

**Universidad  
Autónoma  
Metropolitana**



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

**Licenciatura en Ingeniería Mecánica**

**Proyecto Tecnológico**

**Diseño y construcción de una fresadora CNC para maquinados en  
acrílico y madera.**

**Alumnos:**

**Angel Alejandro Meneses Juárez**

**2143035136**

**Esmeralda Anyulí Alvarez Salcido**

**2143035118**

**Asesor:**

**Ing. Romy Pérez Moreno**

**Coasesor:**

**Dr. Israel Barragán Santiago**

**Trimestre 19-O**

**Marzo 2020, México, CDMX.**

## Declaratorias

### Diseño y construcción de una fresadora CNC para maquinados en acrílico y madera

Yo, Ing. Romy Pérez Moreno, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Ing. Romy Pérez Moreno

Yo, Dr. Israel Barragán Santiago, declaro que aprobé el contenido del presente Reporte de Proyecto de Integración y doy mi autorización para su publicación en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de UAM Azcapotzalco.



Dr. Israel Barragán Santiago

Ciudad de México a 17 de marzo de 2020.

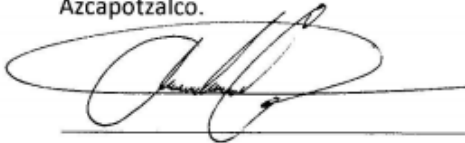
## Declaratorias

Yo, Esmeralda Anyulí Alvarez Salcido, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de la UAM Azcapotzalco.



Esmeralda Anyulí Alvarez Salcido

Yo, Angel Alejandro Meneses Juárez, doy mi autorización a la Coordinación de Servicios de información de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, para publicar el presente documento en la Biblioteca Digital, así como en el Repositorio Institucional de la UAM Azcapotzalco.



Angel Alejandro Meneses Juárez

Ciudad de México a 17 de marzo de 2020.

**AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE  
INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA**

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: 19 I Fecha: 21/07/2019 PI-A-MEC 005/19

**DATOS DEL ALUMNO**

Nombre: Esmeralda Anyuli Álvarez Salcido Matrícula: 2143035118  
Correo personal: yuale1415@gmail.com

Firma

**ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA**

Nombre del asesor/Empresa: Romy Pérez Moreno  
No. económico: 23812 Adscripción/Departamento/Sección: Energía  
Área de investigación: Sistemas mecánicos de frontera  
Correo institucional: romy@azc.uam.mx

Firma

**COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA**

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal: Israel Barragán Santiago  
No. económico/Teléfono: 26178 Adscripción/Puesto: Profesor - Investigador  
Área de investigación/Departamento: Energía  
Correo electrónico: barraganisrael@yahoo.com.mx

Firma

**MODALIDAD DEL PROYECTO**

☒ Proyecto tecnológico ☐ Proyecto de investigación ☐ Estancia profesional ☐ Experiencia profesional

**TÍTULO DEL PROYECTO**

Diseño y construcción de una fresadora CNC para maquinados en acrílico y madera

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: ☒ No ☐ SI Clave (?):

**OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una fresadora CNC con 3 ejes para elaborar modelos de fundición.

**UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN**

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	SI	Inicio
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II		19P
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica		19O

Nombre y firma del Coordinador de Estudios

Ing. Romy Pérez Moreno

22 JUL 2019  
COORDINACIÓN  
DE MECÁNICA  
Sello de la Coordinación de Estudios

Originales: Coordinador de Estudios; Coordinación de Sistemas Escolares.  
Copias: Alumno; Asesor(es).

Revisión: Febrero 2016

# AUTORIZACIÓN DE INSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INTEGRACIÓN EN INGENIERÍA MECÁNICA

PI-A-MEC

Trimestre en que se autoriza la propuesta: 19 I Fecha: 21/07/2019 PI-A-MEC 005/19

## DATOS DEL ALUMNO

Nombre: Angel Alejandro Meseses Juárez Matrícula: 2143035136

Correo personal: alejandro-juarez@outlook.es

Firma

## ASESOR RESPONSABLE / DATOS DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Empresa: Romy Pérez Moreno

No. económico: 23812 Adscripción/Departamento/Sección: Energía

Área de investigación: Sistemas mecánicos de frontera

Correo institucional: romy@azc.uam.mx

Firma

## COASESOR O ASESOR EXTERNO / JEFE O RESPONSABLE LEGAL DE LA EMPRESA

Nombre del asesor/Jefe o Responsable legal: Israel Barragán Santiago

No. económico/Teléfono: 26178 Adscripción/Puesto: Profesor - Investigador

Área de investigación/Departamento: Energía

Correo electrónico: barraganisrael@yahoo.com.mx

Firma

## MODALIDAD DEL PROYECTO

☒ Proyecto tecnológico ☐ Proyecto de investigación ☐ Estancia profesional ☐ Experiencia profesional

## TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño y construcción de una fresadora CNC para maquinados en acrílico y madera

Proyecto de Integración asociado a un Proyecto de Investigación: ☒ No ☐ Si Clave (?):

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una fresadora CNC con 3 ejes para elaborar modelos de fundición.

## UNIDADES DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE ASOCIADAS AL PROYECTO DE INTEGRACIÓN

Clave	UEA	UEA Autorizada	Vigencia
1100118	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I	SI	Inicio
1100128	Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica II		15P
1100138	Introducción al Trabajo de Investigación en Ingeniería Mecánica		Término
			120

<p>Nombre y firma del Coordinador de Estudios</p> <p><i>Romy Pérez Moreno</i></p> <p>Ing. Romy Pérez Moreno</p>	<p>Universidad Autónoma Metropolitana Casa abierta al tiempo Azcapotzalco</p> <p><b>CBI</b> DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA</p> <p>22 JUL 2019</p> <p>COORDINACIÓN DE MECÁNICA</p> <p>Sello de la Coordinación de Estudios</p>
---	--

Originales: Coordinador de Estudios, Coordinación de Sistemas Escolares.  
Copias: Alumno, Asesorías.

Revisión: Febrero 2016

## Agradecimientos

Quiero agradecer

A mi madre, Eréndira Salcido Díaz de León por siempre brindarme su amor y apoyo, por darme consejos y la fuerza para seguir adelante cuando tengo derrotas, por esos especiales abrazos que son capaces de aliviar un alma cansada, por ser una mujer ejemplar y LA MEJOR MADRE DEL MUNDO, por todo lo que haces por mí y todo el corazón que pones al hacerlo.

A mi padre, Octavio Alvarez Domínguez por siempre poner todas sus energías y fuerzas para que nunca faltara comida y amor en el hogar, por apoyar y creer que las mujeres somos capaces de estudiar una ingeniería, por mostrarme que por más que la situación sea difícil siempre se debe seguir adelante con todo el amor y la pasión por su profesión.

A mis hermanas, Rubí Andrea Alvarez Salcido y Perla Erenalí Alvarez Salcido, por ser las mejores personas para crecer juntas, hacer travesuras y descubrir nuevas experiencias, todo lo que vivimos juntas nos hizo ser quienes somos, agradezco profundamente tener una bonita relación con ustedes y que sepan que siempre voy a apoyarlas en lo que necesiten.

Mi familia es lo mejor que me pudo tocar en la vida, aun con todas sus imperfecciones cada uno es perfecto a su manera y así los ADORO, GRACIAS POR TODO LO QUE ME HAN BRINDADO.

A Angel Alejandro Meneses Juárez por acompañarme en esta etapa, por apoyarme y confiar en mí, por cuidar de mí siempre que lo necesite sin pedir nada a cambio, por ser tolerante conmigo, porque te admiro y cada día me haces mejorar, en resumen, porque juntos somos el mejor equipo. Agradezco haberte conocido y que formes parte de este proyecto que se llama “VIDA”.

A mis amigos, Jesús Raúl Rodríguez Higuera y Roberto Moran Camero por ser tal cual son, por todos los momentos que hemos vivido juntos, por el apoyo que nos hemos brindado para ser mejores personas y que a pesar de no estar siempre juntos sabemos que todos contamos con el apoyo de todos.

De verdad agradezco con todo mi corazón a todas las personas que estuvieron a mi lado para poder conseguir este logro en mi vida, DESEO LO MEJOR DEL MUNDO PARA TODOS ELLOS.

Esmeralda Anyulí Alvarez Salcido

## Agradecimientos

### Quiero agradecer

A mi madre, María Elena Juárez por estar conmigo siempre sin importar su condición de salud, por brindarme sus sabios consejos que me han llevado a donde actualmente me encuentro y sobre todo por todo su apoyo moral.

A mi padre, Miguel Meneses por enseñarme el verdadero valor del trabajo y de lo valioso que es aprender cada día cosas nuevas.

A mi tía y a mis primos que en momentos muy difíciles decidieron abrirme las puertas de su hogar, acogerme y darme la confianza de ser yo mismo.

A mi novia, Esmeralda Anyulí Álvarez por acompañarme a lo largo de todo este proceso, por brindarme su apoyo en todos los aspectos sin pedir nunca nada a cambio, por decidir estar conmigo y ser tolerante en mis malos momentos y agradecerle por aceptarme como soy y porque cada día me motiva a ser mejor como persona.

A mis hermanas, Itzel y Ariadna por todas esas buenas y malas experiencias que hemos afrontado juntos y por darme esa felicidad de ser tío.

Ángel Alejandro Meneses Juárez

## Resumen

En este proyecto se planteó el diseño y construcción de una maquina fresadora CNC para la creación de modelos de acrílico o madera en el moldeo en arena verde. Esta máquina permitirá que los modelos tengan una mayor precisión y que el tiempo de producción sea menor, debido que al hacerlos manualmente se cuentan con errores de medición y maquinado.

El proyecto se desarrolló en 3 capítulos, el primero aportó las bases y las pautas a seguir para que el proyecto sea exitoso. En el segundo se brindó información sobre las maquinas herramienta y el código G. Finalmente en el tercero, se encontraron todas las fórmulas empleadas para la obtención de las dimensiones de los componentes empleados, así como el cálculo de la fuerza de corte y los torques necesarios que deben tener cada uno de los motores para que estos funcionen correctamente.

Primero se propuso una estructura con dimensiones sensatas, posteriormente se ingresó a un software especializado para obtener la deformación total empleando la fuerza de corte. Una vez obtenidos los resultados se verificó que la deformación no fuera mayor a la tolerancia propuesta. Posteriormente se procedió a realizar la manufactura de piezas y después se realizó el ensamble.

Finalmente se añadieron los diagramas de conexión de todos los componentes electromecánicos que conforman la fresadora CNC, así como la forma en la cual se debió configurar MACH3.



