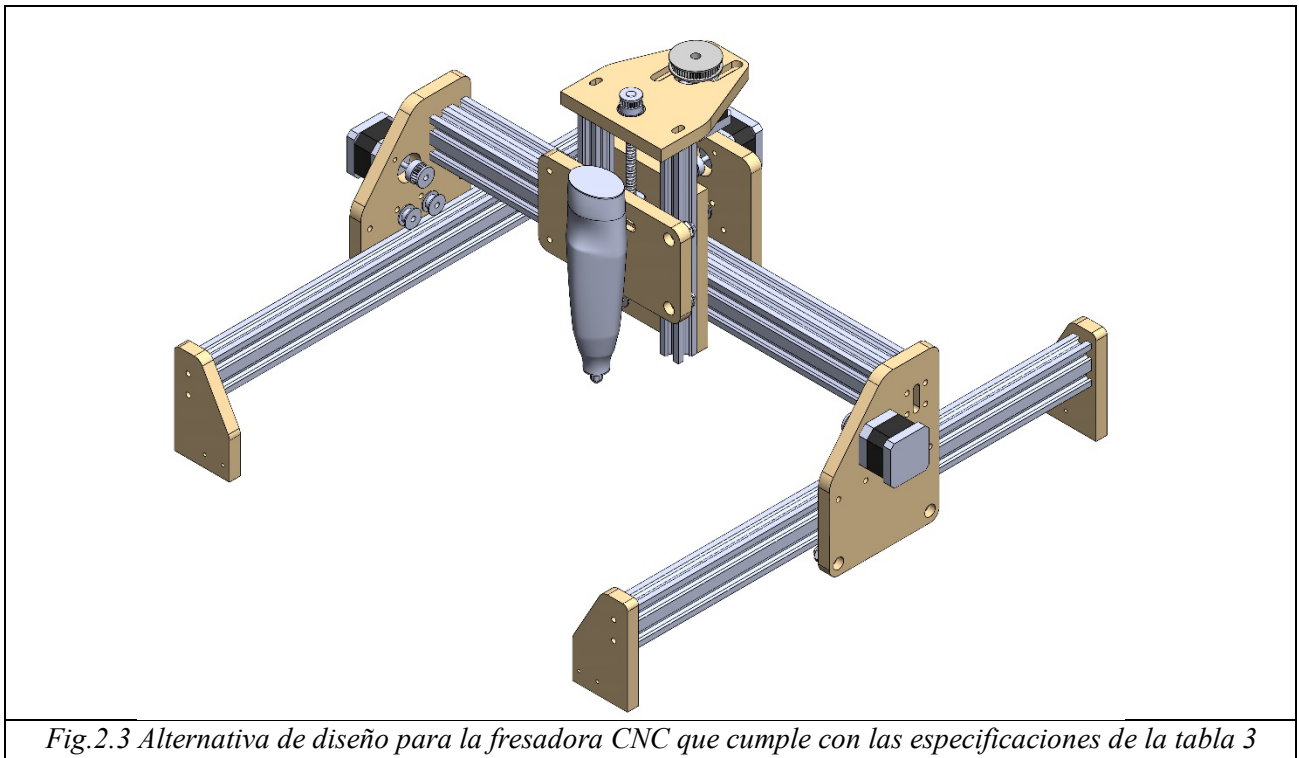


Fig.2.3 Alternativa de diseño para la fresadora CNC que cumple con las especificaciones de la tabla 3

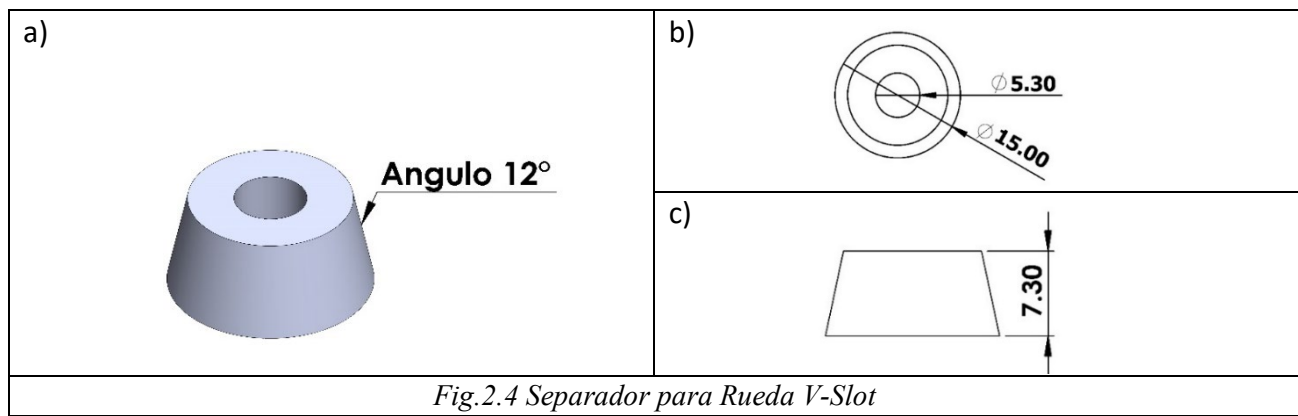
2.4 Diseño a detalle

La fresadora CNC consta de 3 sistemas, los cuales desarrollan 3 funciones principales, la primera de ellas consiste en proporcionar los movimientos en los 3 ejes coordenados, “X”, “Y” y “Z” en conjunto con el sistema de deslizamiento lineal. La segunda función es sujetar la máquina de corte, que en este caso es un Dremel 3000. La tercera y última consiste en sujetar la materia prima evitando el movimiento de la misma al entrar en contacto con la fresa.

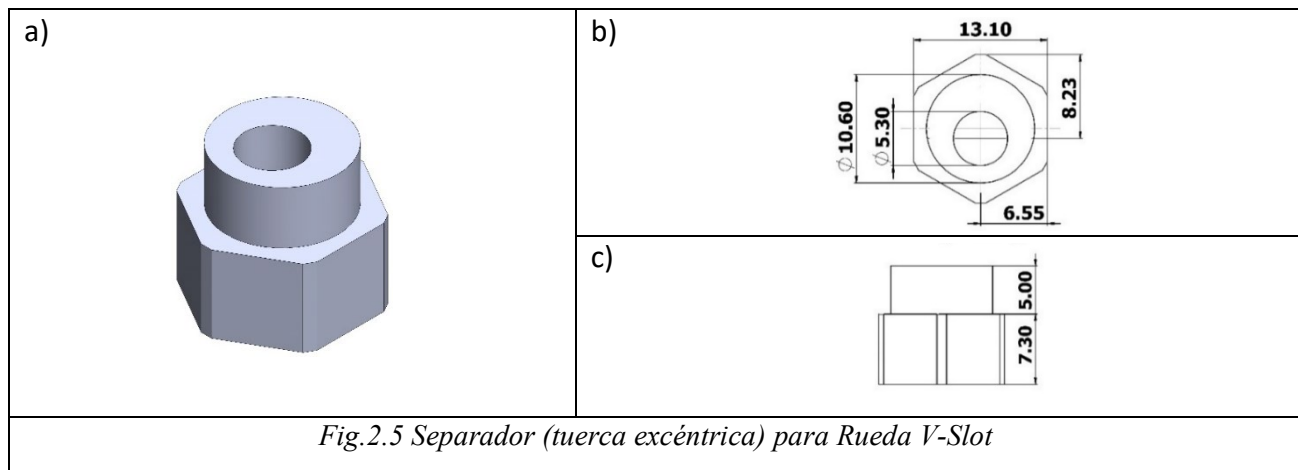
A continuación, se presenta una descripción detallada del diseño final considerando las alternativas propuestas.

2.4.1 Piezas de termoplástico

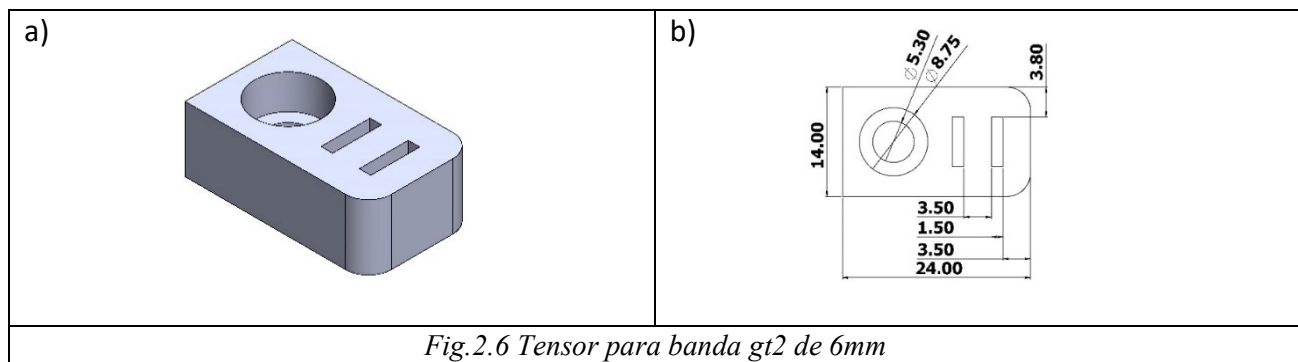
En la fig. 2.4 se muestran los planos de los separadores V-slot, el cual se utiliza para evitar roces entre los perfiles de aluminio y las piezas que los unen. El inciso a) muestra la vista isométrica, el inciso b) muestra la vista superior del plano y el inciso c) muestra la vista frontal del plano.



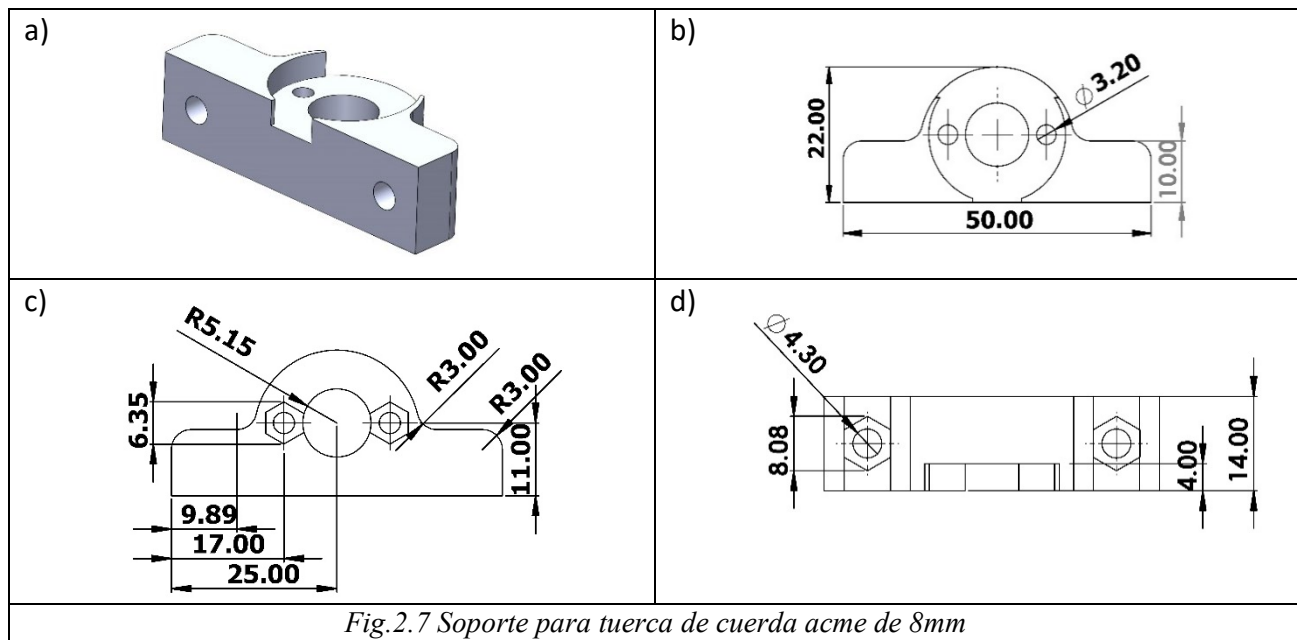
En la fig. 2.5 se muestran los planos de las tuercas excéntricas, las cuales tienen un centro desalineado, por lo que al girarlas permiten acercar o alejar las ruedas al perfil de aluminio. El inciso a) muestra la vista isométrica, en el inciso b) se muestra la vista superior del plano y el inciso c) muestra la vista frontal del plano.