## Contenido

Índice de ilustraciones.....	11
Índice de tablas .....	14
Índice de planos .....	14
Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Antecedentes .....	15
1.2 Justificación .....	16
1.3 Objetivos .....	16
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos particulares .....	16
Capítulo 2 MARCO TEÓRICO .....	18
2.1 Máquina herramienta .....	18
2.2 Elementos que conforman una fresadora convencional .....	19
2.3 Control numérico computarizado .....	19
2.4 Ventajas de un sistema CNC.....	20
2.5 Componentes de un sistema CNC.....	20
2.6 Diagrama de funcionamiento de la fresadora CNC.....	23
2.7 Comparación entre una máquina convencional y una CNC.....	23
2.8 CAD/CAM.....	24
2.9 Sistema de control de lazo abierto.....	25
2.10 Desplazamiento neto de la mesa (tornillo acoplado directamente al motor).....	25
2.11 Resolución mecánica .....	26
2.12 Modos de control de un sistema CNC.....	26
2.13 Código G y M .....	27
2.14 Estructura de un programa .....	34
Capítulo 3 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	36
3.1 Componentes electromecánicos empleados .....	36
3.1.1 Tarjeta de control.....	36
3.1.2 Driver TB6600.....	37
3.1.3 Motor a pasos .....	37
3.1.4 Barra rectificada .....	41
3.1.5 Tornillo trapezoidal y tuerca .....	42
3.1.6 Perfil de aluminio .....	44

3.2 Diseño de los componentes de la fresadora .....	45
3.2.1 Análisis de la estructura .....	50
3.2.2 Análisis de los motores.....	57
3.3 Manufactura y ensamble de la estructura de la fresadora .....	60
3.4 Conexión y configuración del sistema de control .....	65
3.5 Diagramas de conexión .....	65
3.6 Configuración de Mach3 .....	70
3.7 Resultados .....	79
3.8 Puesta en marcha, maquinado de una pieza .....	80
3.9 Análisis y discusión de resultados .....	85
3.10 Conclusiones.....	86
Anexos 1 – Factores para el cálculo de la fuerza de corte .....	87
Anexos 2 – Velocidad de corte para diversos tipos de madera .....	88
Anexo 3 – Planos de definición .....	89
Bibliografías.....	101

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Fresadora CNC. ....	15
Ilustración 2: Partes de una fresadora. ....	19
Ilustración 3: Unidad de control de una máquina CNC. ....	21
Ilustración 4: Sistema de accionamiento de una máquina CNC. ....	21
Ilustración 5: Tipos de mecanismos de transferencia de potencia [8] ....	21
Ilustración 6: Sistemas de desplazamiento para un sistema CNC. ....	22
Ilustración 7: Estructuras de una CNC. ....	22
Ilustración 8: Diagrama de funcionamiento de una máquina CNC. ....	23
Ilustración 9: Sistema CAD- CAM [10] ....	25
Ilustración 10: Sistema motor-tornillo-tuerca [11] ....	25
Ilustración 11: Paso de un tornillo [12] ....	25
Ilustración 12: Tipos de control. ....	27
Ilustración 13: Códigos G no modal y modal. ....	27
Ilustración 14: Ejes en una fresadora [13]. ....	28
Ilustración 15: Interpolación rápida con código G. ....	29
Ilustración 16: Interpolación lineal con código G. ....	29
Ilustración 17: Interpolación circular con código G. ....	30
Ilustración 18: Bloque para el uso de la interpolación circular. ....	30
Ilustración 19: Selección de planos en una máquina CNC [14]. ....	30
Ilustración 20: Selección del tipo de coordenadas. ....	31
Ilustración 21: Sistema de unidades empleados en código G. ....	31
Ilustración 22: Sistema de coordenadas en el código G. ....	31
Ilustración 23: velocidad de avance - código G94 y G95. ....	32
Ilustración 24: Compensación del radio de la herramienta en código G. ....	33
Ilustración 25: Compensación de longitud de la herramienta [16] ....	33
Ilustración 26: Giro de la herramienta según el código G [14] ....	34
Ilustración 27: Estructura de un bloque de programación en código G [17] ....	35
Ilustración 28: Ejemplo de un bloque en código G. ....	35
Ilustración 29: Tipo de motor según el número de cables que tenga. ....	38
Ilustración 30: Cables del motor ....	39
Ilustración 31: Medición de continuidad empleando un multímetro. ....	39
Ilustración 32: Existe continuidad ....	40
Ilustración 33: No existe continuidad ....	40
Ilustración 34: Existe continuidad ....	40
Ilustración 35: Bobinas identificadas ....	41
Ilustración 36: Sistema de desplazamiento. ....	41
Ilustración 37: Tornillo trapezoidal de 2 hilos [19]. ....	42
Ilustración 38: Avance del tornillo trapezoidal [19]. ....	42
Ilustración 39: Sistema motor-tornillo-tuerca [11] ....	43
Ilustración 40: Perfil de aluminio 3030 ....	44
Ilustración 41: Ensamble completo de la fresadora CNC. ....	45
Ilustración 42: Ensamble de la fresadora CNC sin la mesa. ....	46
Ilustración 43: Eje Y de la fresadora CNC. ....	47

Ilustración 44: Eje X de la fresadora CNC. ....	48
Ilustración 45: Eje Z de la fresadora CNC. ....	49
Ilustración 46: Simplificación de la estructura para el análisis. ....	54
Ilustración 47: Fuerzas y restricciones empleadas para el análisis estructural. ....	54
Ilustración 48: Deformación total escala real – vista isométrica. ....	55
Ilustración 49: Deformación total escala real – vista frontal. ....	56
Ilustración 50: Deformación total escala 2X – vista isométrica. ....	56
Ilustración 51: Deformación total escala 2X – vista frontal. ....	57
Ilustración 52: Perfiles empleados para la estructura. ....	61
Ilustración 53: Generación de cuerda en los extremos de los perfiles. ....	61
Ilustración 54: Ensamble del eje Y.....	62
Ilustración 55: Ensamble del eje X. ....	62
Ilustración 56: Ensamble del eje Z.....	63
Ilustración 57: Ensamble de los motores a pasos. ....	63
Ilustración 58: Ensamble de los soportes verticales. ....	64
Ilustración 59: Tuerca económica para el ensamble de componentes. ....	64
Ilustración 60: Tuerca y tornillo para el ensamble de componentes.....	64
Ilustración 61: Pata niveladora.....	65
Ilustración 62: Ensamble de la mesa. ....	65
Ilustración 63: Esquema de conexión para la tarjeta.....	66
Ilustración 64: Esquema de conexión para el driver. ....	67
Ilustración 65: Esquema de conexión 2 para la tarjeta.....	67
Ilustración 66: Conexión de límites de carrera. ....	68
Ilustración 67: Conexión del spindle. ....	68
Ilustración 68: Conexión inicial del sistema de control.....	68
Ilustración 69: Conexión final del sistema de control.....	69
Ilustración 70: Interfaz del programa MACH3. ....	70
Ilustración 71: Pestaña de configuración. ....	70
Ilustración 72: Pestaña para seleccionar las unidades a trabajar. ....	71
Ilustración 73: Selección de unidades a trabajar. ....	71
Ilustración 74: Pestaña para la configuración de los puertos y pines. ....	71
Ilustración 75: Selección del puerto paralelo a utilizar.....	72
Ilustración 76: Esquema de un puerto paralelo. ....	72
Ilustración 77: Ajuste de los pines para los motores. ....	73
Ilustración 78: Selección de los pines para los fines de carrera.....	74
Ilustración 79: Configuración del pin para la parada de emergencia. ....	74
Ilustración 80: Botón de emergencia accionado vía teclado. ....	75
Ilustración 81: Selección del pin para el encendido y apagado del husillo.....	75
Ilustración 82: Pestaña para la configuración de los motores.....	76
Ilustración 83: Configuración de los parámetros de los motores. ....	76
Ilustración 84: Salvado de los datos asignados.....	77
Ilustración 85: Selección de eje sobre el cual se aplicarán los parámetros del motor. ....	77
Ilustración 86: Pestaña para la configuración del backlash. ....	77
Ilustración 87: Ingresar las unidades para compensar el backlash.....	78

Ilustración 88: Fresadora CNC.....	79
Ilustración 89: Fresadora CNC y sistema de control. ....	80
Ilustración 90: Figuras a maquinar en el código 1.....	80
Ilustración 91: Prueba realizada.....	81
Ilustración 92: Dimensiones de las figuras realizadas.....	82
Ilustración 93:Pieza realizada en el código 2. ....	82
Ilustración 94: Figura empleando los códigos G41 y G83. ....	83
Ilustración 95:Dimensiones de la pieza generada con el código 2. ....	84

## Índice de tablas

Tabla 1: Tipos de máquinas herramienta [7] .....	18
Tabla 2: Tipos de mecanismos de transferencia de potencia [8].....	21
Tabla 3: Comparación entre una CNC y una máquina convencional [9].....	24
Tabla 4: Velocidades de avance para diversos materiales [15] .....	32
Tabla 5: Pasos por revolución de diversos motores [18] .....	37
Tabla 6: Datos empleados para el cálculo de la fuerza de corte.....	52
Tabla 7: Parámetros de corte para la madera y el acrílico.....	52
Tabla 8: Fuerza de corte obtenida para el acrílico. ....	52
Tabla 9: Fuerza de corte obtenida para la madera. ....	53
Tabla 10: Fuerzas de corte para cada eje.....	53
Tabla 11: Fuerzas de corte con sus respectivos factores de seguridad. ....	53
Tabla 12: Parámetros empleados para el cálculo del torque del motor.....	58
Tabla 13: Peso de los elementos que carga el eje Y.....	59
Tabla 14: Resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones. ....	59
Tabla 15: Torques necesarios para el motor de cada eje. ....	60
Tabla 16: Torques de los motores preseleccionados.....	60
Tabla 17: Motor seleccionado.....	60
Tabla 18 : Factor de maquinabilidad [19] .....	87
Tabla 19: Factor de herramienta [19] .....	87
Tabla 20: Factor de eficiencia de la máquina [19] .....	87
Tabla 21: Velocidad de corte para diversos materiales [24].....	88

## Índice de planos

Plano 1: Ensamble de la fresadora.....	89
Plano 2:Subensamble del eje Y. ....	90
Plano 3: Subensamble del eje Z.....	91
Plano 4: Subensamble del eje X. ....	92
Plano 5: Placa eje z4.....	93
Plano 6: Placa eje z3.....	94
Plano 7: Placa eje z2.....	95
Plano 8: Solera para la mesa. ....	96
Plano 9: Soporte para el motor.....	97
Plano 10: Base para el soporte del motor eje z. ....	98
Plano 11: Calza 2. ....	99
Plano 12: Calza. ....	100

## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

La fresadora es una máquina que realiza trabajos mecanizados por arranque de viruta gracias al movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte conocida como fresa o cortador. Una fresadora puede mecanizar diversos materiales como madera, acero, hierro, etc. En todo tipo de superficies.

Dicha máquina cuenta con ejes principales y complementarios, el sistema de transmisión, los sistemas de sujeción de la pieza y los cambiadores de herramientas.

Al añadirle un Control Numérico Computarizado (CNC) a la máquina, este le permite controlar los desplazamientos de la mesa, los carros y/o el husillo a lo largo de su respectivo eje mediante datos numéricos que automatizan los movimientos de la fresadora para que estos no dependan de una persona, haciéndolos más rápidos y precisos. [1]



*Ilustración 1: Fresadora CNC.*

Esta máquina es básica en el sector del mecanizado, ya que gracias a la incorporación del control numérico se ha vuelto más versátil debido a la gran variedad de trabajos que puede realizar y la flexibilidad que permite en el proceso de fabricación.

En este proyecto se pretende diseñar y construir una fresadora que utilice la interfaz de Mach3, empleando una tarjeta de control y drivers que sean compatibles para que la máquina funcione correctamente. Esta será empleada para la manufactura de modelos (ya sea de madera o acrílico), los cuales posteriormente serán empleados para moldeo en arena verde.

### 1.1 Antecedentes

En 2012 el alumno Álvaro Fernando Molina Portilla de la Universidad de Nariño, presentó el proyecto titulado “Diseño, construcción y programación de un prototipo de maquina CNC para el fresado y perforado de placas de circuito impreso PCB” [2]. De este proyecto se consultará la información sobre el código G.

En agosto del 2014 el alumno Miguel Riquelme García de la Universidad Politécnica de Cartagena presentó un proyecto titulado “Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el

mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas” [3], donde la estructura para su fresadora consiste en que el husillo realiza movimientos en todos los ejes mientras que la mesa permanece fija, de este proyecto se pretende consultar la estructura de la fresadora.

En abril del 2018 los alumnos Chimalpetlani Dávila Alvarado y Miguel Eduardo Rangel Cordero de la Universidad Autónoma Metropolitana presentaron el proyecto “Diseño del sistema de movimiento para corte por plasma de placas de acero inoxidable” [4], donde se realizó un acertado análisis de esfuerzos para los diversos ejes de la máquina, para este proyecto se pretende desarrollar un análisis similar.