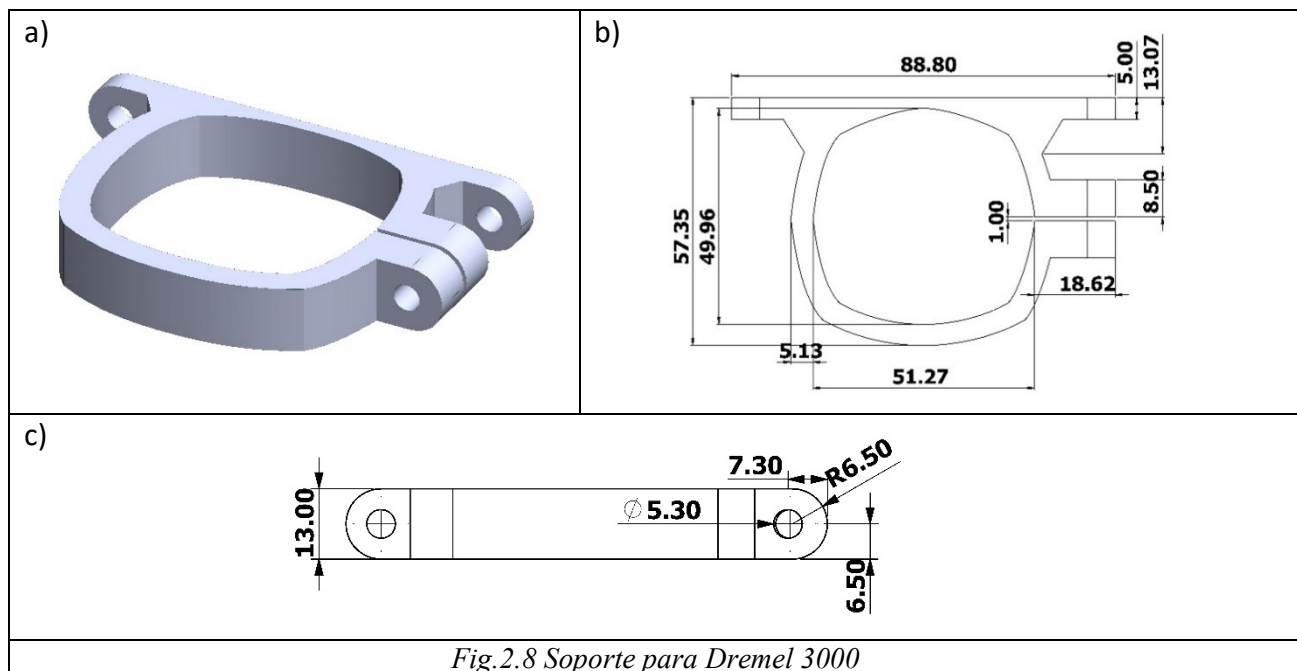
En la fig. 2.6 se muestra el plano de los tensores para banda gt2 de 6mm, los cuales se utilizan para fijar la banda a los extremos del perfil de aluminio y ajustar su tensión. El inciso a) muestra la vista isométrica y el inciso b) muestra la vista superior del plano.



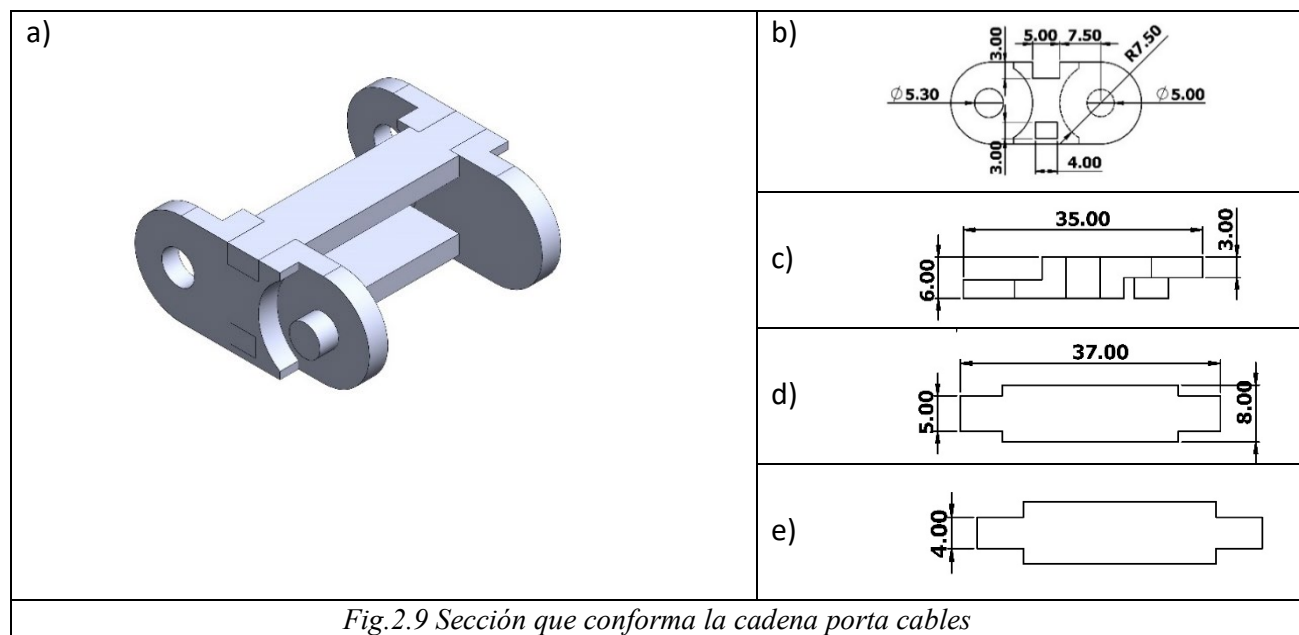
En la fig. 2.7 se muestran los planos del soporte para colocar la tuerca con rosca acme de 8mm, el cual se utiliza para transformar un movimiento rotativo en un movimiento rectilíneo mediante la implementación de una varilla roscada. El inciso a) muestra la vista isométrica, el inciso b) muestra la vista frontal del plano, el inciso c) muestra la vista posterior del plano y el inciso d) muestra la vista superior del plano.



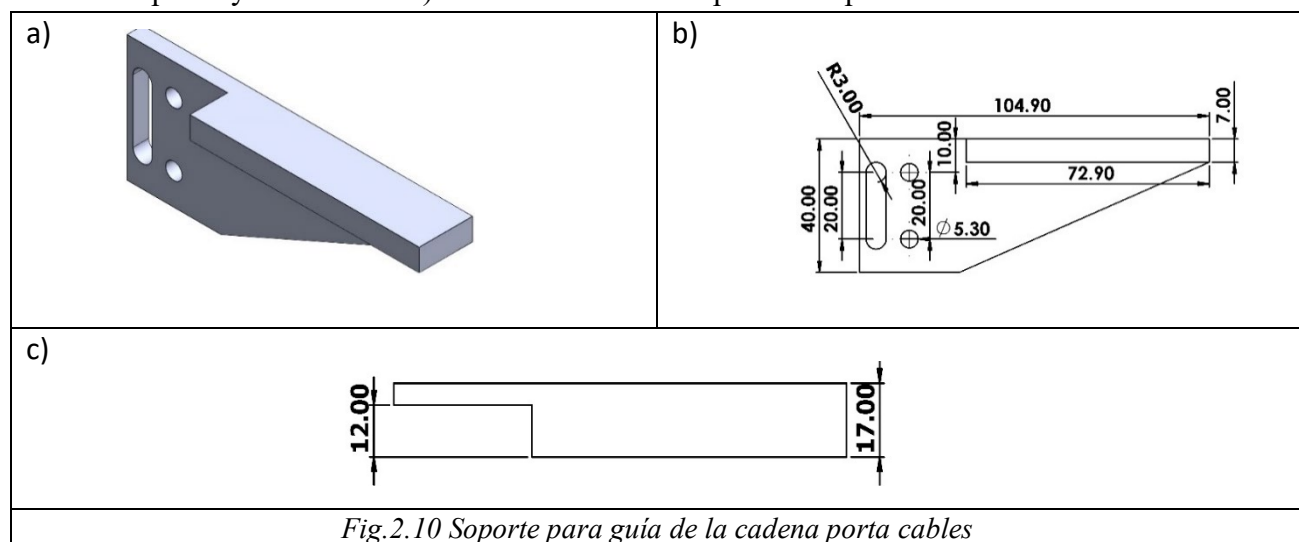
En la fig. 2.8 se muestran los planos de los soportes para fijar el Dremel 3000 a la placa que se desplaza en el eje “Z”. El inciso a) muestra la vista isométrica, en el inciso b) se muestra la vista superior del plano y el inciso c) muestra la vista frontal del plano.



En la fig. 2.9 se muestran los planos de una sección que conforma la cadena porta cables. El inciso a) muestra la vista isométrica, en el inciso b) se muestra la vista frontal del plano de los laterales, en el inciso c) se muestra la vista superior del plano de los laterales, en el inciso d) se muestra la vista superior del plano de la union superior y en el inciso e) se muestra la vista superior del plano de la union inferior.



En la fig. 2.10 se muestran los planos de los soportes para la guía de madera de la cadena porta cables para los ejes “X” y “Y”. El inciso a) muestra la vista isométrica, en el inciso b) se muestra la vista frontal del plano y en el inciso c) se muestra la vista superior del plano.



En la fig. 2.11 se muestran los planos de las prensas para fijar el material a la mesa de trabajo, estas tienen como finalidad impedir el movimiento del material mientras la herramienta de corte realiza su trabajo. El inciso a) muestra la vista isométrica, en el inciso b) se muestra la vista frontal del plano y en el inciso c) se muestra la vista superior el plano