En septiembre del 2018 el alumno Edgar Piña Hernández de la Universidad Autónoma Metropolitana presentó el proyecto “Diseño y construcción de una fresadora de mesa CNC de 3 ejes” [5], donde se empleó el software Mach3 para el control de la fresadora, para este proyecto también se desea usar este programa, así como algunas fórmulas empleadas por el alumno.

## 1.2 Justificación

La industria manufacturera mexicana se encuentra en pleno desarrollo; según datos de la Sociedad Mexicana de Fundidores, en el 2012 existían poco más de 800 empresas dedicadas a la fundición, de las cuales, alrededor del 90 % son pequeñas y medianas empresas (PyMES).

De acuerdo con datos de Red de Empresarios Visa, México ocupaba la posición número seis de los diez países con mayor número de fundidoras operando [6].

Con ayuda del testimonio de una persona que se encarga de realizar modelos para fundición en la empresa ALDO Fundidora, se sabe que, para hacer un nuevo modelo, por ejemplo, el de un buñuelo de viento de acrílico de 18 X 12 X 2 cm tarda aproximadamente 2 días, empleando un mototool, esmeril, limas y lijas. Mientras que en una fresadora CNC el tiempo se podría reducir a aproximadamente 35 minutos. Se pretende modelar piezas con dimensiones máximas de 32 X 25 x 7 cm, sin recurrir a una fresadora CNC el tiempo para el modelado será aproximadamente 2 semanas.

Esta PPI pretende impulsar a través del uso de una fresadora CNC la innovación en los modelos para fundición hechos en madera y acrílico.

Esta máquina proporcionará una disminución en los tiempos de producción y aumentaría la precisión en los modelos. En el mismo sentido permitiría hacer piezas que no existan en el mercado y tener nuevos clientes fuera del ramo al que se dedican normalmente por tener acceso inmediato a moldes de cualquier pieza que les soliciten. Así podrían tener oportunidades de crecimiento.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir una fresadora CNC con 3 ejes para elaborar modelos de fundición.

### 1.3.2 Objetivos particulares

Diseñar la geometría de los elementos estructurales de la fresadora.

Realizar un análisis de esfuerzos de la estructura en el software ANSYS.

Seleccionar los componentes mecánicos comerciales que conformarán el sistema de transmisión.



Seleccionar los componentes electrónicos necesarios para implementar la tarjeta de interfaz basada en el software Mach3.

Ensamblar todos los componentes de la fresadora.

Poner en operación la fresadora.

Evaluar el funcionamiento de la máquina.

## Capítulo 2 MARCO TEÓRICO

A principios de 1950, la mayoría de las operaciones de manufactura en una empresa se hacían empleando máquinas tradicionales, como tornos, fresadoras, taladrados, etc. Sin embargo, estos equipos requerían una considerable mano de obra experimentada para producir partes.

La alta demanda y la exigencia cada día más alta de piezas complejas requería que los trabajadores cometieran muchos errores y se desperdiciara mucho material, con el fin de encontrar los parámetros adecuados para el maquinado de dichas piezas, a su vez no se podría tener una reproducibilidad exacta, lo que ocasionaba que el proceso fuera complejo, lento, inexacto y, por lo tanto, costoso. Esto generó la inevitable mejora y actualización de dichas máquinas.

### 2.1 Máquina herramienta

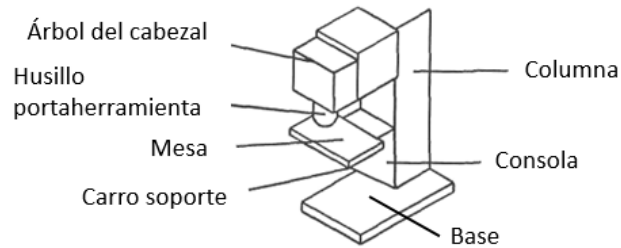
Las máquinas-herramienta ejecutan movimientos entre una pieza y la herramienta apropiada. La obtención de la pieza se da por la eliminación o deformación del material, a continuación, se muestran algunas de las máquinas-herramienta más empleadas, así como los movimientos relativos entre la pieza de trabajo y la herramienta de corte utilizada.

Máquina	Movimiento de corte	Movimiento de alimentación	Tipo de operaciones
Torno mecánico	La pieza gira	Herramienta y carro	Superficies cilíndricas, taladrado, barrenado, rimado y careado
Barrenadora	La herramienta gira	Mesa	Taladrado, barrenado, rimado y careado
Cepillo de mesa	Mesa viajera	Herramienta	Superficies planas
Cepillo de codo	Herramienta viajera	Mesa	Superficies planas
Fresadora horizontal	La herramienta gira	Mesa	Superficies planas, dientes de engranes, levas, taladrado, barrenado, rimado y refrentado
Barrenadora horizontal	La herramienta gira	Herramienta viajera	Superficies cilíndricas
Rectificadora cilíndrica	La herramienta gira	Mesa y/o herramienta	Superficies cilíndricas
Taladro	La herramienta gira	herramienta	Taladrado, barrenado, refrentado y roscado
Sierra	herramienta	Herramienta y/o pieza	Corte
Escariadora	herramienta	herramienta	Superficies interiores y exteriores

*Tabla 1: Tipos de máquinas herramienta [7]*

## 2.2 Elementos que conforman una fresadora convencional

Los elementos principales que conforman una fresadora convencional son:



*Ilustración 2: Partes de una fresadora.*

- Base: Esta parte se encarga de soportar otras partes básicas.
- Botón encendido/apagado
- Volante para movimiento sobre eje x: Permite mover la pieza en la dirección x
- Volante para movimiento sobre eje y: Permite mover la pieza en la dirección y
- Volante para movimiento sobre eje z: Permite mover la pieza en la dirección z
- Mesa: Parte donde se apoya la pieza a mecanizar.
- Columna: La columna proporciona un soporte vertical, en el cual se encuentran otras partes básicas.
- Manivela: Permite bajar la fresa a través de un husillo.
- Husillo: Permite el movimiento vertical de la fresa para ubicarla en la posición correcta.
- Motor: Es la parte de la fresadora que hace girar la fresa con el fin de obtener el arranque de viruta.
- Cabezal fijo: Este elemento se encarga de sostener al árbol del husillo el cual proporciona en forma directa el movimiento a la herramienta.
- Carro: Son elementos que proporcionan desplazamientos longitudinales, transversales o auxiliares, ya sea de la herramienta o de la pieza, dependiendo de la máquina.

## 2.3 Control numérico computarizado

Los sistemas de CNC incorporan una computadora, la cual le permite al operador introducir, escribir e iniciar sus programas y modificar los códigos.

Los parámetros de corte como velocidad de avance, velocidad de corte, velocidad del husillo, avance y profundidad de pasada son consideradas automáticamente durante la ejecución de éste.

Gracias a ello, se pueden hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente por un operario como círculos, líneas diagonales y figuras complejas.

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los diversos ejes para efectuar todo tipo de trayectorias, ya sea bidimensionales o tridimensionales.

Una vez programado el código, la máquina ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola.

Las CNC requieren de códigos numéricos para expresar las ordenes, estas siguen una secuencia lógica que constituyen un programa de maquinado.

## 2.4 Ventajas de un sistema CNC

Al implementar un sistema CNC se obtienen los siguientes beneficios:

- Disminución del tiempo de mecanizado.
- Reducción de costos de producción.
- Precios más competitivos.
- Posibilidad de fabricación de piezas imposibles o muy difíciles.
- Brinda mayor seguridad al operario ya que este no se encontrará en contacto directo con el maquinado.
- Aumenta la precisión debido a que los movimientos no son realizados por una persona.
- Aumento de la productividad de las máquinas.
- Reducción de desechos y anulación de piezas fallidas.

## 2.5 Componentes de un sistema CNC

Un sistema CNC puede ser tan complejo como uno quiera, no existe una forma única de definir su arquitectura. Sin embargo, existen elementos básicos que tienen en común la mayoría de las máquinas CNC.

1. Código de la pieza
2. Dispositivo de entrada
3. Unidad de control de la máquina (Pc + tarjeta)
4. Sistema de accionamiento (Motor + drivers)
5. Sistema de transmisión (husillo, cremallera, banda)
6. Sistema de desplazamiento (Guías)
7. Máquina herramienta (Estructura)
8. Operador

**Código de la pieza.** El código de la pieza es una serie de instrucciones necesarias para producir una pieza. Se definen los movimientos de la máquina herramienta y el apagado de las funciones auxiliares como la rotación del husillo y el refrigerante. Estas instrucciones están compuestas por letras, números y símbolos. A estas instrucciones se les conoce como código G.

**Dispositivo de entrada.** Es el mecanismo por medio del cual el código G es introducido en el control de la máquina. Los dispositivos de entrada más empleados son teclados, USB, puerto paralelo y redes.

**Unidad de control de la máquina (MCU).** Se conoce también como controlador o interfaz controladora. Es la parte que se encarga de interpretar el Código G por medio de un software y realizar las acciones que este le indique, mediante señales de entrada (límites de carrera, paro de emergencia, etc.) y salida (drivers).



Ilustración 3: Unidad de control de una máquina CNC.

**Sistema de accionamiento.** Un sistema de accionamiento consta de drives y motores. La MCU envía las señales de control (posición y velocidad) a los drivers de cada eje para que estos accionen los motores.

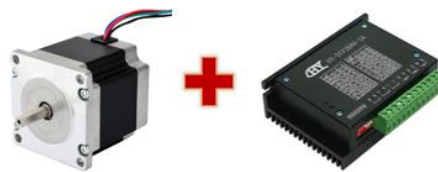


Ilustración 4: Sistema de accionamiento de una máquina CNC.

**Sistema de transmisión.** Se encarga de trasladar el movimiento de los motores a los carros de los distintos ejes. Se pasa de un movimiento rotativo a uno rectilíneo.

Los sistemas de transmisión más empleados se muestran en la tabla siguiente.

Mecanismo	Tipo de movimiento	Transformación del movimiento
Tornillo - tuerca	Rectilíneo a velocidad constante	De rotativo a rectilíneo
Piñón - cremallera	Rectilíneo a velocidad constante	De rotativo a rectilíneo
Tornillo sin fin - cremallera	Rectilíneo a velocidad constante	De rotativo a rectilíneo
Biela - manivela	Rectilíneo alternativo	De rotativo a rectilíneo alternativo
Manivela – colisa oscilante	Rectilíneo alternativo	De rotativo a rectilíneo alternativo
Leva	Rectilíneo alternativo	De rotativo a rectilíneo alternativo

Tabla 2: Tipos de mecanismos de transferencia de potencia [8]

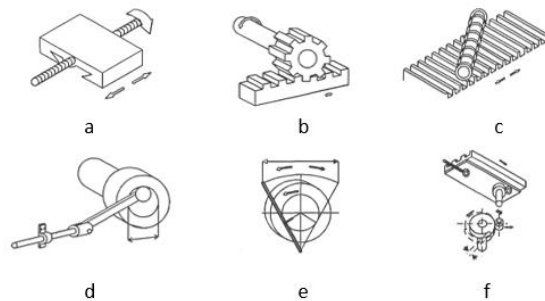


Ilustración 5: Tipos de mecanismos de transferencia de potencia [8]

**Sistema de desplazamiento:** Las guías son las encargadas de soportar los desplazamientos lineales de las partes móviles de la máquina y los esfuerzos que se ejercen al realizar el maquinado.



*Ilustración 6: Sistemas de desplazamiento para un sistema CNC.*

**Estructura.** La estructura es la encargada de mantener en su lugar y soportar: motores, guías, el sistema de transmisión, husillo, etc., sin tener deformaciones y ser lo más liviana posible.

En su diseño se deben considerar resistencia de materiales, brazos de palanca, etc.

Para la estructura se utilizan fundamentalmente Aluminio, Acero y en menor medida plásticos; en forma de placa, solera, perfiles de distinta geometría y fundición de piezas especiales.