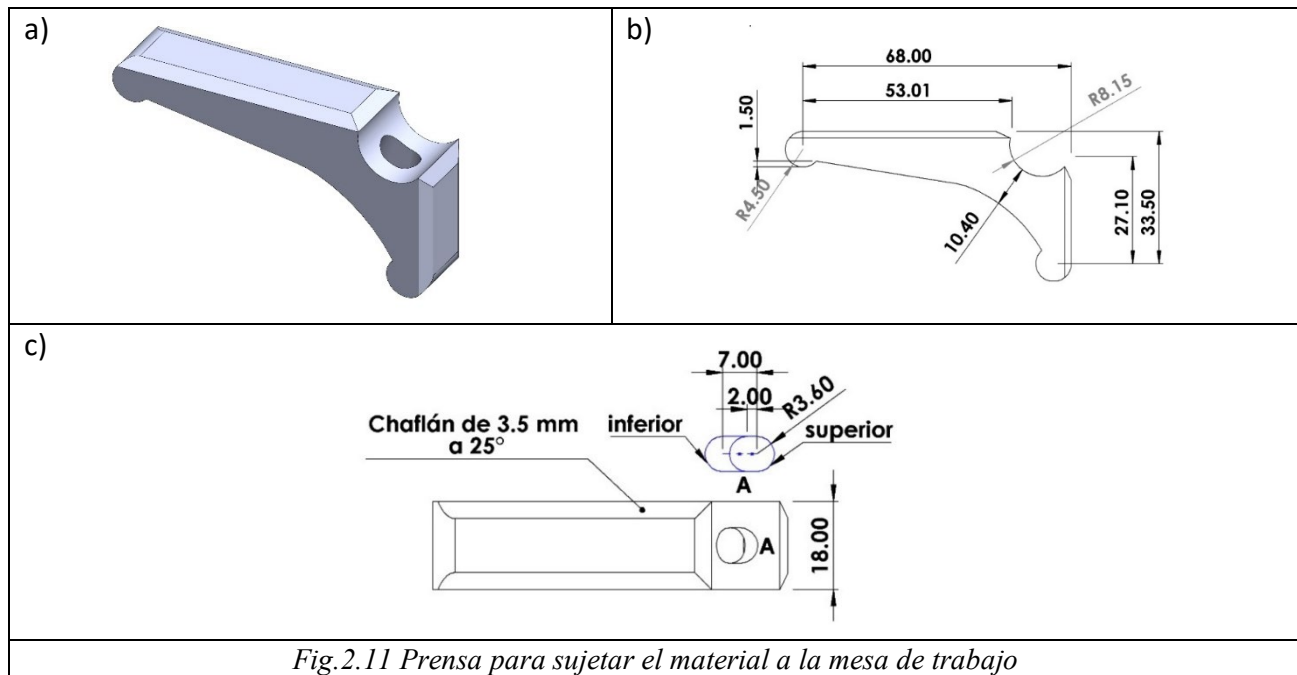


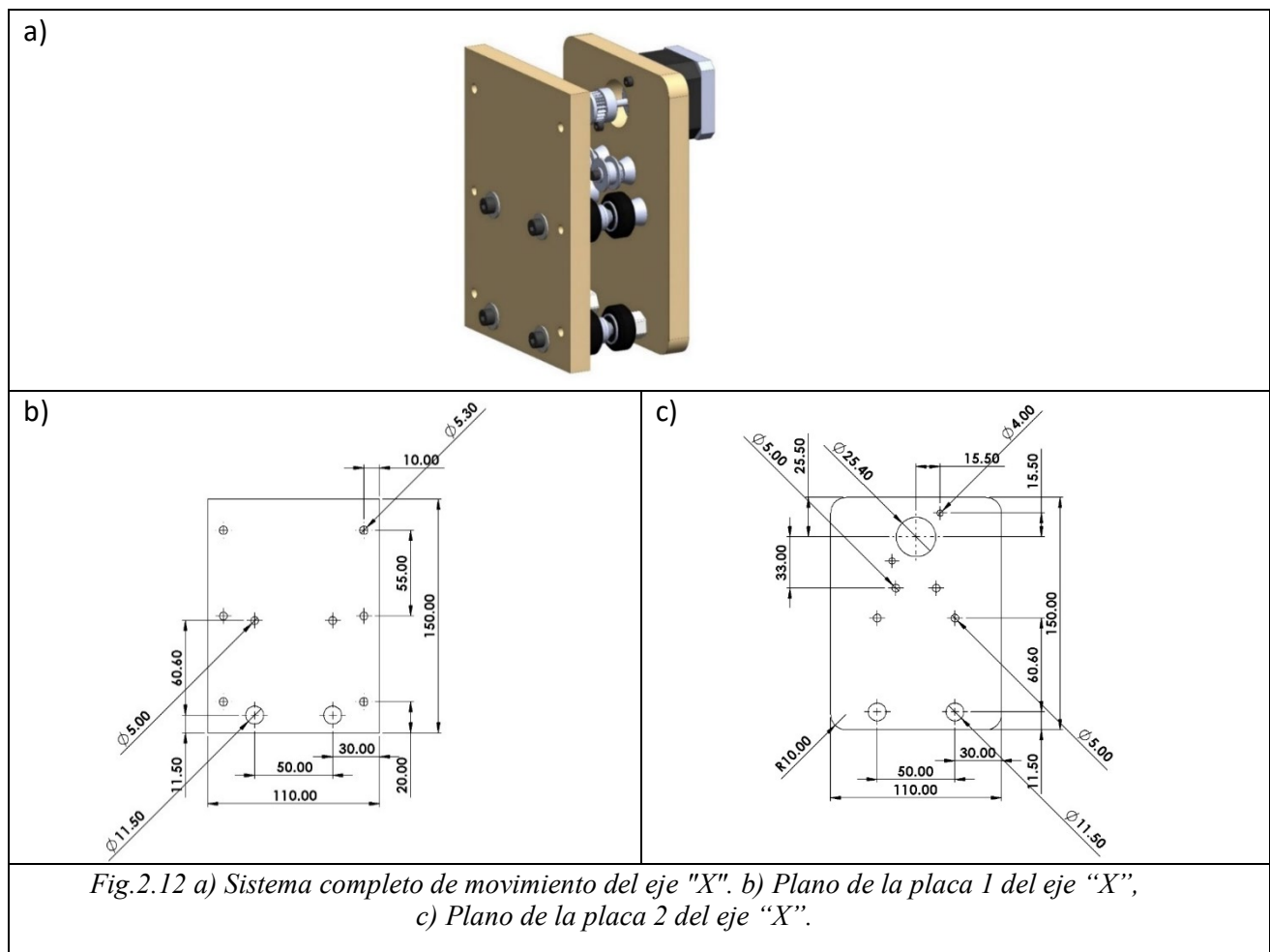
Fig.2.11 Prensa para sujetar el material a la mesa de trabajo

2.4.2 Dirección “X”

La fig. 2.12 inciso a) muestra la vista isométrica del sistema de movimiento del eje X, este se conforma de un motor paso a paso, una polea dentada de 20 dientes, dos poleas tensoras, 8 ruedas tipo V-Slot, 2 tornillos M3, 4 tornillos M5, 6 tuercas M5, 18 arandelas M5, 8 separadores para las ruedas. En el inciso b) se muestra la vista frontal del plano de la placa 1 y en el inciso c) se muestra la vista frontal del plano de la placa 2.

El movimiento lineal en dirección horizontal “X” implica básicamente el uso de un sistema de deslizamiento, el cual proporciona el movimiento a lo largo de dicha dirección. Para realizar la tarea de deslizamiento se utiliza un motor paso a paso fijado a la placa 2 de dicho eje, la fijación se realiza con dos tornillos M3 y una polea de 20 dientes fijada a su eje en combinación con una banda dentada gt2 de 6 mm abierta, esta banda pasa por el centro de la ranura del perfil de aluminio, por debajo de dos de las ruedas superiores y de ambas poleas tensoras, rodeando a la polea dentada, los extremos de la banda están fijados a los extremos del perfil de aluminio que forma parte del eje “Y” con los tensores.

El carro que se mueve de manera libre está constituido de dos placas de MDF de 12mm unidas por 4 tornillos M5 en los que se colocan los 8 separadores con sus respectivas ruedas, las 4 ruedas inferiores utilizan separadores excéntricos para ajustar la presión que las ruedas ejercen sobre los perfiles de aluminio.



2.4.3 Dirección "Y"

La fig. 2.13 inciso a) se muestra la vista isométrica del sistema completo del movimiento del eje Y, este se conforma de 2 motores paso a paso, 2 poleas dentadas de 20 dientes, 4 poleas tensoras, 8 ruedas tipo V-Slot, 4 tornillos M3, 12 Tornillos M5, 20 arandelas M5, 16 tornillos M6, 8 separadores para las ruedas, 4 perfiles de aluminio 20 x 40mm de 50cm. En el b) se muestra la vista frontal del plano de la placas laterales que sostienen los perfiles por donde se desplaza el eje "X" y en el inciso c) se muestra la vista frontal del plano de los soportes para los perfiles por donde se desplazan la placas laterales.

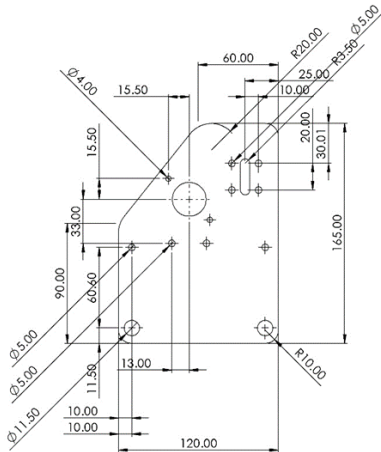
El desplazamiento en la dirección horizontal "Y" es similar al desplazamiento en la dirección "X". El sistema cuenta con una serie de ruedas V-Slot, las cuales garantizan el libre traslado en esta dirección, así como también una estabilidad al momento de realizar el maquinado,

El sistema de movimiento en "Y" se encuentra unido al sistema de movimiento en "X" por medio dos perfiles de aluminio unidos a dos placas de MDF de 12 mm de espesor llamadas "placas laterales". Este eje se traslada por dos perfiles, por lo que se emplean dos motores paso a paso con su respectiva

a)



b)



c)

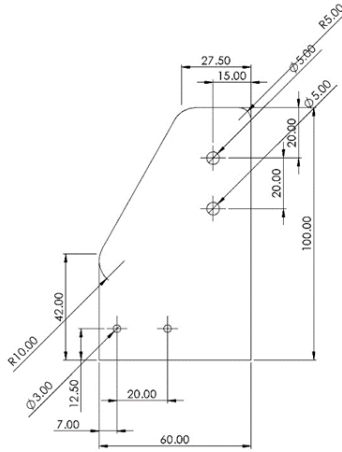


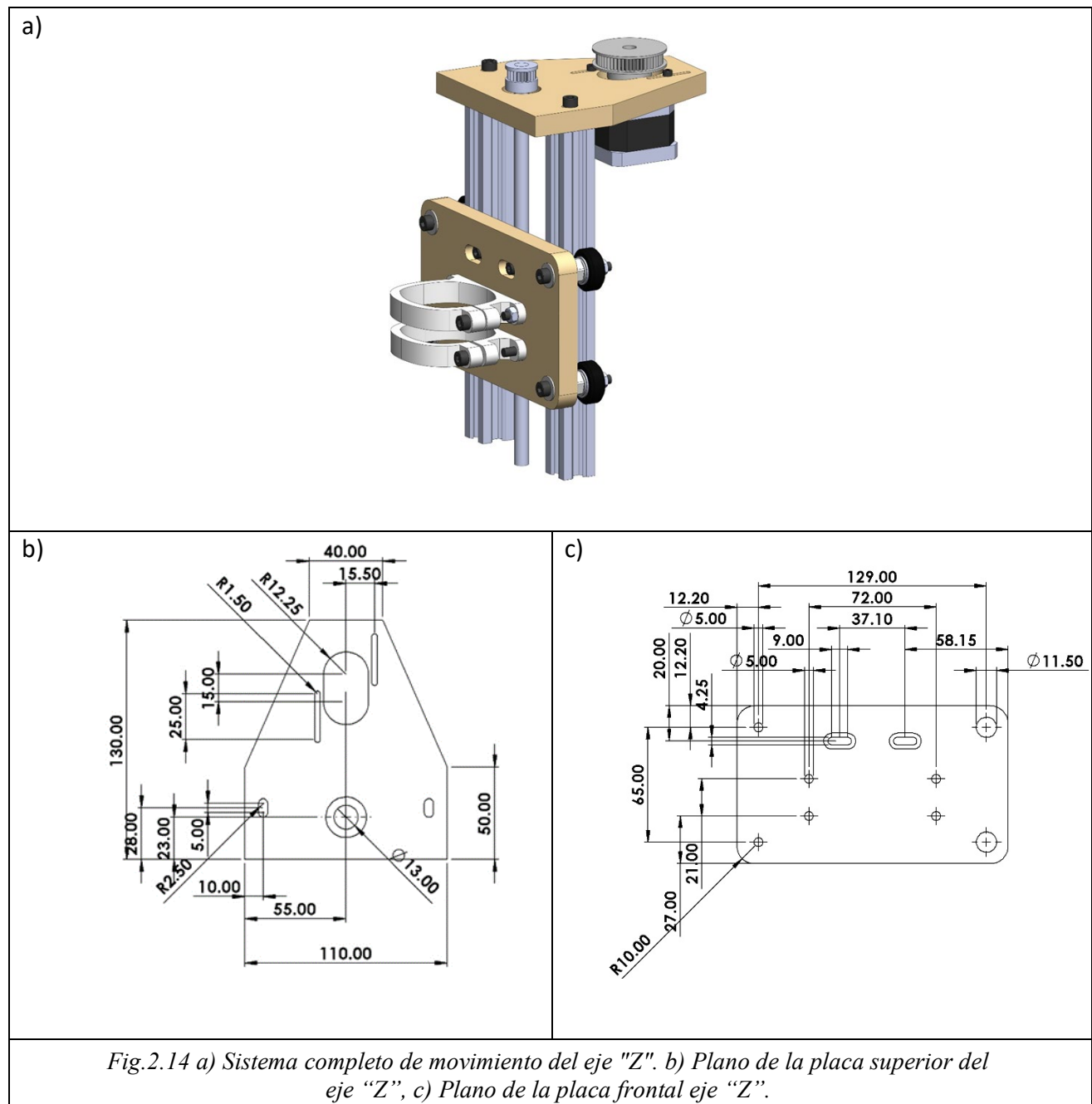
Fig.2.13 a) Sistema completo de movimiento del eje "Y". b) Plano de las placas laterales del eje "Y", c) Plano de la placa frontal y posterior eje "Y".

La fig. 2.14 inciso a) muestra la vista isométrica del sistema completo del movimiento del eje “Z” con el soporte para el Dremel, este se conforma de un motor paso a paso, una polea dentada de 20 dientes, una polea dentada de 40 dientes, un rodamiento con diámetro interno de 8 mm y otro con soporte, una varilla sin fin, 4 ruedas tipo V-Slot, 2 tornillos M3, 2 tornillos M4, 18 tornillos M5, 6 tornillos tipo “T” M5, 2 arandelas M5, 2 perfiles de aluminio 20 x 20 mm de 25cm. En el inciso b) se muestra la vista superior del plano de la placa superior que sostiene los perfiles por donde se desplaza la placa que sostiene al Dremel y en el inciso c) se muestra la vista frontal del plano de la placa que sostiene al Dremel.

20

a paso, el cual se transmite de la polea dentada de 40 dientes a la de 20 dientes que se encuentra fijada a la varilla sin fin por medio de una banda cerrada de 228mm, convirtiéndolo en movimiento lineal.