*Ilustración 7: Estructuras de una CNC.*

**Operador.** Es la persona encargada de interactuar con la máquina, vigilar y supervisar que los trabajos se realicen correctamente.

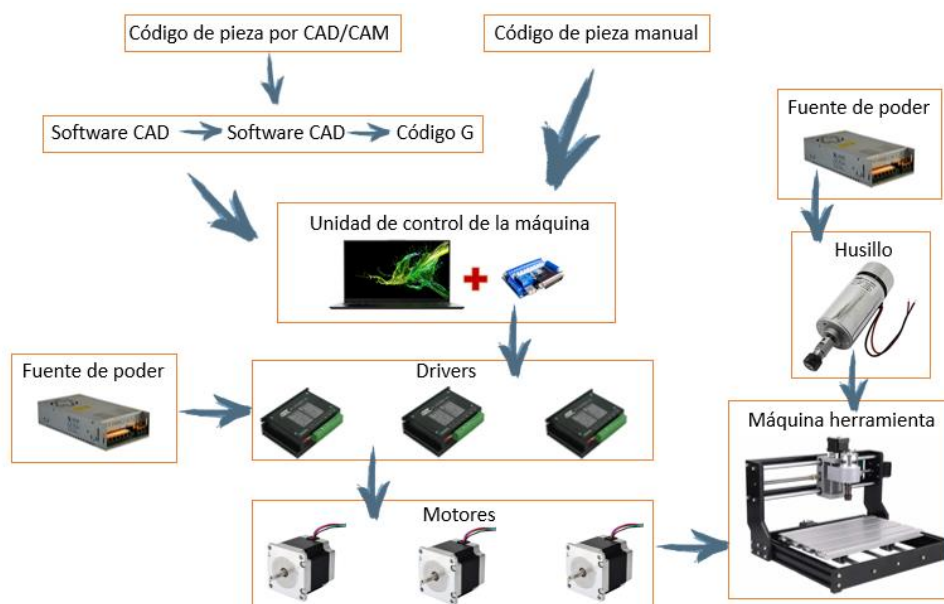
## 2.6 Diagrama de funcionamiento de la fresadora CNC

En una máquina CNC es posible ingresar el código ya sea mediante un programa de CAD/CAM o de forma manual (El operario realiza el código y lo ingresa vía teclado).

El código es interpretado por la tarjeta de control y manda señales de salida hacia los drivers para que estos a su vez envíen una secuencia de pulsos y una señal de dirección al motor, lo cual generará los desplazamientos de los diversos carros.

Los drivers y el husillo requieren ser conectados a una fuente de alimentación.

La tarjeta de control es alimentada por la computadora vía puerto USB.



*Ilustración 8: Diagrama de funcionamiento de una máquina CNC.*

## 2.7 Comparación entre una máquina convencional y una CNC

A continuación, se muestra una tabla donde se compara una máquina convencional con una máquina CNC para poder observar más claramente los beneficios.

<b>Característica para comparar</b>	<b>Máquina convencional</b>	<b>Máquina CNC</b>
<b>Forma de realizar el cambio de herramienta</b>	Por el operador en forma manual.	Automática, programada y dirigida por el control.
<b>Forma de control de las dimensiones</b>	Por medio de instrumentos de medición y la graduación de las manivelas.	Por el control
<b>Forma de control de la velocidad del husillo</b>	Por medio de trenes de engranes intercambiables movidos por palancas de cambio.	Automática, programada y comandada por el control.
<b>Forma para desplazar la mesa o los carros</b>	Trenes de engranes, manivelas y tornillos sin fin.	Husillo de bolas y correderas a base de bolas.
<b>Tipo de mecanismo del husillo</b>	Flecha, tuercas y baleros.	Husillo de bolas.
<b>Forma de fresar un contorno</b>	Por el operador manipulando por lo menos dos manivelas.	Programada y comandada por el control.
<b>Forma para torneear una rosca</b>	Manual, accionado palancas y manivelas.	Programada y comandada por el control.
<b>La precisión de los maquinados</b>	Depende de la habilidad del operador.	Depende de la resolución del sistema y es máxima y constante.
<b>Tiempo de maquinado</b>	Depende del operador.	Calculado y siempre constante para cada pieza.
<b>Refrigeración</b>	Manual, accionada por un interruptor y una llave.	Programada y comandada por el control.

*Tabla 3: Comparación entre una CNC y una máquina convencional [9]*

## 2.8 CAD/CAM

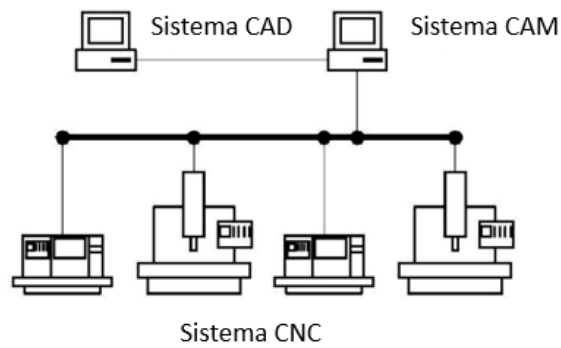
Para que una pieza sea realizada por CAD/CAM se requiere de 2 software diferentes, uno de CAD (CAD, acrónimo de Computer Aided Design), donde se diseña la pieza y otro CAM (CAM, acrónimo de Computer Aided Manufacturing), donde se genera el código g en base a la pieza.

Este tipo de sistemas son empleados para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos, haciendo el proceso más rápido, con mayor precisión y menor precio.

Los CAD pueden generar dibujos o sólidos bidimensionales y tridimensionales y una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar fácilmente. Los sistemas CAD también permiten simular el funcionamiento de un producto.

El sistema CAM se basa en la información brindada por el CAD para generar la ruta de corte que debe seguir la herramienta para obtener dicha pieza, esto quiere decir que genera un código con todas las instrucciones, el cual posteriormente es introducido a la máquina por diferentes vías.



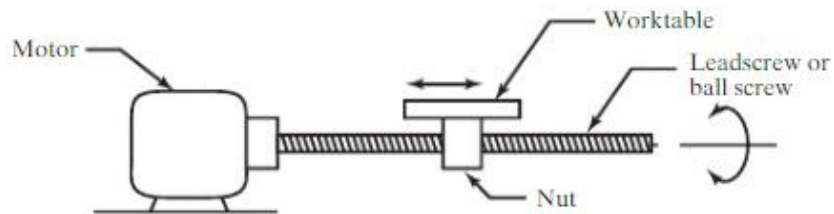


*Ilustración 9: Sistema CAD- CAM [10]*

## 2.9 Sistema de control de lazo abierto

Estos sistemas se basan en la utilización de motores paso a paso. La posición final se obtiene de acuerdo con la cantidad de pulsos enviados al controlador del motor.

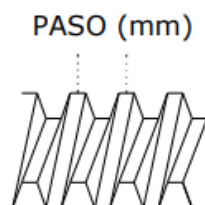
El movimiento rotatorio del tornillo hace que la tuerca se desplace linealmente, es decir que el tornillo transforma un movimiento rotativo en un movimiento lineal.



*Ilustración 10: Sistema motor-tornillo-tuerca [11]*

## 2.10 Desplazamiento neto de la mesa (tornillo acoplado directamente al motor)

El desplazamiento lineal de la mesa queda determinado por el paso del tornillo (PT) y el ángulo total de giro del eje del motor ( $\theta$ ).



*Ilustración 11: Paso de un tornillo [12]*

La posición final de la mesa es:

$$x_f = \frac{P_t \theta}{360} + x_i \quad (1)$$

El desplazamiento de esta es la diferencia entre la posición final y la inicial, es decir que se puede calcular el desplazamiento de la mesa como:

$$\Delta x = \frac{P_t (P \alpha)}{360} = \frac{P_t P}{n_p} \quad (2)$$

En dónde  $\alpha$  y  $n_p$  tienen valores fijos (característicos del motor), mientras que la cantidad de pulsos (P) es variable. El desplazamiento mínimo de la mesa (P=1) queda determinado por las características del motor y el paso del tornillo, para este caso es:

$$\Delta x_{min} = \frac{P_t \alpha}{360} = \frac{P_t}{n_p} \quad (3)$$

Donde:

Pt = paso del tornillo

P = pulsos [12]

## 2.11 Resolución mecánica

La resolución mecánica (RM) es el desplazamiento mínimo debido a restricciones electromecánicas (motores y tornillo).

$$RM = \frac{P_T}{n_s} \quad (4)$$

Donde:

$n_s = 360 / \alpha$

$\alpha$  = cantidad de pasos por revolución

Pt = paso del tornillo (mm) [12]

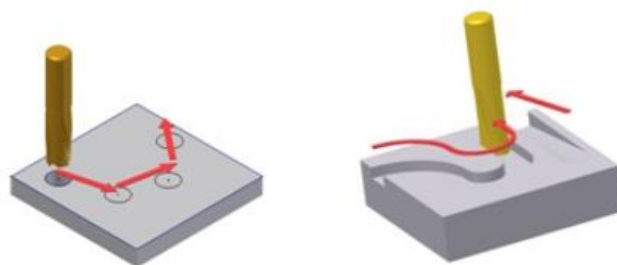
## 2.12 Modos de control de un sistema CNC

De acuerdo con el modo de control, los sistemas de CNC están clasificados en dos categorías básicas, control punto a punto y control interpol.

Control punto a punto. Permiten posicionamientos rápidos de la herramienta a lo largo de puntos programados en recorridos de velocidad rápida, es decir, sin cortar. La trayectoria recorrida no tiene importancia lo único que tiene relevancia es alcanzar con precisión y rapidez el punto en cuestión.

Control interpolar. Permite el gobiernan de la posición final y el movimiento en cada instante de los ejes en los cuales se realiza la interpolación. En estos equipos deberá existir una sincronización perfecta entre los ejes.

### Control punto a punto      Control interpolar



*Ilustración 12: Tipos de control.*

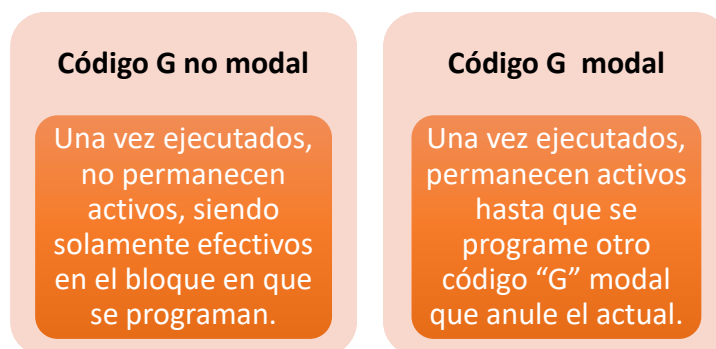
## 2.13 Código G y M

Para poder máquina una pieza empleando una CNC es necesario un código, el más empleado es el código G y M.

### 2.13.1 Código G

Las funciones preparatorias (Código G) consisten en una letra y un par de dígitos asociados a ésta y se encuentra generalmente al inicio del renglón (bloque) de código y prepara al controlador para aceptar o interpretar las instrucciones que le siguen. Las funciones preparatorias se relacionan con acciones directas con el corte en la máquina-herramienta.

Los códigos “G” están divididos en dos tipos principales, modal y no modal.



*Ilustración 13: Códigos G no modal y modal.*

Se explicarán los códigos G básicos y más empleados.

### Ejes

Una fresadora posee tres ejes principales: X, Y y Z y a su vez puede tener 3 ejes complementarios: A, B y C.

Eje Z: Realiza el movimiento perpendicular de la herramienta hacia el suelo.

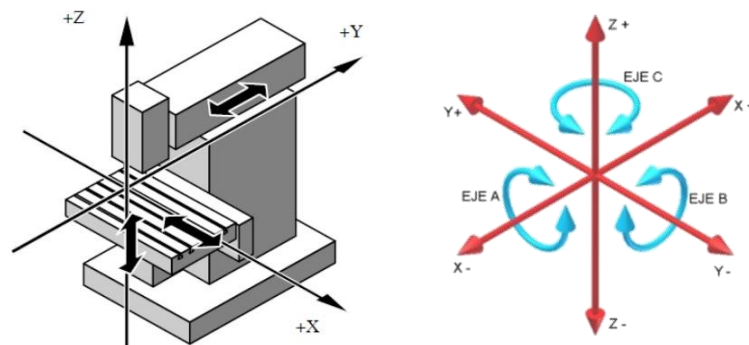
Eje Y: Realiza el movimiento transversal de la herramienta.

Eje X: Realiza el movimiento longitudinal de la herramienta.

Eje A: Giro a lo largo del eje X

Eje B: Giro a lo largo del eje Y

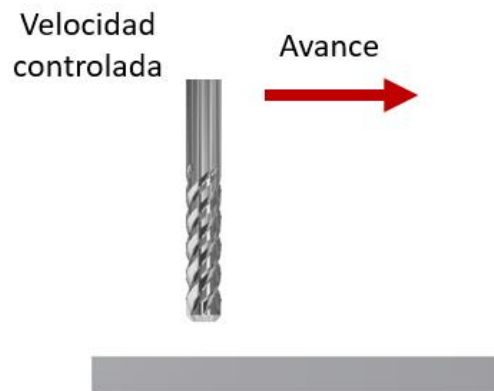
Eje C: Giro a lo largo del eje Z



*Ilustración 14: Ejes en una fresadora [13]*

### Interpolación rápida

Se dice que un movimiento libre de la herramienta sin que ésta tenga contacto alguno con la pieza es un movimiento en vacío, y si se desea que éste se ejecute a la máxima velocidad permisible por la máquina, entonces se codifica con la instrucción G00.

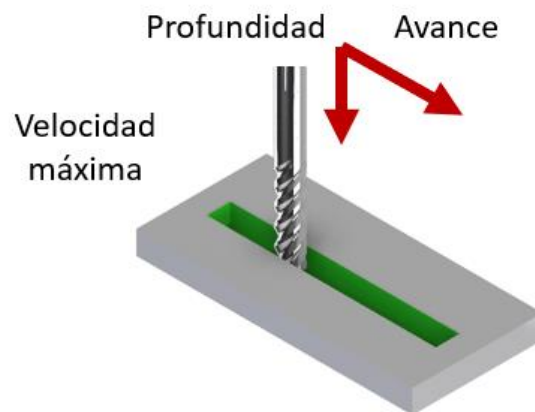


*Ilustración 15: Interpolación rápida con código G.*

### Interpolación lineal

Por otra parte, cuando la herramienta está en contacto con la pieza, se prefiere un movimiento con una velocidad de avance específica. Si el movimiento se realiza en línea recta, se codifica con la instrucción G01.

La instrucción G01 requiere la especificación del valor de avance, este se proporciona en unidades de distancia por tiempo, ya sea en mm/min o in/min.



*Ilustración 16: Interpolación lineal con código G.*

### Interpolación circular

Pero si el movimiento es circular, entonces se codifica con G02 (sentido horario) o con G03 (sentido antihorario) y se le llama interpolación circular.

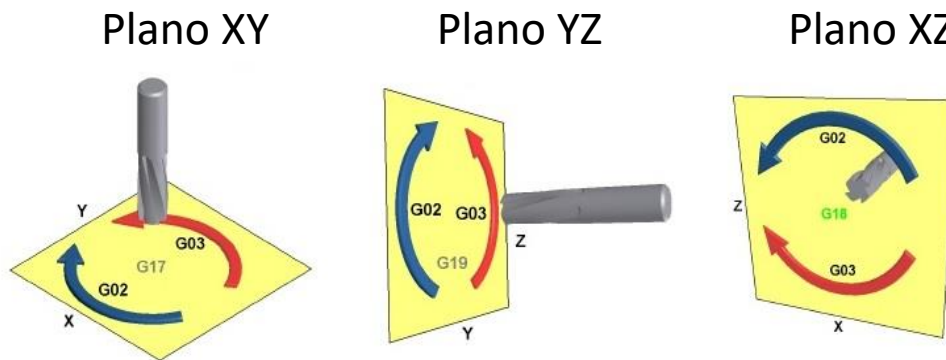


Ilustración 17: Interpolación circular con código G.

La interpolación circular se puede dar de dos formas: mediante el radio de la circunferencia o por el centro de esta.

Con información de radio	Con información del centro del radio
<b>G02 X__Y__R__</b>	<b>G02 X__Y__I__J__</b>

Ilustración 18: Bloque para el uso de la interpolación circular.

## Planos

Existen 3 planos diferentes de trabajo los cuales son representados por su respectivo código.

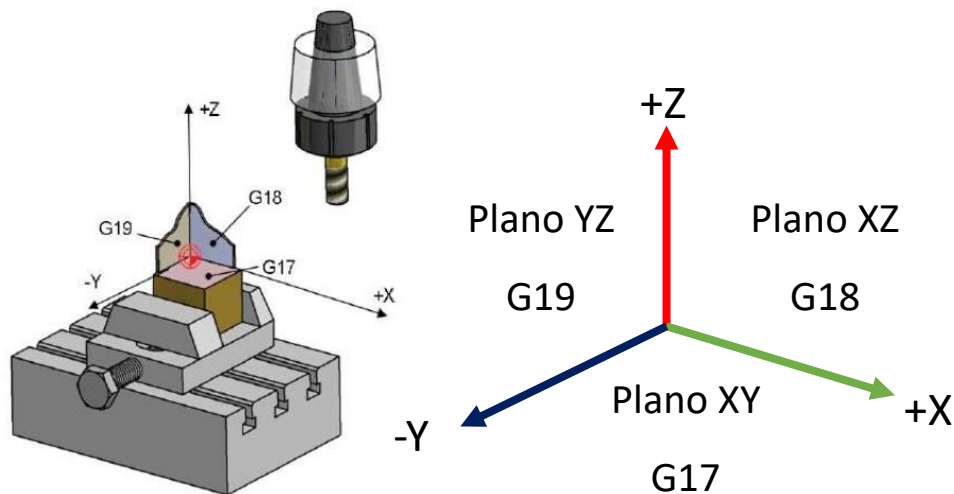
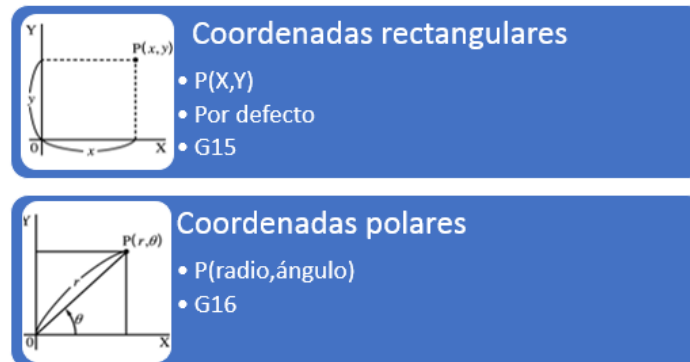


Ilustración 19: Selección de planos en una máquina CNC [14]

## Coordenadas

Las coordenadas a máquina pueden ser expresadas en sistema rectangular o en sistema polar.



*Ilustración 20: Selección del tipo de coordenadas.*

## Sistema de unidades

Las unidades que se pueden emplear para expresar las coordenadas son en pulgadas y milímetros.

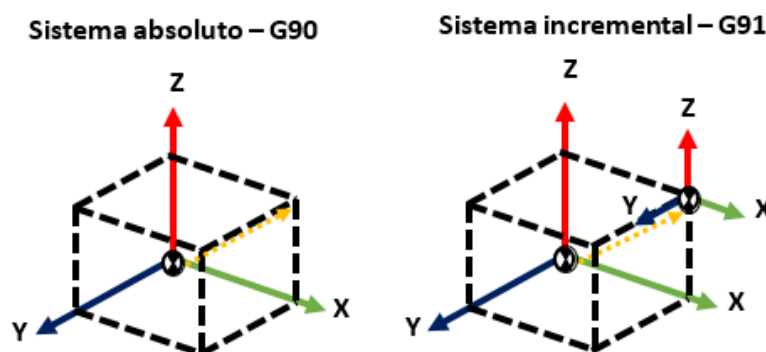


*Ilustración 21: Sistema de unidades empleados en código G.*

## Sistema de coordenadas

Sistema absoluto: el origen pieza siempre permanece en el mismo punto a lo largo de la programación. Se emplea G90.

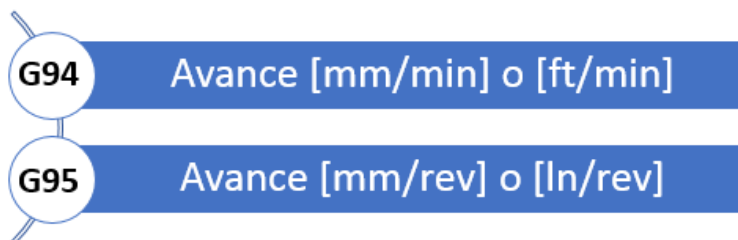
Sistema incremental: el origen pieza va cambiando a lo largo de la programación. Se usa G91.



*Ilustración 22: Sistema de coordenadas en el código G.*

## Velocidad de avance

El avance es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir la velocidad con la que progresa el corte.



*Ilustración 23: velocidad de avance - código G94 y G95.*

Este avance varía según el material a maquinar, a continuación, se muestran algunas velocidades de avance para diversos materiales.

Material	Velocidad de avance [mm/min]
Cobre y aluminio	80 – 120
Bronce	80
Acero dulce	60
Acero semiduro	30
Acero duro	25
Acero muy duro	20
Fundición gris	45
Acrílico	80
Madera	250

*Tabla 4: Velocidades de avance para diversos materiales [15]*



### Compensación del radio de la herramienta

La compensación, es un pequeño desplazamiento de la herramienta sobre la línea de corte, es decir, puedes cortar justo sobre la línea (**G40**), o bien a lado derecha de está (**G42**) o lado izquierdo (**G41**).

A estos tres comandos, no los acompaña ningún valor que le indique de cuánto será la compensación, sin embargo, la máquina debe tener la capacidad suficiente para reconocer el diámetro de la herramienta para así calcular cual será la compensación.

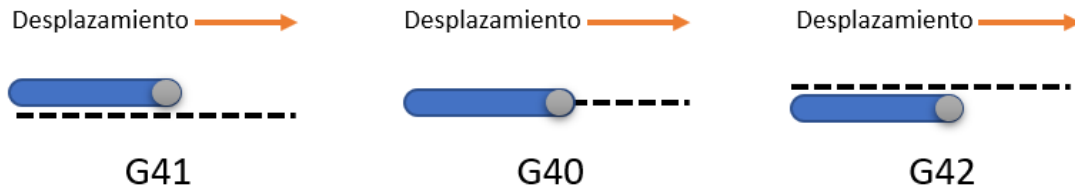


Ilustración 24: Compensación del radio de la herramienta en código G.

### Compensación de la longitud de la herramienta

El código de compensación de longitud se utiliza para ajustar las diferencias de longitud entre diferentes herramientas, sin preocuparse por esas diferencias en el programa de pieza.