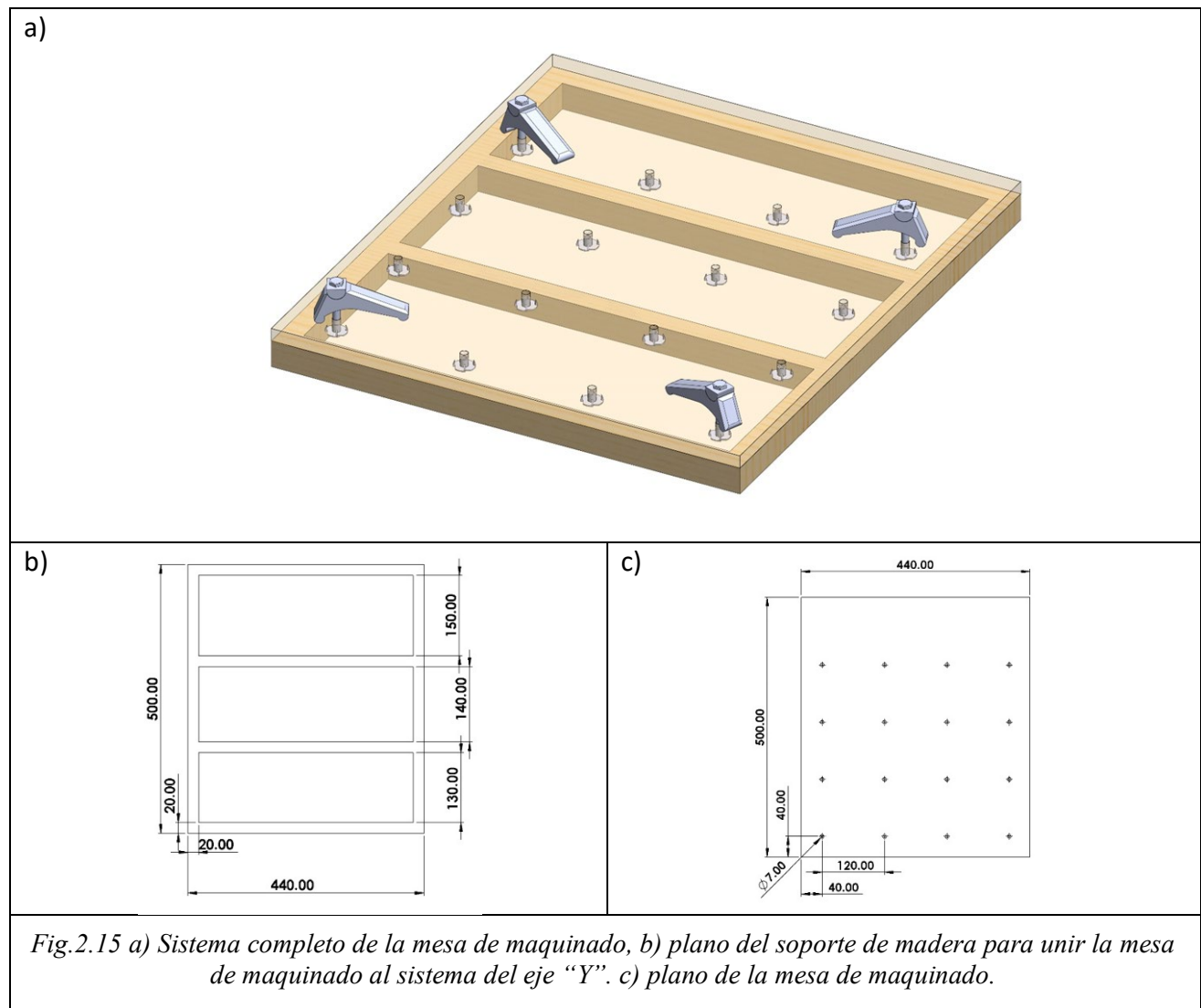
El sistema de movimiento en “Z” se une con el sistema de movimiento en “X” por medio de dos perfiles de aluminio 20 x 20 fijados a la placa conocida como “placa que sostiene el Dremel” con 6 tornillos M5 de 16 mm y 6 tuercas en tipo T. Para poder fijar el Dremel 3000 a la estructura, se realizaron perforaciones de 5mm a la placa donde se colocan los soportes utilizando 4 tornillos M5, estas piezas son fabricadas con impresión 3D y tienen un orificio en el centro del mismo tamaño que el diámetro del Dremel, cuenta con un orificio para tornillo Allen M5 de 2 cm cada uno que atraviesan los soportes en su grosor, estos tornillos se aprietan para fijar la herramienta de corte,



2.4.5 Diseño de la mesa de maquinado

La fig. 2.15 inciso a) muestra la vista isométrica del sistema completo de la mesa de maquinado con los soportes para el material, este se conforma de 16 tuercas de inserto una placa de MDF de 44 x 50 cm, un esqueleto de madera con las mismas dimensiones. En el inciso b) se muestra la vista superior del plano del esqueleto de madera para unir la mesa de maquinado al sistema del eje “Y” y en el inciso c) se muestra la vista superior del plano de la mesa de maquinado.

El diseño de esta estructura tiene como finalidad fijar los materiales a ella para poder maquinaslos y unir el sistema del eje “Y” a la misma, de esta forma fungir como un soporte adicional de la máquina, ayudando a tener estabilidad a toda la estructura a la hora del proceso de maquinado. Esta mesa se encuentra construida con MDF de 12 mm y tiras de madera de 20 x 30 mm, formando un esqueleto de madera que está cubierto con el MDF de 44 x 50 cm, cuenta con 16 tuercas de inserto donde se coloca la prensa para sujetar el material a la mesa de trabajo y se aprieta con ayuda de un tornillo de 1/4" de diámetro con un largo de 2" (fig. 2.15 inciso a).



2.4.6 Diseño final de la fresadora CNC

Una de las características que tiene el diseño de esta estructura es el poder armar y desarmar intuitivamente cada uno de los componentes de la misma, para poder realizar esa tarea se seleccionaron componentes de unión que no fuesen complicados a la hora de ser utilizados y que las herramientas para manejarlos sean las más comunes, sin dejar a un lado la seguridad en las uniones, es por esto que toda la estructura se encuentra ensamblada con tornillos de tipo Allen así como también tuercas para fijarlos y asegurar el ajuste adecuado para cada pieza. Dentro de las piezas que conforman la estructura existen piezas fabricadas con impresión 3D, las cuales no tienen mayor complicación en su manufactura, y al crecimiento de esta industria es fácil acceder a una impresora 3D. Otras piezas son proporcionadas por distribuidores con las características necesarias para ser ensambladas directamente en la máquina, como lo son: ruedas V-Slot, perfiles de aluminio, poleas dentadas, poleas tensoras, etc.

Finalmente, en la fig. 2.16 se muestra el diseño CAD del ensamble completo de la fresadora CNC.

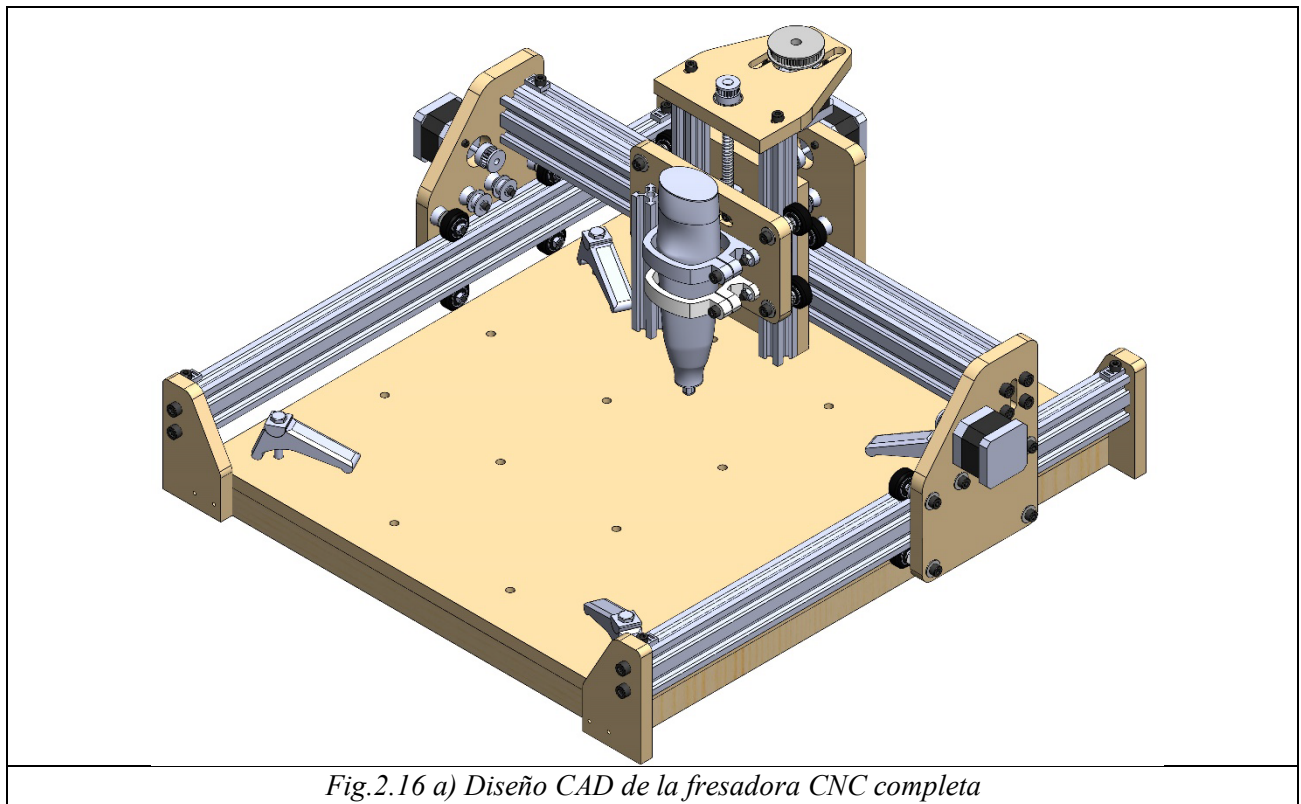


Fig.2.16 a) Diseño CAD de la fresadora CNC completa

3. RESULTADOS

La fresadora CNC ejecuta dos movimientos primordiales para realizar el mecanizado de piezas de MDF. El primero es el movimiento de traslación sobre el plano x-y (mesa de maquinado) y z, el segundo es el movimiento rotacional del husillo. Ambos movimientos se realizan a través de motores paso a paso. En las siguientes secciones se describen los elementos eléctricos y electrónicos seleccionados para comunicar la PC, microcontroladores, motores y la CNC para el maquinado de piezas.

3.1 Actuador y motores

Para realizar el desplazamiento de los ejes se plantea utilizar motores paso a paso, la principal característica de estos es que podemos hacer que su eje gire y se detenga en determinada posición, además, es posible tener un control muy preciso de su velocidad de giro.

El estator de este tipo de motores está constituido por varios electroimanes y el rotor por uno o varios imanes permanentes (fig. 3.1).

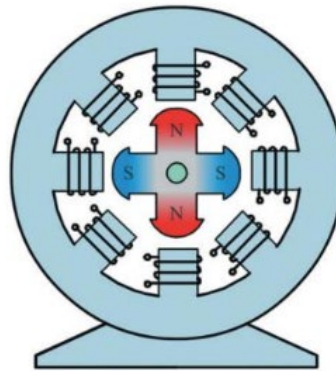


Fig. 3.1 Motor paso a paso [12]

Las bobinas del estator se alimentan por impulsos lo que produce el giro del motor en determinado ángulo, el cual divide al motor en los denominados pasos (Tabla 6), entre mayor sea este ángulo menor será el número de pasos en el que este se divide.

Tabla 6 Diferentes ángulos de motores pasos a paso [13]

Grados por impulso de excitación	Número de pasos por vuelta
0,72°	500
1,8°	200
3,75°	96
7,5°	48
15°	24

Para este proyecto el motor a utilizar el de 1.8° ya que es el más común y, por ende, se encuentra con facilidad en el mercado a un precio accesible.

3.2 Sistema de control

3.2.1 Microcontrolador ATmega328P

Este microcontrolador es fabricado por la marca Atmel. La “P” del final significa que este chip incorpora la tecnología “Picopower”, esta tecnología permite un consumo eléctrico sensiblemente menor comparándolo con el modelo equivalente sin “P”, en relación con las demás características que poseen son prácticamente iguales.

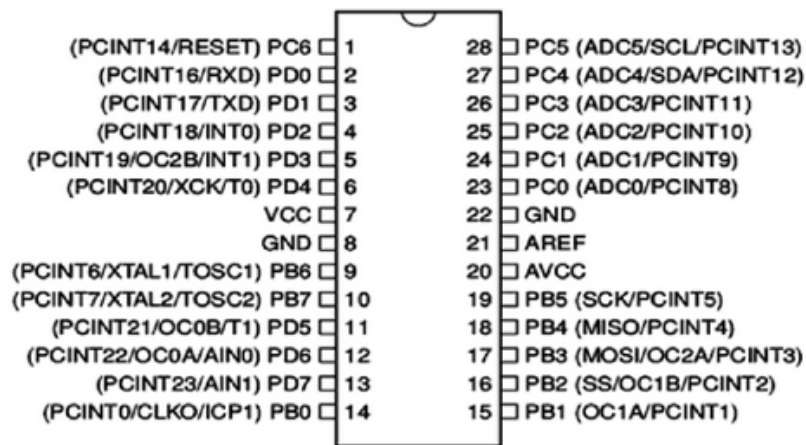


Fig.3.2 Descripción de pines [14]

Observando la Fig. 3.2 se puede saber cuál es el pin que recibe la alimentación (señalado como “VCC”), qué dos pines están conectados a tierra (señalados como “GND”), qué pines son los de entrada/salida (señalados como PBx, PCx, o PDx) y la existencia de otros pines más específicos como el AVCC (donde se recibe la alimentación suplementaria para el convertidor analógico-digital interno del chip) o el AREF (donde se recibe la referencia analógica para dicho convertidor) , también se puede observar que junto a los pines de entrada/salidas entre paréntesis se encuentran las funciones específicas que cada uno de ellos tienen.