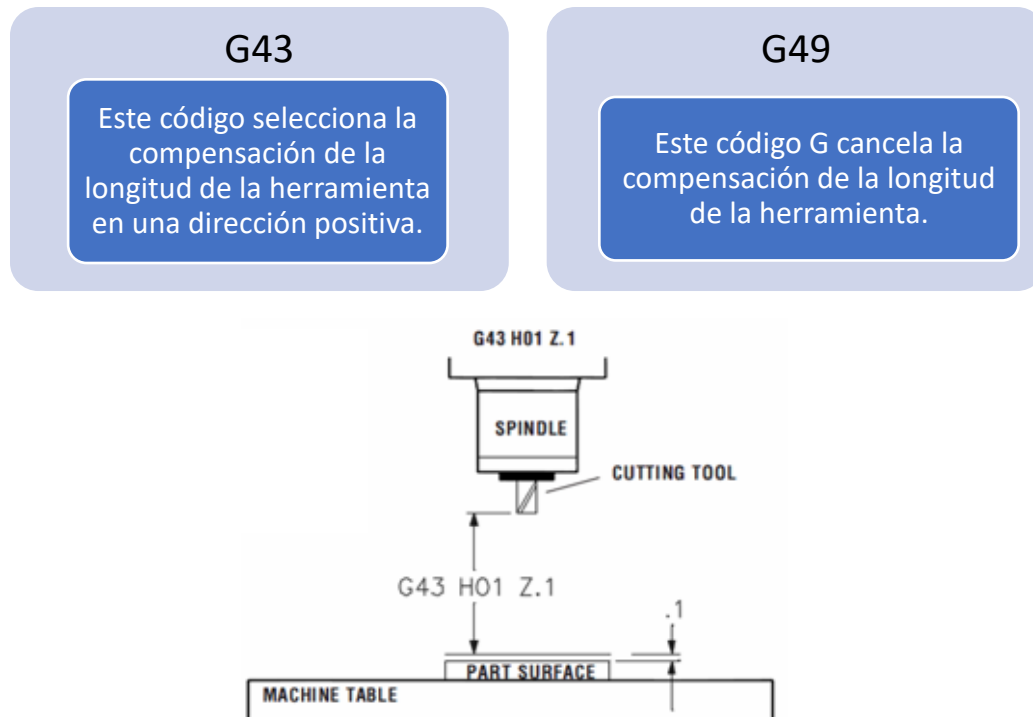


Ilustración 25: Compensación de longitud de la herramienta [16]

### 2.13.2 Códigos M

Las funciones misceláneas conocidas como código M se desempeñan tradicionalmente como un interruptor de encendido/apagado para actividades relacionadas al corte. Estas funciones son diferentes de máquina a máquina y cada fabricante puede hacer uso de ellas como mejor le convenga.

Funciones misceláneas que se requieren para el maquinado de piezas, pero no son de movimiento de la máquina.

M0 – Paro del programa

M01 – Paro opcional

M02 – Fin del programa

M03 – Giro del husillo en sentido horario

M04 – Giro del husillo en sentido antihorario

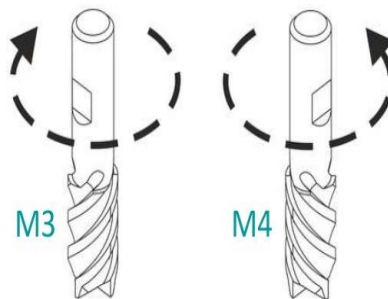
M05 – Paro del husillo

M06 – Cambio de herramienta

M08 – Activa el refrigerante

M09 – Apaga el refrigerante

M30 – Fin del programa y regreso al inicio



*Ilustración 26: Giro de la herramienta según el código G [14]*

### 2.14 Estructura de un programa

La estructura de un programa debe tener un nombre o un número de identificación.

Estos programas están constituidos por bloques sucesivos. Cada uno de estos es una instrucción para el control.

Los bloques deben estar enumerados, generalmente se usa una numeración creciente de 5 en 5 o de 10 en 10, de forma que se pueden introducir bloques intermedios sin modificar toda la numeración.

La estructura de un bloque se muestra a continuación:



Ilustración 27: Estructura de un bloque de programación en código G [17]

Dentro de cada bloque debe mantenerse el orden mostrado en la imagen. Sin embargo, no es necesario que estén presentes todos los elementos.

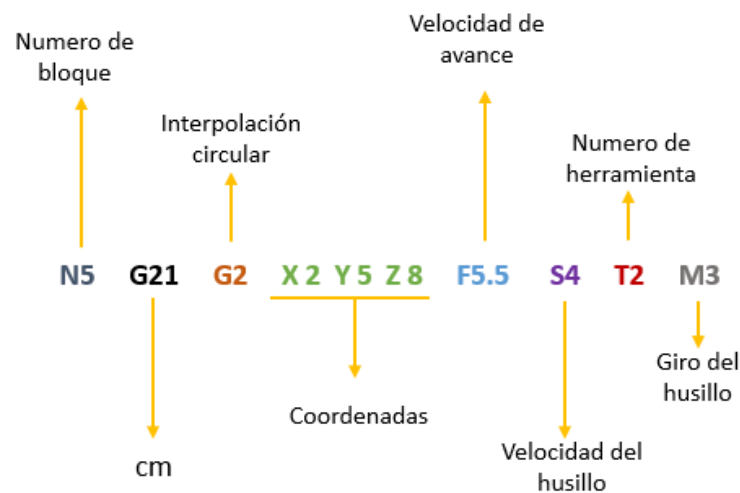


Ilustración 28: Ejemplo de un bloque en código G.

## Capítulo 3 DESARROLLO DEL PROYECTO

Para cumplir exitosamente con el proyecto se deben llevar a cabo diversas actividades las cuales serán abordadas individualmente.

### 3.1 Componentes electromecánicos empleados

La fresadora CNC estará compuesta por los diversos componentes seleccionados



#### 3.1.1 Tarjeta de control

Tarjeta de controlador de 5 ejes para el software Mach3, esta funciona para todas las versiones de software mach3, compatible con todas las versiones del sistema operativo Windows, y es fácil de usar.

Conexión mediante puerto paralelo.

Alimentación vía puerto USB.

Este elemento se selecciona según el número de ejes que se desea automatizar.

### 3.1.2 Driver TB6600

Son los elementos encargados de recibir las señales de la tarjeta, va directamente conectado a los motores y se debe usar uno por cada motor. El drive recibe las señales de la interfaz y envía la corriente necesaria para alimentar los motores, controlar la velocidad de movimiento y su dirección de giro.

El driver seleccionado cuenta con las siguientes características.

- CC tipo de entrada de alimentación: 12V - 48 V (Típico de 36 V)
- Corriente de salida: 0,6 - 4.5 A
- La tasa de pulso máxima es de 200 KHZ
- Dimensiones: 118mm X 87mm X 35mm
- Peso: 253 g
- Entorno de trabajo: temperatura de 15-50 grados, humedad <90%.

El controlador se selecciona según el motor a pasos que se usara.

### 3.1.3 Motor a pasos

Los motores son los encargados de mover los diferentes ejes de la máquina.

Las características del motor a pasos seleccionado son:

NEMA 17

- Paso Ángulo: 1,8 °
- Tasa: 3A
- Resistencia de fase: 0,8  $\Omega$
- Fase de inductancia: 2.4mH
- Par: 0.14 Nm
- Cable: 4 cables

El motor paso a paso es muy útil porque se puede posicionar con precisión sin ningún sensor de retroalimentación, por lo tanto, se puede representar como un controlador de circuito abierto.

Los motores de pasos son usados en variadas aplicaciones de automatización en las cuales son requeridas pequeñas cantidades de torque. Como aplicaciones típicas incluyen el control rotatorio de mesas y dispositivos de posicionamiento.

Pasos por revolución	Ángulo de paso (Grados)	Velocidad máxima (Pasos x seg)
400	.75	1000
200	1.8	2 000
96	3.75	1000
48	7.5	1000
24	15.0	600
20	18.0	500

*Tabla 5: Pasos por revolución de diversos motores [18]*

Por ejemplo, para un motor con un ángulo de paso de 1.8 grados por pulso, en 50 pulsos el rotor girará 90 grados.

En caso de que se desconocieran el paso por revolución o la velocidad de rotación del motor estas se pueden calcular como se muestra en las siguientes ecuaciones.

Paso angular

$$\alpha = \frac{360}{n_s} \quad (5)$$

Velocidad angular

$$\omega = \frac{2\pi f_p}{n_s} \left[ \frac{Rad}{s} \right] \quad (6)$$

Velocidad de rotación

$$N = \frac{60 f_p}{n_s} \left[ \frac{Rev}{min} \right] \quad (7)$$

Donde:

$f_p$  = pulso de frecuencia[Hz]

$n_s$  = número de pasos del motor [11]

Los motores de pasos pueden ser clasificados según el número de cables que este tenga.

- Bipolares – tiene 4 cables de salida.
- Unipolares - suelen tener 5 o 6 cables, dependiendo de su conexión interna de los cuales, 4 son empleados para recibir los pulsos y los restantes como alimentación.

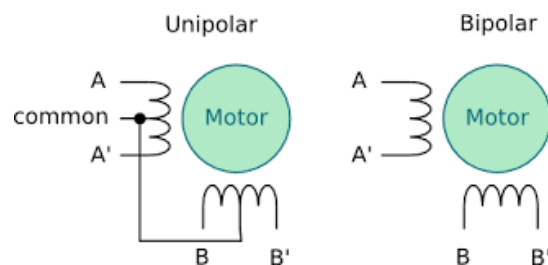


Ilustración 29: Tipo de motor según el número de cables que tenga.

Se debe tener en cuenta que la sobrecarga de los motores puede ocurrir por:

- Herramienta desafilada.
- Restricciones de movimiento al desplazarse.
- Cargas máximas durante aceleración y frenado.

### 3.1.3.1 Identificar las bobinas

Para identificar los cables que pertenecen a una misma bobina del motor se debe medir la continuidad entre los cables, para esta operación se empleara un multímetro.



Ilustración 30: Cables del motor

Los pasos por seguir fueron los siguientes.

- Se colocó el multímetro en el símbolo de diodo. Este símbolo parece un altavoz emitiendo sonido. (Se mostrará 1 cuando las puntas estén separadas, esto puede varias de un multímetro a otro).

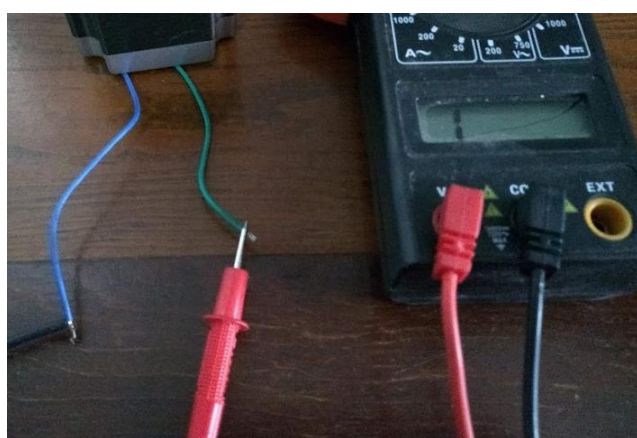


Ilustración 31: Medición de continuidad empleando un multímetro

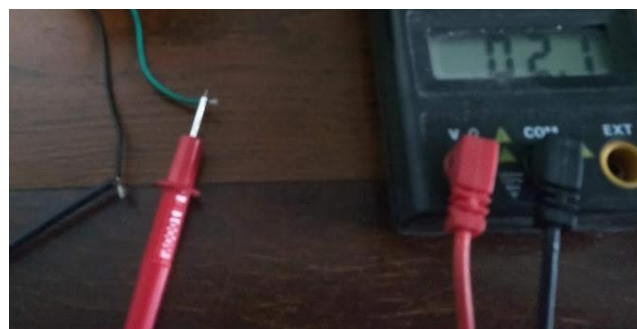
- Para saber si el multímetro puede medir la continuidad solo se debe hacer que las puntas se toquen entre ellas; al hacer esto, se deberá emitir un sonido, esto indica que será capaz de medir la continuidad.
- Se puso cada punta del multímetro en un cable, para saber que son de una misma bobina, el multímetro deberá emitir un sonido indicando que existe continuidad, a su vez el valor de “1” pasara a un valor distinto. En caso de que los 2 cables seleccionados no sean de la misma bobina, no se emitirá sonido y el valor de “1” permanecerá constante.