Otra parte importante de dicho microcontrolador es la memoria flash donde se almacena permanentemente el programa que ejecuta el microcontrolador (hasta una nueva rescritura de ser el caso), esta tiene una capacidad de 32KB. En los microcontroladores que se incluyen en la placa Arduino se encuentran ocupados 512 bytes por un código conocido como “gestor de arranque”, el cual nos permite usar el Arduino de forma más sencilla sin tener que conocer el interior eléctrico avanzado del microcontrolador. También cuenta con una memoria SRAM donde se alojan datos separados de la memoria flash que en ese instante el programa necesita manipular para su correcto funcionamiento. Dispone de una memoria EPROM donde se almacenan datos que se desea que permanezcan grabados una vez apagado el microcontrolador para poder usarlos en el siguiente reinicio [14].

3.2.2 Driver A4988

El uso de un driver para el control de un motor paso a paso simplifica el trabajo ya que este se encarga de generar todas las señales necesarias para su funcionamiento y además añade las protecciones necesarias de temperatura y corriente.

El driver A4988 (fig. 3.3) permite controlar motores pasos a paso de 2A, algunas de sus características son:

- 5 resoluciones de pasos diferentes: paso completo, 1/2 de paso, 1/4 de paso, 1/8 de paso y 1/16 de paso.
- Control de corriente ajustable que permite ajustar la salida de corriente máxima con un potenciómetro.
- Tensión máxima de 35 volts [15].

El A4988 requiere dos conexiones de suministro de energía. VDD Y GND se utiliza para alimentar el circuito lógico interno, que puede oscilar entre 3V y 5,5 V, mientras que VMOT y GND suministran energía al motor

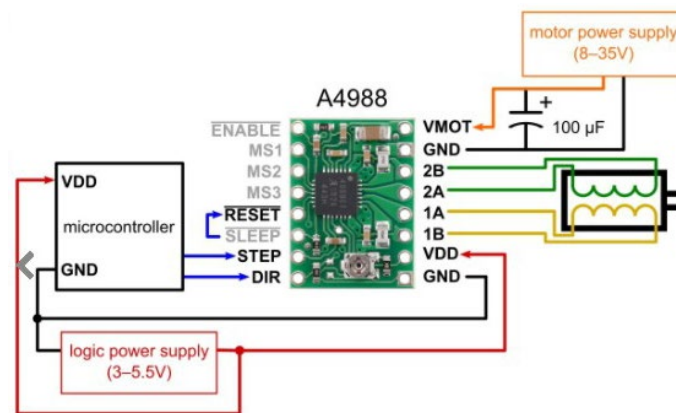


Fig.3.3 Esquema de conexiones driver A4988 [15]

Se puede incrementar la precisión al momento de cortar, esto se logra gracias a que el driver A4988 admite micro-pasos al dividir un solo paso en pasos más pequeños, por ejemplo, si se controla un motor con ángulo de paso de 1.8 grados o 200 pasos/revolución en modo de 1/8 de paso, el motor producirá 1600 micro-pasos por revolución.

La resolución (tamaño de paso) se puede configurar mediante la combinación de estados (alto, bajo) de los pines MS1, MS2, MS3 como se indica en la tabla 7, tener en cuenta que a mayor resolución los motores paso a paso disminuyen su fuerza.

Tabla 7 Configuración de micro-paso [15]

MS1	MS2	MS3	micro-pasos
Bajo	Bajo	Bajo	Paso completo
Alto	Bajo	Bajo	1/2 paso
Bajo	Alto	Bajo	1/4 paso
Alto	Alto	Bajo	1/8 paso
Alto	Alto	Alto	1/16 paso

Para este proyecto se considera utilizar 1/8 de paso para el eje “X” y “Y”, de esta forma tener mayor precisión durante el corte sin reducir tanto la fuerza con la que se desplazan los motores, en el eje “Z” se requiere de mayor fuerza ya que debe de cargar el Dremel por lo que se optó trabajar con 1/2 paso

la forma de calcular los pasos x milímetro en el eje “Z” que utiliza una varilla de 4 hilos con un desplazamiento de 8mm por cada vuelta es la siguiente:

$$\text{pasos x milimetro} = \frac{(\text{pasos del motor})(\text{micro} - \text{pasos})}{\text{recorrido de la varilla por vuelta}}$$

Se sustituyen los datos anteriormente mencionados;

$$\text{pasos x milimetro} = \frac{200 \times 2}{8} = \frac{400}{8} = 50$$

Debido a que en este eje se utiliza una polea de 60 dientes en el eje del motor y otra de 20 dientes en la varilla roscada se tiene una relación de 3 a 1, es decir, por cada 50 pasos que da el motor, la varilla roscada recorre tres milímetros, por lo mencionado es necesario dividir entre 3 para obtener los pasos que se requieren para que se mueva un milímetro.

$$\text{pasos x milimetro} = \frac{50}{3} = 16.666$$

Para el caso del eje “X” y “Y” que utilizan una banda dentada gt2 y poleas de 20 dientes la forma de calcular los pasos x milímetro es la siguiente.

$$\text{pasos x milimetro} = \frac{(\text{pasos del motor})(\text{micro} - \text{pasos})}{(\text{paso de la correa})(\text{número de dientes de la polea})}$$

$$\text{pasos x milimetro} = \frac{200 \times 8}{2 \times 20} = \frac{1600}{40} = 40$$

Los valores obtenidos se utilizan para configurar en el software que se implementará para controlar la máquina, de esta forma los ejes se moverán un milímetro con los pasos calculados.

Por último, es importante calcular el voltaje de referencia para ajustar dicho valor con ayuda del potenciómetro que trae incluido el driver, esto es necesario para evitar dañar el motor, Por ejemplo, si tenemos un motor NEMA 17 con 1.5 A de corriente nominal y 1.5Ω de resistencia por fase, de acuerdo con la ley de Ohm deberíamos aplicar 2.25V a cada bobina para que circule la intensidad nominal de 1.5A, sin embargo, con esa tensión el motor ni se movería.

Para que este motor funcione correctamente necesitamos aplicar una tensión superior, si aplicáramos 12V directamente, nuevamente por la ley de Ohm, pasarían 8A por las bobinas, lo cual dañaría el motor en poco tiempo.

Por este motivo, los controladores incorporan un control de corriente PWM, cada puente H está controlado por este, el cual limita la corriente de carga I_{TRIP} a un valor deseado, Inicialmente las salidas están habilitadas por lo que la corriente fluye a través del devanado del motor y la resistencia de detección R_S . Cuando el voltaje a través de R_S es igual al voltaje de salida del DAC, el comparador de detección de corriente restablece el cerrojo PWM. El cerrojo entonces apaga el controlador de origen apropiado iniciando un tiempo de apagado fijo en modo de decaimiento.

El valor máximo para la limitación de la corriente se establece mediante R_S y el voltaje en el pin V_{REF} . La función de tranconductancia se aproxima por el valor máximo de limitación de corriente $I_{TRIPMAX}$, que se establece por:

$$I_{TRIPMAX} = \frac{V_{REF}}{(8 \times R_S)}$$

donde R_S es la resistencia de detección (Ω) y V_{REF} es el voltaje de entrada en el pin REF (V) [16].

Lo que se busca calcular es el voltaje de referencia por lo que hay que despejarlo de la ecuación

$$V_{REF} = I_{TRIPMAX}(8 \times R_S)$$

La corriente nominal para los motores utilizados es de 0.4A y la resistencia de detección que trae incorporado el driver es de 0.1Ω , la ecuación quedaría de la siguiente manera.

$$V_{REF} = 0.4(8 \times 0.1)$$

$$V_{REF} = 0.32V$$

Este valor se configura mediante la manipulación del potenciómetro que trae incluido el driver.

3.3 Ensamble de la fresadora CNC y pruebas

A continuación, se describe la construcción y características principales de cada una de las piezas que conforman la fresadora CNC, así como el ensamblaje de estas.

3.3.1 Piezas de termoplástico

Los soportes para el Dremel, separadores, tuercas excéntricas y las secciones para conformar la cadena porta cables (fig. 3.4) se fabricaron con PLA (ácido poliláctico) el cual es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico, este es biocompatible, biodegradable, con adecuadas propiedades mecánicas; no es toxico ni cancerígeno para los seres humanos [17]. Para poder moldear las piezas se utilizó una impresora 3D y filamento de este material.



Fig.3.4 Soportes para el Dremel, separadores y tuercas excéntricas, sección de cadena porta cables.

3.3.2 Placas de unión de los ejes

Para ensamblar y dar forma a las estructuras se cortaron con ayuda de una prensa y segueta 2 placas de MDF de 11 x 15 cm que van a conformar el eje X, 6 placas para el eje Y, 2 de 12 x 16.5 cm y 4 de 6 x 10 cm, por ultimo 2 placas para el eje Z, uno de 11 x 13 cm y el otro de 10 x 15 cm, con la ayuda de un taladro se realizaron las perforaciones y con el Dremel los desbastes necesarios para cada uno de estos (fig. 3.5). De esta forma poder ensamblar el husillo, los perfiles y los motores paso a paso.

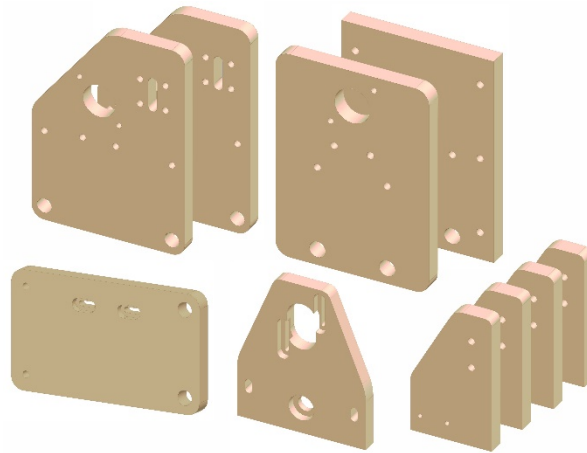


Fig.3.5 Placas para ensamblar la estructura.

3.3.3 Otros Componentes.

Para que la maquina se desplace además de los componentes mencionados es necesario utilizar otras piezas, estas son: motores paso a paso, poleas dentadas, ruedas V-Slot, poleas tensoras, bandas dentadas, tornillos, pijas, arandelas, tuercas, rodamientos, perfiles de aluminio y varilla roscada con su respectiva tuerca acme (fig. 3.6).

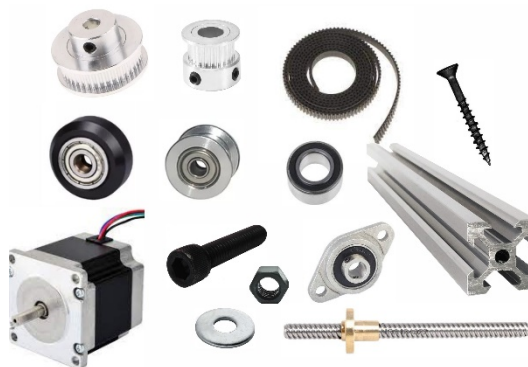
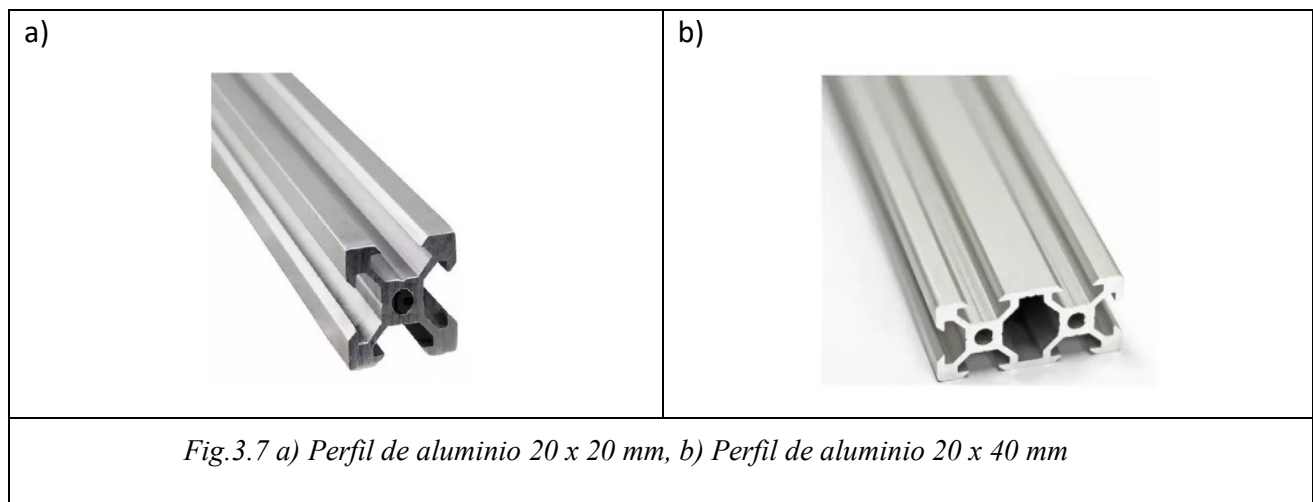


Fig.3.6 Placas para ensamblar la estructura.