*Ilustración 32: Existe continuidad*



*Ilustración 33: No existe continuidad*



*Ilustración 34: Existe continuidad*



Las bobinas quedaron identificadas como se muestra a continuación:

<b>Bobina 1</b>	<b>Azul - Rojo</b>
<b>Bobina 2</b>	<b>Negro - Verde</b>



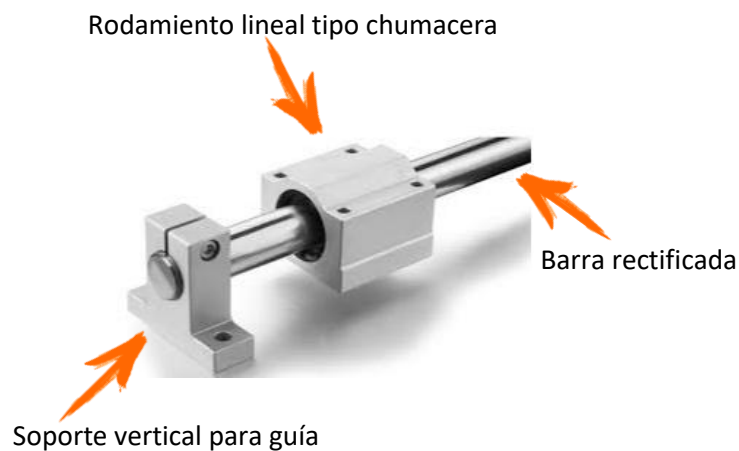
*Ilustración 35: Bobinas identificadas*

#### 3.1.4 Barra rectificada

Para este proyecto se seleccionó como sistema de desplazamiento barras rectificadas.

El sistema mediante barra rectificada requiere a su vez de rodamientos lineales tipo chumacera y soportes verticales para la guía.

El diámetro de la guía queda determinado mediante un análisis estructural.



*Ilustración 36: Sistema de desplazamiento.*

### 3.1.5 Tornillo trapezoidal y tuerca

Para el sistema de transmisión se seleccionó un tornillo trapezoidal y tuerca debido a que era una de las más económicas y a su vez genera resultados bastante aceptables.

El husillo se caracteriza por el número de entradas y por el paso de la rosa.

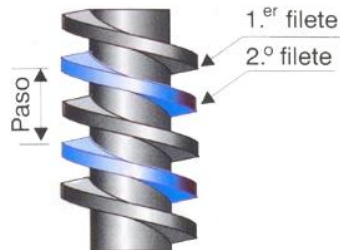


Ilustración 37: Tornillo trapezoidal de 2 hilos [19]

Por ejemplo:

Tornillo de 1mm de paso y una entrada al girar 1 revolución produce un avance de 1 mm.

Por otro lado, el mismo tornillo con 2 entradas generara un avance de 2 mm.

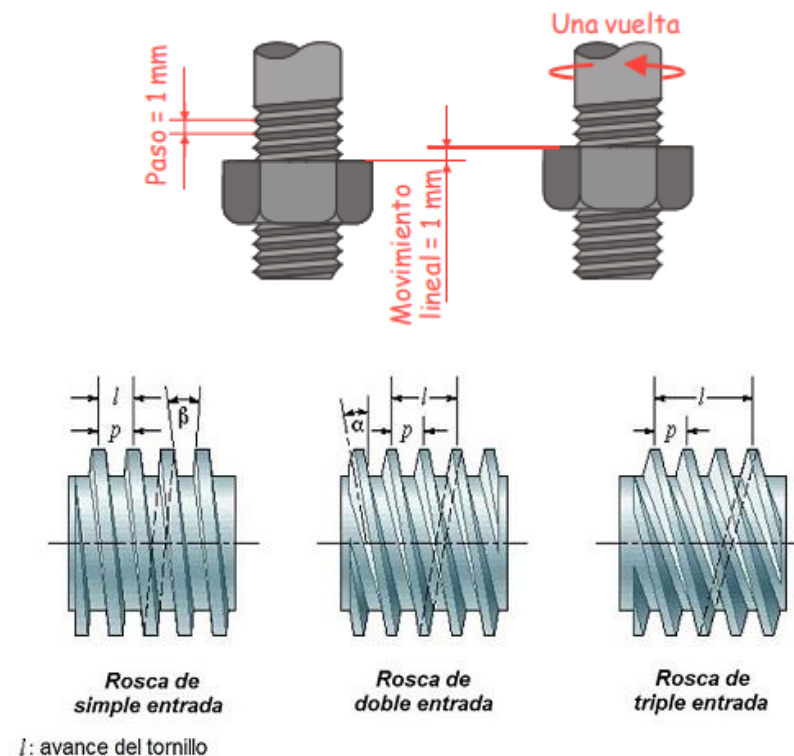


Ilustración 38: Avance del tornillo trapezoidal [19]

El avance del tornillo se puede determinar de la siguiente manera:

$$A = p * e \quad (8)$$

La velocidad de avance queda determinada por

$$V_a = \frac{p * e * n}{60} \quad (9)$$

El tiempo que tardara la tuerca en recorrer una distancia L se obtiene:

$$t = \frac{L}{v_a} \quad (10)$$

Donde:

$e$  = Entradas del tornillo

$p$  = paso de la rosca [mm]

$A$  = avance por cada giro completo del tornillo[mm]

$V_a$  = Velocidad de avance[mm/min]

$n$  = velocidad de giro [RPM]

$L$  = Distancia a recorrer[mm]

$t$  = Tiempo que tardará en recorrer la distancia[min] [19]

### 3.1.5.1 Estructura de los diversos ejes

La estructura de cada uno de los ejes será a base de un motor a pasos conectado directamente a un tornillo trapezoidal y tuercas.

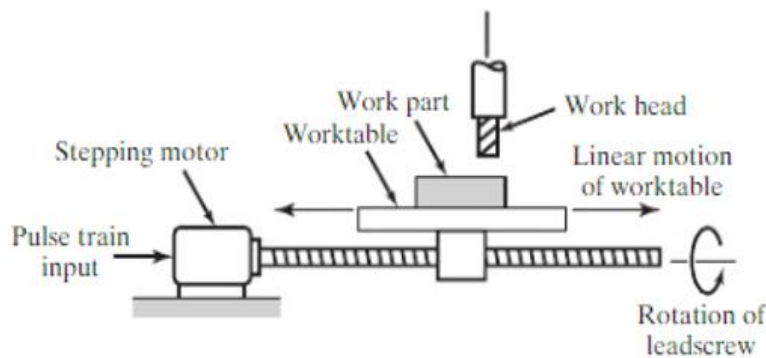


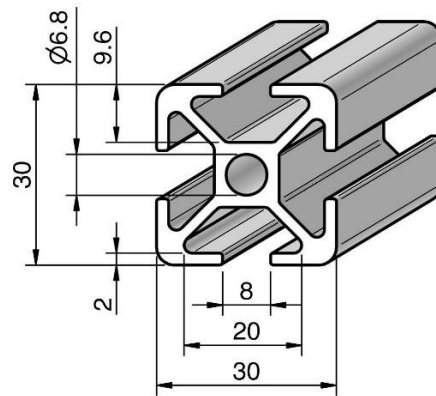
Ilustración 39: Sistema motor-tornillo-tuerca [11]

### 3.1.6 Perfil de aluminio

Perfil de aluminio de extrusión, forman una solución perfecta para el formado de diversas estructuras sin requerir soldadura, lo cual genera una disminución de tiempo.

Son fuertes y ligeros.