Los perfiles de 20 x 40 mm (fig. 3.7 inciso a) se consiguieron con un largo de un metro por lo que se compraron dos y el de 20 x 20 mm (fig. 3.7 inciso b) con un largo de 50 cm, ya que la dimensión considerada para este proyecto es de 50x50x40, los perfiles se cortaron por la mitad, quedando 4 perfiles de 49.3 cm para los ejes X e Y, para el eje Z dos perfiles de 24.3.



3.3.4 Ensamble del eje X, Y, Z

Para el eje X se utilizaron un total de 12 tornillos Allen para fijar a sus placas un motor paso a paso, dos poleas tensoras, ocho ruedas V-Slot, para evitar que los tornillos se hundan al presionarlos se implementaron arandelas de metal. Entre las ruedas y los separadores existe fricción debido a que estos últimos son de plástico, por lo que se implementaron arandelas entre la rueda y el separador para que no exista contacto con el rodamiento de está permitiendo que se deslice sin ningún problema.

Para el eje Y se utilizaron un total de 38 tornillos Allen ya que se fijaron dos motores paso a paso, 4 poleas tensoras, 8 ruedas V-Slot, 4 perfiles de aluminio 20 x 40 cm y 4 bandas dentadas, Para fijar este eje a la mesa de trabajo se implementaron 8 pijas.

Para el eje Z se utilizaron un total de 10 tornillos Allen para fijar un motor paso a paso y dos perfiles de aluminio 20 x 20 cm donde se desplaza la placa que permite subir y bajar el Dremel.

Para realizar la estructura que contendrá el Dremel se utilizó una placa donde se fija el soporte con la tuerca acmé en la parte trasera mediante dos tornillos Allen, los soportes para el Dremel se fijan en la parte frontal con la implementación de cuatro tornillos Allen, y cuatro ruedas V-Slot que se conectan a la placa por medio de cuatro tornillos Allen, dos separadores y dos tuercas excéntricas,

Para la mesa de trabajo se utilizaron 16 tuercas de inserción para poder implementar los sujetadores de PLA en un total de 16 posiciones.

Los ejes X, Y, Z y la estructura del Dremel se pueden observar en la figura 3.8

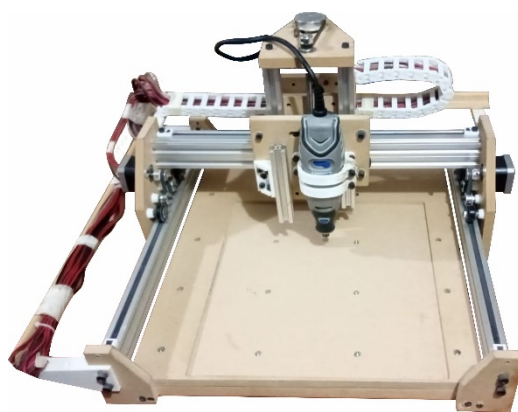


Fig.3.8 Fresadora CNC

Para realizar las conexiones de los componentes al Arduino se consideró utilizar una placa CNC Shield ya que simplifica considerablemente las conexiones, El Dremel se conecta a los 110V que entran a la fuente de alimentación de 12V, en ambos se implementa un interruptor para permitir el flujo cuando este sea requerido. Los drivers se conectan a la placa con sus respectivos motores por medio de conectores, la placa a su vez se conecta por encima del Arduino Uno, el cual cuenta con un conector hembra tipo B por medio del cual se conecta la computadora a través de un puerto USB (fig. 3.9).

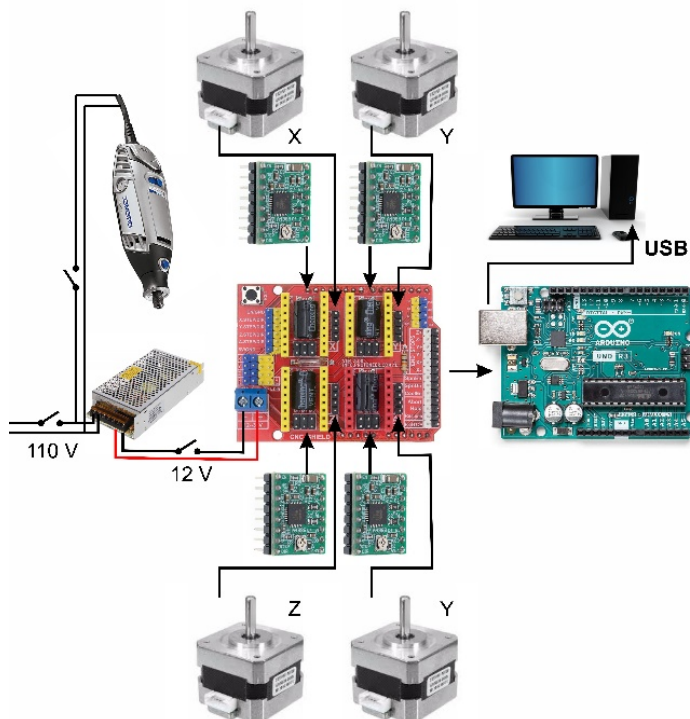


Fig.3.9 Diagrama de conexiones de la Fresadora CNC

3.4 Proceso de maquinado

El primer paso es realizar el diseño CAD de la pieza, en la fig. 3.10 se muestra el diseño CAD realizado en SolidWorks de una pieza conformada por un hexágono interno desbastado, cuatro perforaciones y un corte externo que también forma un hexágono, este diseño tiene como finalidad mostrar los procesos que se pueden realizar con la fresadora CNC

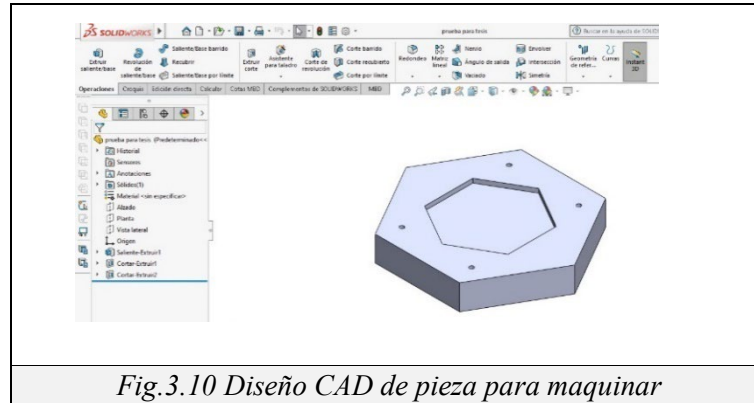


Fig.3.10 Diseño CAD de pieza para maquinar

El segundo paso es importar el diseño CAD con extensión DXF (Formato de Intercambio de Dibujos) a un programa CAM como se observa en la fig. 3.11.

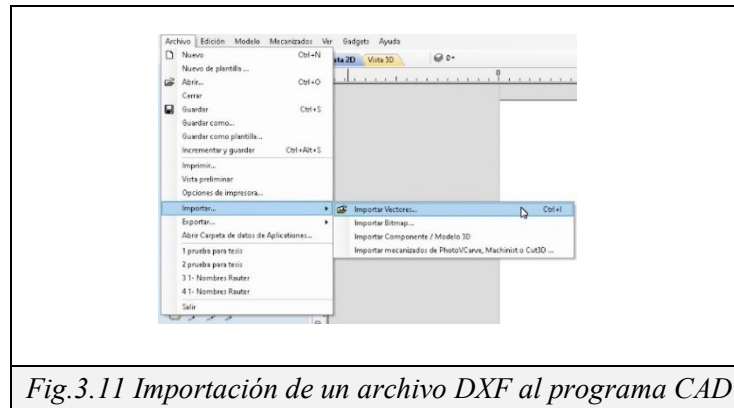


Fig.3.11 Importación de un archivo DXF al programa CAD

Al importar el archivo su centro se colocará en automático en la parte inferior izquierda de la hoja de trabajo como se observa en la fig. 3.12.

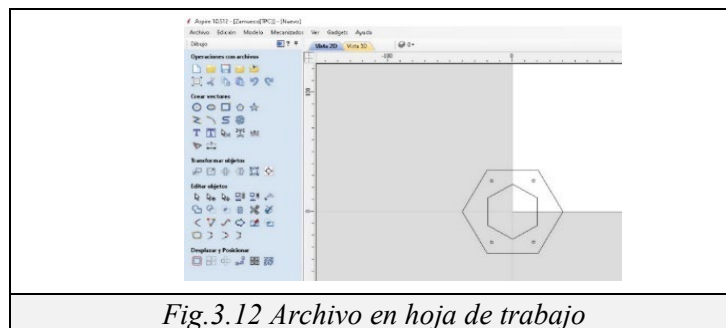


Fig.3.12 Archivo en hoja de trabajo

Se debe posicionar el archivo dentro del área de trabajo, para eso se selecciona la opción “mover los objetos seleccionados” en la cual se puede seleccionar el origen del objeto y colocar la posición deseada tanto en “X” como en “Y” con relación a dicho origen como se observa en la fig. 3.13.

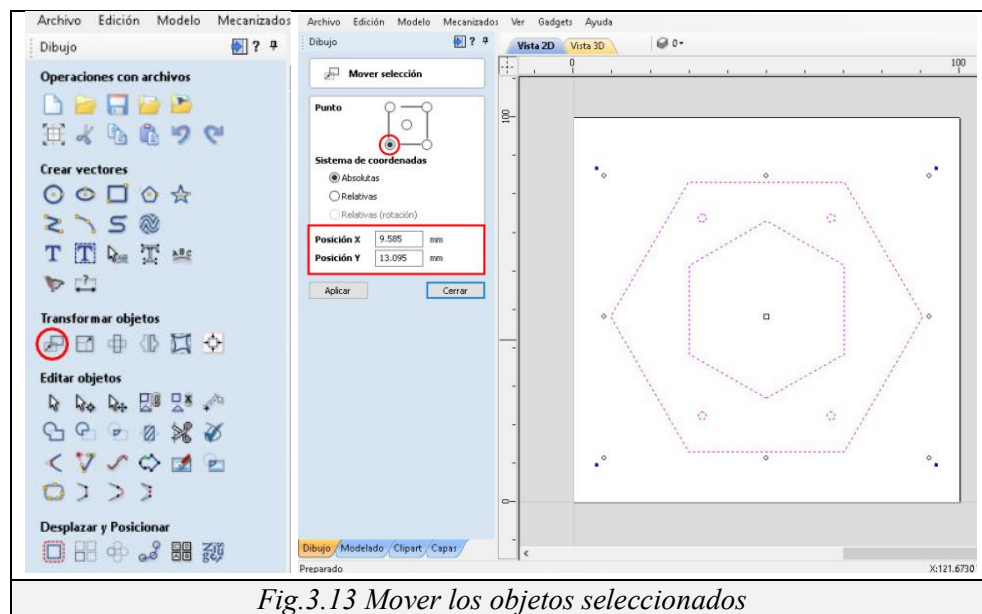


Fig.3.13 Mover los objetos seleccionados

En la figura 3.14 se muestra la hoja del proceso de la pieza CAD, en esta se observan las operaciones a realizar (desbaste, perforación, corte) con los datos de la broca a utilizar, velocidad y profundidad. Estos datos se utilizan para configurar el software CAM.

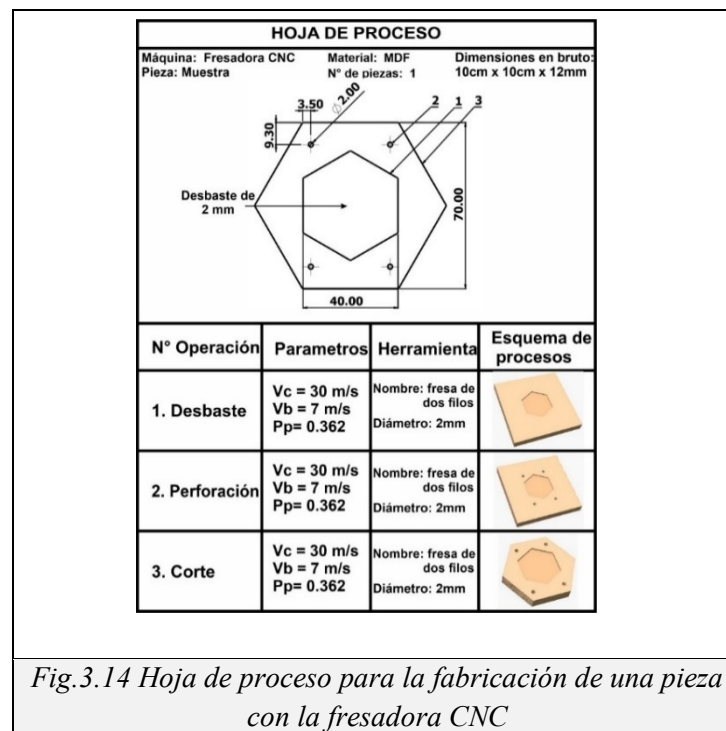
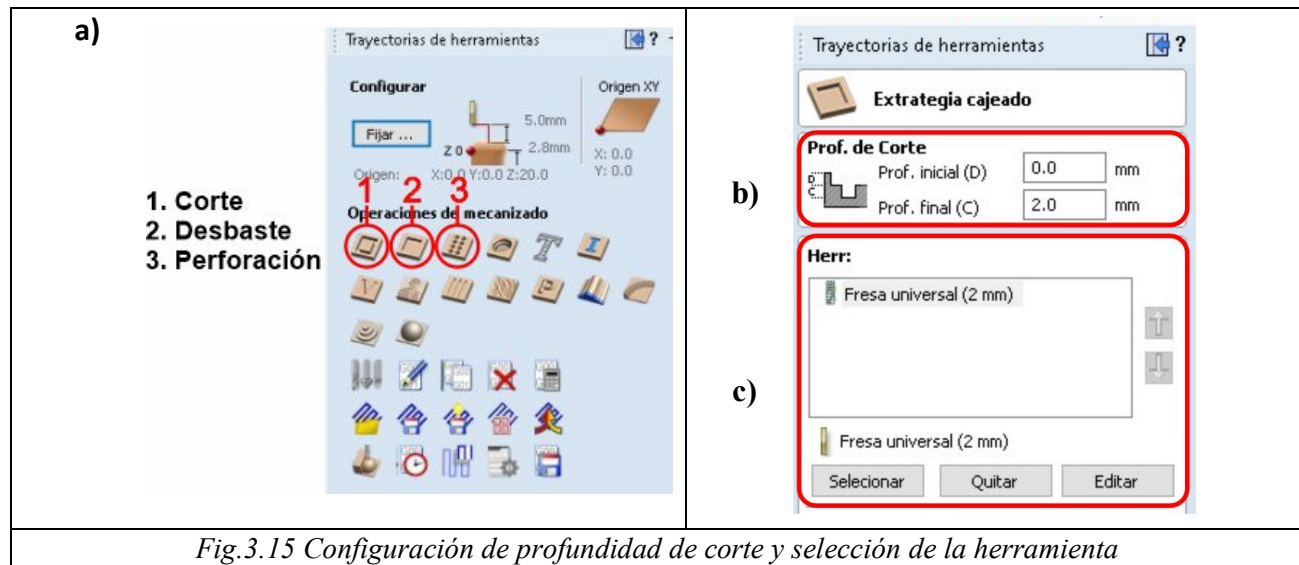


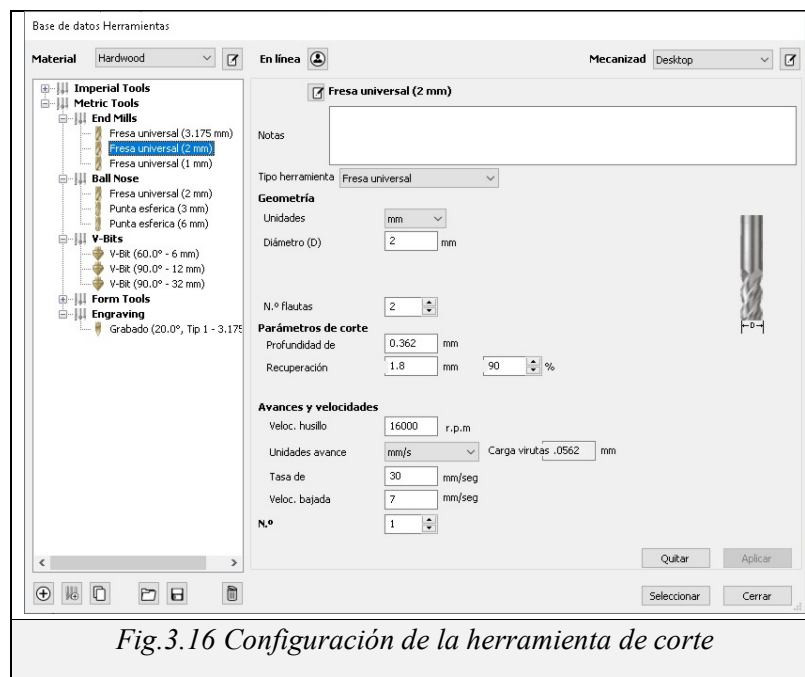
Fig.3.14 Hoja de proceso para la fabricación de una pieza con la fresadora CNC

El tercer paso es realizar todos los procesos de mecanizado para elaborar la pieza requerida en programa CAM, en el inciso a) de la fig. 3.15 se observan las opciones para configurar el corte,

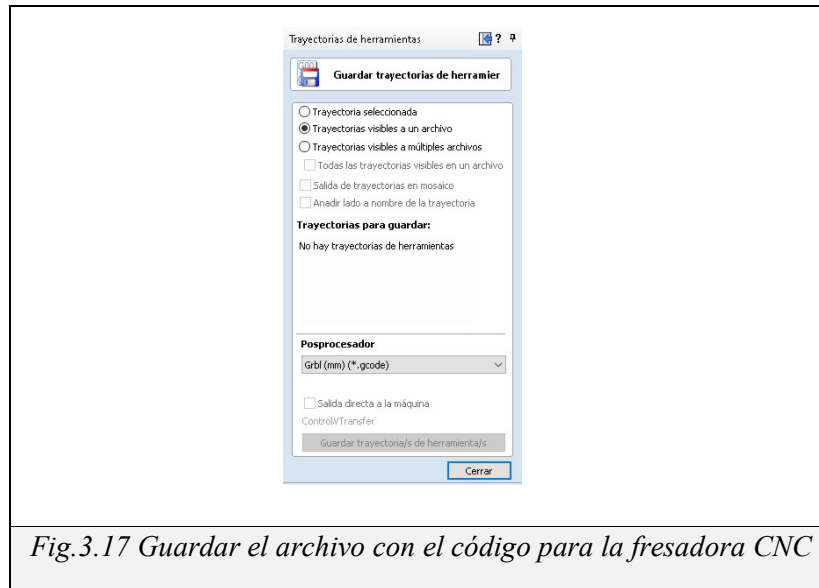
desbaste y perforación, en el inciso b) se observa el apartado para configurar la profundidad de corte, ya que en el desbaste solos se requiere 2 mm de profundidad y en las otras operaciones hay que atravesar 12mm, en el inciso c) se observa el aparatado para seleccionar la herramienta de corte, en este caso es una fresa de dos filos con diámetro de 2mm.



Ya que existen una gran variedad de herramientas de corte esta se debe configurar, la ventana de configuración se puede observar en la figura 3.16. Entre las configuraciones importantes se debe configurar la velocidad de corte y la profundidad por pasada, en este caso la velocidad es de 30mm/s con una profundidad de 0.362 mm, tener en cuenta que esta velocidad y profundidad se pueden incrementar al utilizar una herramienta de corte con más potencia, las cuales tienen un costo más elevado.



El cuarto paso es generar el código de programación (código G), en este caso se debe guardar la trayectoria de la herramienta mediante la selección del postprocesador Gbri (mm) (*.gcode) el cual hace posible una comunicación con sentido entre el Software y la máquina, este paso se observa en la figura 3.17.



Existen diferentes interfaces que el usuario puede utilizar para ejecutar el archivo generado por la aplicación CAM, las principales características para elegir uno son el sistema operativo para el que se encuentran disponibles y las capacidades que estos tienen para manejar diferentes tipos de archivos y desde luego lo interactivo que sea para el usuario.

Teniendo eso en cuenta se optó por usar la interfaz Universal G-Code Sender (fig. 3.18), la cual es una aplicación realizada en Java que se encuentra disponible tanto para sistemas operativos basados en Windows y Linux, integra un sistema de simulación en “tiempo real”. Tiene la capacidad de mover manualmente la fresadora CNC, así como mostrar los bloques de código que se envían al microcontrolador.

Se debe configurar el Microcontrolador con los datos obtenidos en la sección 3.2.2. esto se puede hacer de forma práctica a través de la aplicación que controlar la máquina en el apartado de configuración

X pasos/mm = 40.000

Y pasos/mm = 40.000

Z pasos/mm = 16.666

Otras configuraciones que se pueden realizar en el mismo son: velocidad Máxima durante el desplazamiento, es decir, si por error colocamos un a velocidad más alta a la configurada en el microcontrolador, este va a manejar la de su configuración evitando posibles daños en la herramienta

de corte. Si lo que se requiere es un arranque suave del motor se puede utilizar una aceleración baja, de lo contrario se puede utilizar una aceleración mayor siempre que no se observen pérdidas en los pasos del motor.

X Velocidad Máxima, mm/min = 1000.000

Y Velocidad Máxima, mm/min = 1000.000

Z Velocidad Máxima, mm/min = 400.000

X aceleración, mm/sec² = 100.000

Y aceleración, mm/sec² = 100.000

Z aceleración, mm/sec² = 50.000

El quinto y sexto paso son cargar el programa en el software y poner los parámetros de cero piezas de tal forma que cuando la maquina inicie a trabajar el Dremel se encuentre en la posición “X0”, “Y0” y “Z0” tanto en el software como físicamente.

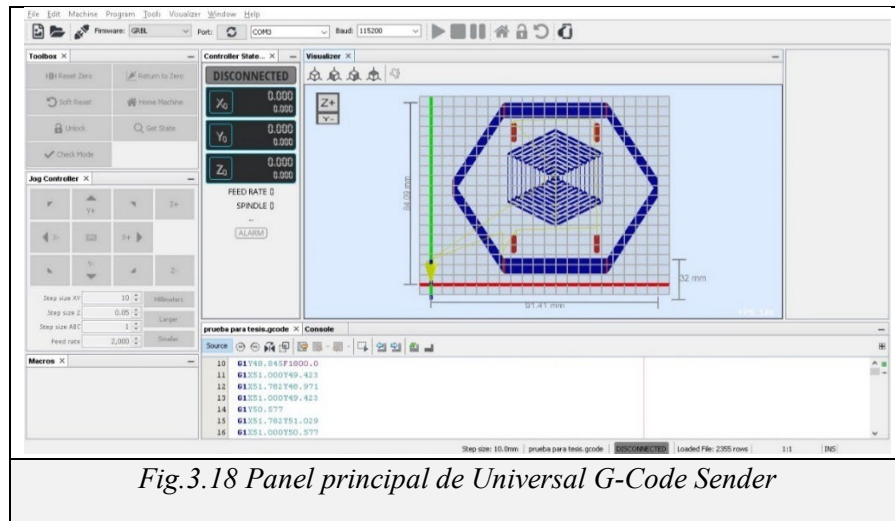


Fig.3.18 Panel principal de Universal G-Code Sender

Se puede observar en la fig. 3.19 incisos a y b que las medidas de la piza resultante coinciden con las medidas del diseño elaborado en SolidsWorks, en el inciso c, se puede observar una precisión de - 0.1mm, esto se debe a que el eje Z trabaja con 1/2 pasos mientras que los otros ejes utilizan 1/8 de paso.

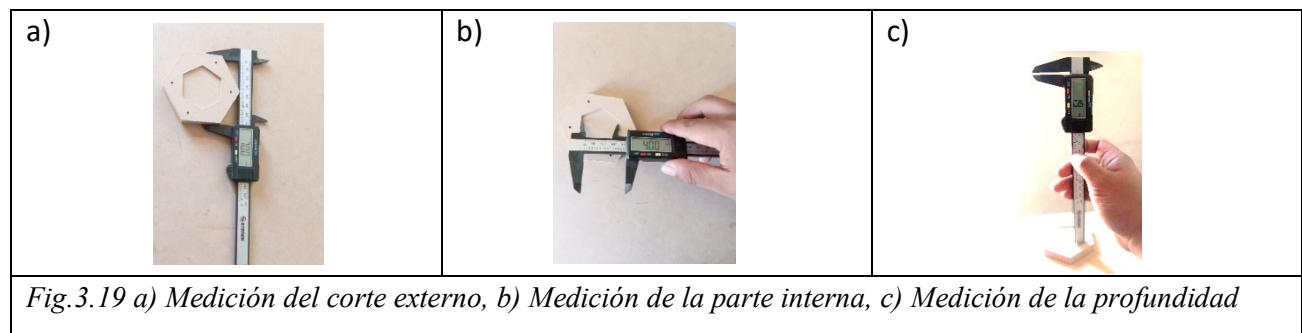
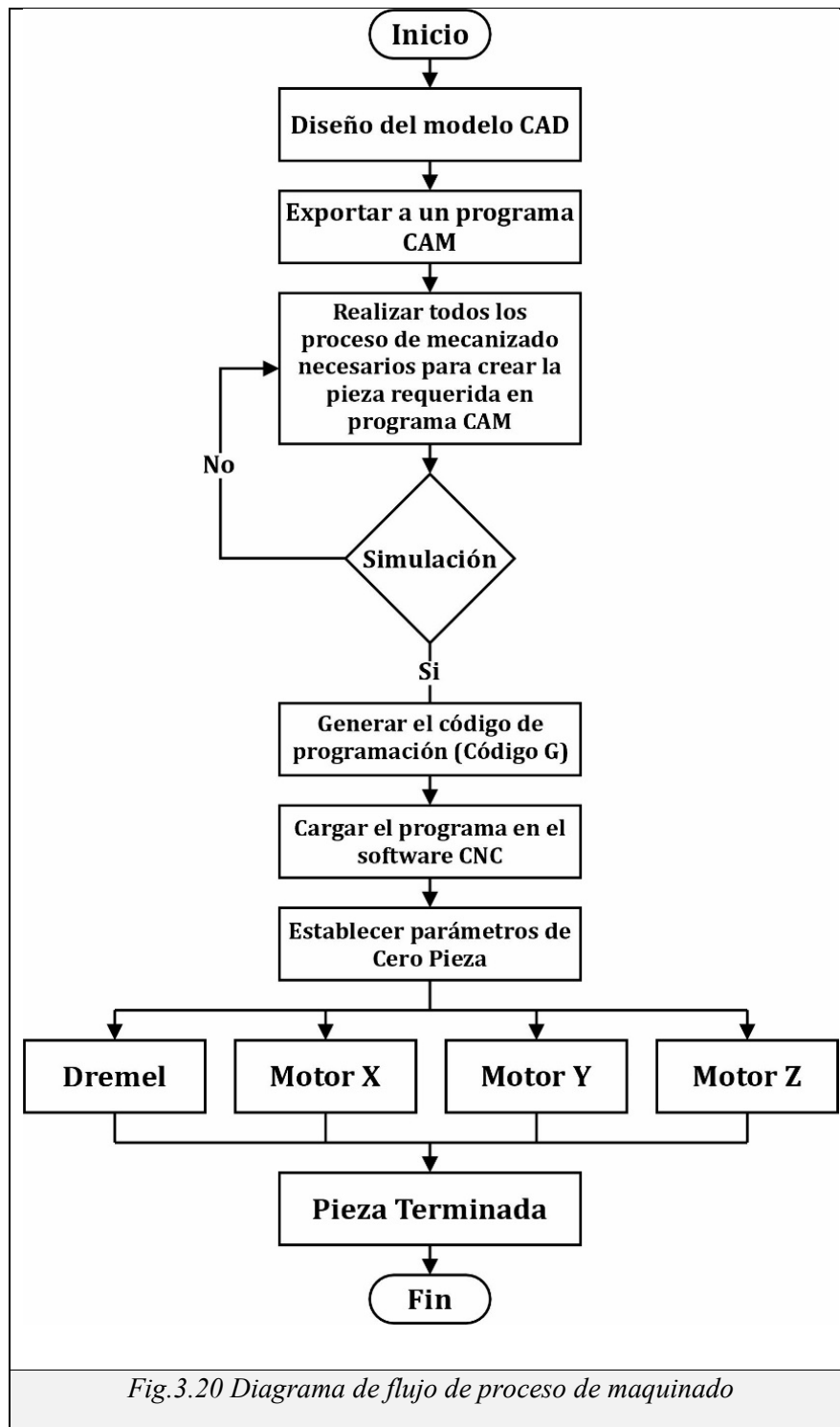


Fig.3.19 a) Medición del corte externo, b) Medición de la parte interna, c) Medición de la profundidad

El proceso de maquinado de la pieza se simplifica en el diagrama de flujo de la fig. 3.19, el cual se observan los pasos mencionados anteriormente para obtener la pieza terminada.



3.5 Análisis de costos

La tabla 8 y 9 presenta la descripción detallada de los materiales electrónicos y mecánicos utilizados durante el ensamblaje de la CNC, así como las cantidades y costos en pesos mexicanos. El costo final de estos materiales asciende a \$ 4,897.00 (Cuatro mil ochocientos noventa y siete pesos 00/100). La tabla 5 muestra las características de los tornillos utilizados para el sistema de traslación XYZ, el costo final de la tornillería asciende a \$356.50 (Trescientos cincuenta y seis pesos 50/100). Sumando un total de \$5, 253.50 (Cinco mil doscientos cincuenta y tres pesos 50/100)

Tabla 8 Materiales mecánicos y electrónicos utilizados en el ensamblaje de la CNC

Nombre	Cantidad	Precio Unitario	Total
Perfil de aluminio 20 x 40 mm de 50 cm	4	\$135.00	\$540.00
Perfil de aluminio 20x 20 mm de 20 cm	2	\$50.00	\$100.00
Polea dentada 20 dientes (5 mm internos)	3	\$35.00	\$105.00
Polea dentada 20 dientes (8 mm internos)	1	\$35.00	\$35.00
Polea dentada de 60 dientes (5 mm internos)	1	\$143.00	\$143.00
Polea tensora para banda gt2 de 6 mm (5 mm internos)	6	\$45.00	\$270.00
Banda abierta gt2 6 mm de 52 cm	3	\$15.00	\$45.00
Banda cerrada gt2 6 mm de 228 mm	1	\$78.00	\$78.00
Rueda V-Slot	20	\$46.00	\$920.00
Mototool (Dremel 3000)	1	\$984.00	\$984.00
MDF (12 mm) 80 x 50 cm	1	\$68.00	\$68.00
Motor nema 17 de 0.4 A	4	\$215.00	\$860.00
Driver a4988	4	\$35.00	\$140.00
Arduino uno	1	\$239.00	\$239.00
CNC Shield	1	\$70.00	\$70.00
Filamento PLA (1 Kg)	1	\$300	\$300
TOTAL			\$4897.00

Tabla 9 Variedad de tornillos utilizados para el ensamblaje de la CNC

Tornillo Allen		Sección				Precio unitario	Total
Cuerda	largo	Sistema del eje "X"	Sistema del eje "Y"	Sistema del eje "Z"	Mesa de maquinado		
M 3	16 mm	2	4	2		\$2.50	\$20.00

M4	25 mm			2		\$3.00	\$6.00
M5	10 mm		6			\$3.00	\$18.00
	16 mm	6				\$1.50	\$3.00
	20 mm			2		\$2.00	\$4.00
	25 mm			6		\$3.00	\$18.00
	35 mm	2	4			\$3.50	\$21.00
	40 mm		8	4		\$4.00	\$48.00
	80 mm	4				\$12.50	\$50.00
M6	25 mm		8			\$3.00	\$24.00
Tornillo hexagonal							
1/4 "	2 "				4	\$5.00	\$20.00
Tuerca inserto tipo T							
1/4 "					16	\$2.00	\$32.00
Tuerca hexagonal							
M5		10	12	8		\$1.00	\$30.00
Tuerca T							
M5		6	6			\$4.00	\$48.00
Arandela							
M5		18	20	10		\$0.30	\$14.50
TOTAL							\$356.5

4. CONCLUSIONES

En esta tesis se ha presentado el diseño e implementación de una fresadora CNC para MDF de 2.5 – 12 mm de tres ejes, usando el microcontrolador ATmega 328P y motores a pasos. La fresadora CNC enfocada en el mecanizado de piezas 2D y 3D se desarrolló al aplicar exitosamente el modelo de cuatro fases. Las dimensiones finales de la máquina propuesta son 58 cm en ancho, 32 cm en altura y profundidad de 55 cm. Además, la velocidad máxima del husillo es de 9600 rpm, lo que permite mecanizar piezas en MDF de hasta 12 mm.

También, se han presentado las hojas de procesos utilizando el software Solidworks para el desarrollo de separadores, soporte para el Dremel, tensores para las bandas, cadena cortacables, placas para unir las piezas, etc., así como el costo de los componentes y materiales.

La fresadora CNC desarrollada cuenta con un área de trabajo en la mesa de maquinado de (ejes X, Y, Z) 270 x 270 x 50 mm, la precisión en la fabricación de piezas es de ± 0.1 mm, la velocidad de corte es de 30 mm/s y la velocidad de rotación del husillo es de 9,600 rpm. La máquina propuesta cuenta con una estructura de aluminio y MDF de 12mm, el MDF resulto ser de gran utilidad debido que es relativamente fácil moldear piezas, así como ajustar las piezas en caso de que exista algún descuadre al momento de armar, ya que como se elaboraron a mono es complicado hacer las perforaciones exactamente en los puntos que se contemplan en el diseño.

La fresadora CNC desarrollada cumplió con el objetivo de cortar MDF de 2.5 - 12 mm, debido a que se observó un calentamiento en el eje del Dremel y la fresa se optó por realizar pasadas pequeñas a mayor velocidad de corte para solucionar dicho problema, gracias a esto la máquina puede trabajar sin que los motores, herramienta de corte y eje del Dremel se esfuercen, después de 2 horas seguidas de trabajo dichas piezas apenas y se sienten tibias.

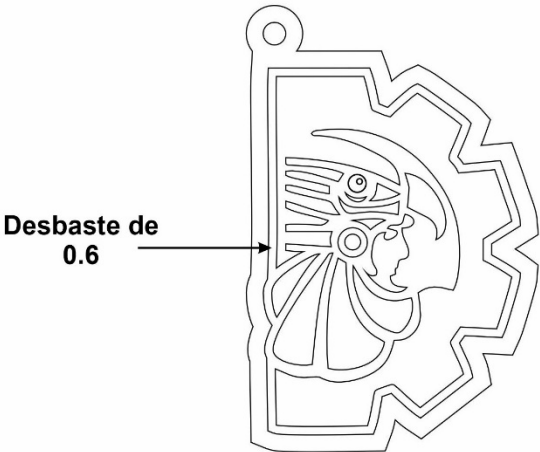
Con ello concluimos que la fresadora CNC, resulto ser una herramienta de gran utilidad para la elaboración de piezas que requieren años de experiencia para su fabricación, incluso más complejas que no podrían elaborarse a mano, gracias a esto representa una alternativa efectiva a pesar de que se requieren varias pasadas para cortar una sola pieza.

Por otra parte, es un prototipo que puede ser retomado para el desarrollo de futuros proyectos al incrementar sus aplicaciones o desarrollar otras máquinas a partir de esta.

5. Bibliografía

- [1] J. R. Vitoria, Operaciones básicas y procesos automáticos de fabricación mecánica, Madrid, España: Paraninfo, 2021.
- [2] M. M. González, MF0620_1 - Mecanizado básico, España: Elearning S. L., 2015.
- [3] I. D. M. Krahmer, «PROCESOS DE ARRANQUE DE VIRUTA Y NO CONVENCIONALES QUE SE APLICAN EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA,» 2008.
- [4] «Matemáticas 1,» 2012. [En línea]. Available: <https://matematicas1univia.wordpress.com/2012/03/27/planos-tridimensionales/>.
- [5] V. G.-H. B. R.-A. O. O.-A. E. C. G. Reyes-Morales, «METODOLOGÍA PARA LA RESTAURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UNA MÁQUINA FRESADORA CNC,» *Nexo*, vol. 32, nº 02, pp. 179-189, 2019.
- [6] C. M. A. R. F. S. ALVAREZ CALDAS, Introducción al Solid Edge, Madrid, España: Paraninfo, 2006.
- [7] M. J. French, Conceptual Design for Engineers, Berlín: Springer Science & Business Media, 2013.
- [8] AITIM, «TABLEROS DE FIBRAS DE DENSIDAD MEDIA (MDF),» 2015.
- [9] C. R. Romeva, Diseño concurrente, Barcelona: Ediciones UPC, 2002.
- [10] W. B. J. F. K.-H. G. Gerhard Pahl, Engineering Design. A Systematic Approach, Londres: Springer-Verlag, 2007.
- [11] *Systematic Approach to Design of Technical Systems and Products (traducción de Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1986.
- [12] P. A. S. Miguel, Electrotecnia, Paraninfo, 2022.
- [13] F. Conti, Motores paso a paso, Alsina, 2005.
- [14] Ó. Artero, «Arduino, curso práctico de formación,» RC Libros, 2013.
- [15] P. Corporation, «A4988 Stepper Motor Driver Carrier,» [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/1182>.
- [16] Allegro, «DMOS Microstepping Driver with Translator».
- [17] G. M. B. Enrique Vigueras Santiago, «Materiales Avanzados y Nanomateriales Aprovechamiento de Fuentes Naturales y sus Beneficios al Medio Ambiente,» OmniaScience, 2022.
- [18] M. P. B. A. A. P. M. A. F. C. J. G. N. Giovanna Danies Turano, Biodiseño en colegios, Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes, 2020.

6. Anexos

HOJA DE PROCESO			
Máquina: Fresadora CNC Pieza: Muestra		Material: MDF N° de piezas: 1	Dimensiones en bruto: 9cm x 6cm x 3mm
			
N° Operación	Parametros	Herramienta	Esquema de procesos
1. Desbaste	$V_c = 30 \text{ m/s}$ $V_b = 7 \text{ m/s}$ $P_p = 0.362$	Nombre: fresa de dos filos Diámetro: 1mm	
2. Corte	$V_c = 30 \text{ m/s}$ $V_b = 7 \text{ m/s}$ $P_p = 0.362$	Nombre: fresa de dos filos Diámetro: 1mm	