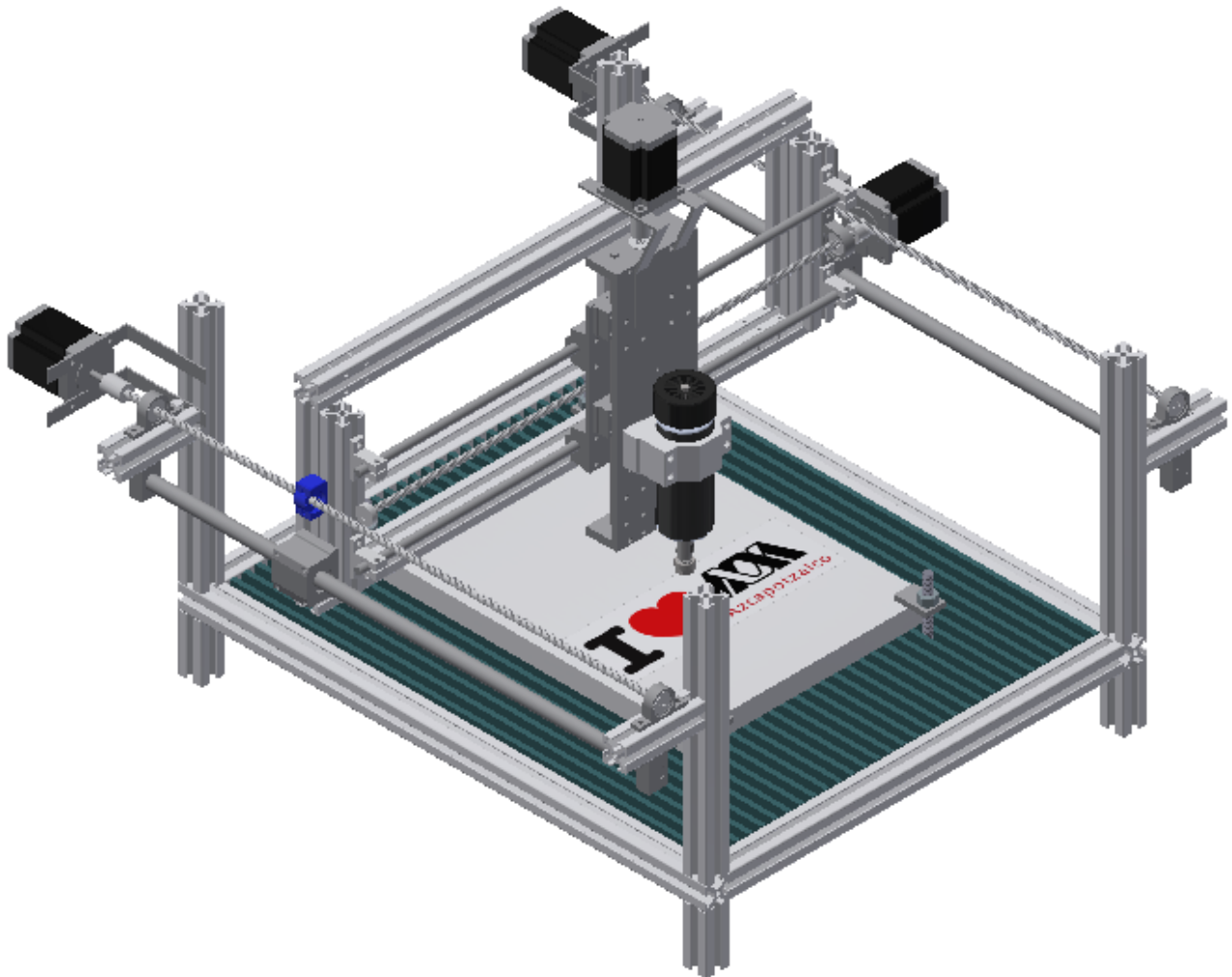
Peso por metro: 0.8 kg



*Ilustración 40: Perfil de aluminio 3030*

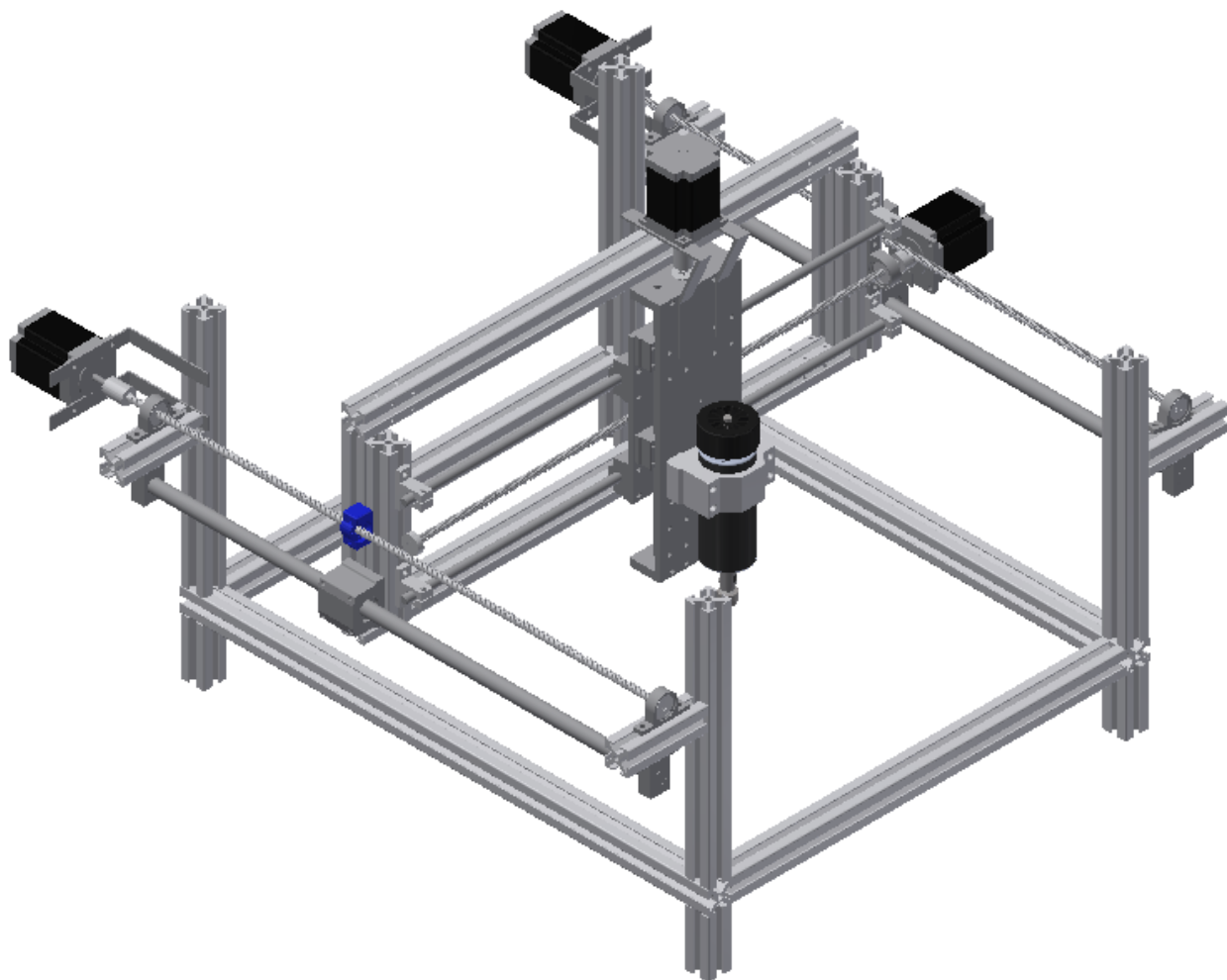
### 3.2 Diseño de los componentes de la fresadora

La estructura de la fresadora se muestra a continuación:



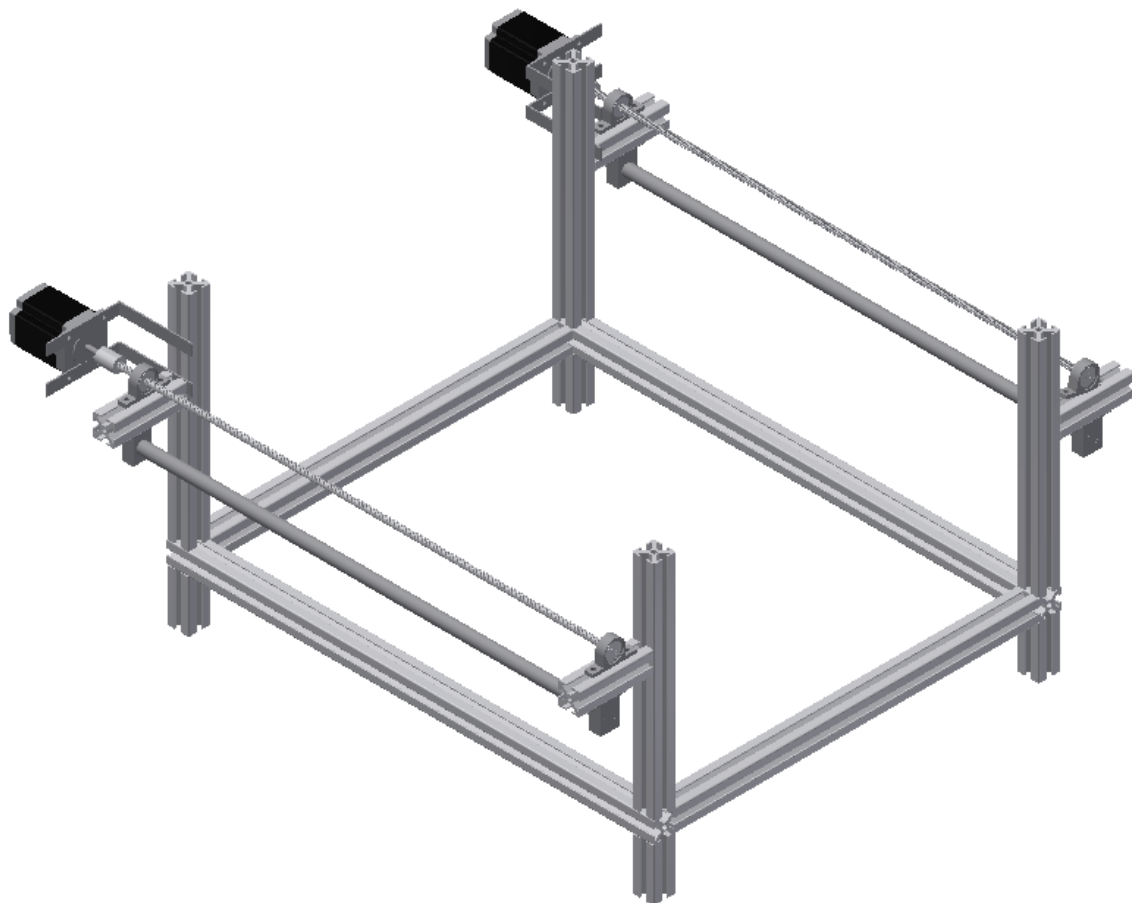
*Ilustración 41: Ensamble completo de la fresadora CNC.*

Se muestra la estructura de la fresadora CNC sin la mesa para la mejor visualización de los componentes.



*Ilustración 42: Ensamble de la fresadora CNC sin la mesa.*

Elementos que conforman el eje Y



*Ilustración 43: Eje Y de la fresadora CNC.*

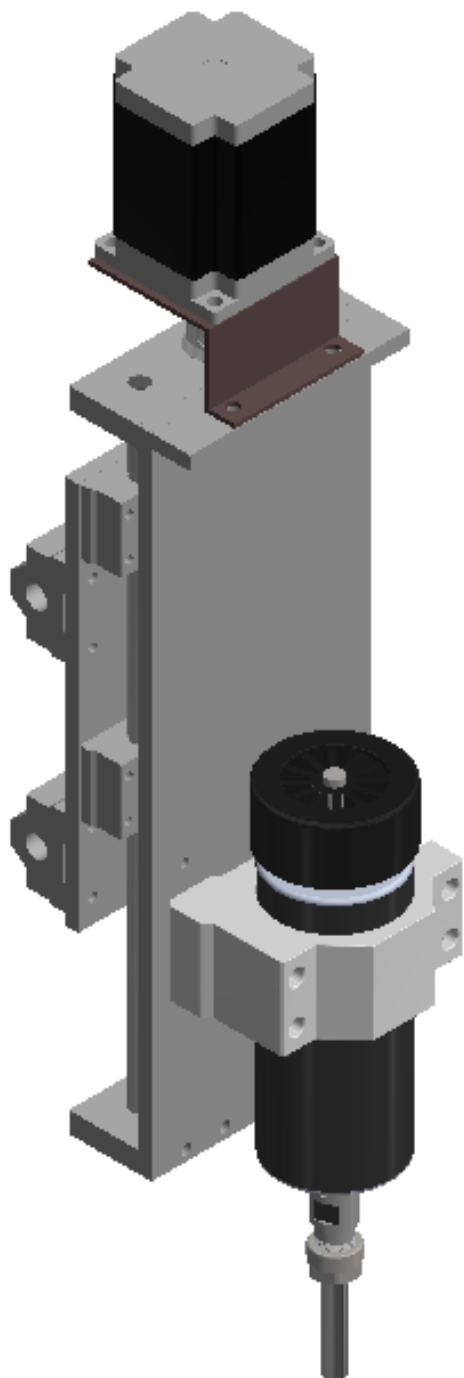
Elementos que conforman el eje X



*Ilustración 44: Eje X de la fresadora CNC.*



Elementos que conforman el eje Z



*Ilustración 45: Eje Z de la fresadora CNC.*

Los planos de definición de todos los componentes que forman la estructura, sin contar los elementos que son comerciales, se incluyen en el Anexo 3.

### 3.2.1 Análisis de la estructura

Para el análisis de la estructura se realizó el cálculo de la fuerza de corte en base al libro “Engineering Formulas for Metalcutting”.

Velocidad angular ( $n$ ) [rpm]

$$n = \frac{1000V_c}{\pi D} \quad (11)$$

Donde:

$V_c$ : Velocidad de corte [m/min] (velocidad de corte es un dato que depende el tipo de material o el fabricante de la herramienta de corte)

$D$ : Diámetro [mm]

$n$ : Revoluciones por minuto de giro de la herramienta de corte [rpm]

Avance por diente ( $f_z$ ) [mm/filo]

$$f_z = \frac{f}{Zn} \quad (12)$$

Donde:

$f_z$ : Avance por filo [mm/filo]

$n$ : Revoluciones por minuto de giro de la herramienta de corte [rpm]

$Z$ : Numero de filos de la fresa [Adimensional]

$f$ : Velocidad de avance [mm/min]

Taza de removimiento de material ( $Q$ ) [cm<sup>3</sup>/min]

$$Q = dwf \quad (13)$$

Donde:

$w$  : Ancho de corte (Diámetro de la herramienta) [mm]

$d$  : Profundidad de corte [mm]

$f$  : Velocidad de avance[mm/min]

Sección transversal del filo del cortador ( $A$ ) [mm]

$$A = f_z d \quad (14)$$

Donde:

$f_z$ : Avance por filo [mm/filo]

$d$  : Profundidad de corte [mm]

Fuerza tangencial de corte ( $F_t$ ) [N]

$$F_t = \sigma A Z_c C_m C_w \quad (15)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo ultimo a la tensión [N/mm<sup>2</sup>]

$A$ : Sección transversal del filo del cortador [mm<sup>2</sup>]

$Z_c$ : Numero de filos de la fresa [Adimensional]

$C_m$ : Factor de maquinabilidad [Adimensional] (Valores que se obtienen de tablas del anexo 1)

$C_w$ : Factor de herramienta [Adimensional] (Valores que se obtienen de tablas del anexo 1)

Torque en el cortador ( $T_c$ ) [Nm]

$$T_c = \frac{F_t D}{2 * 1000} \quad (16)$$

Donde:

$F_t$ : Fuerza tangencial de corte [N]

$D$ : Diámetro [mm]

Potencia en el cortador ( $P_c$ ) [kW]

$$P_c = \frac{F_t V_c}{6000} \quad (17)$$

Donde:

$F_t$ : Fuerza tangencial de corte [N]

$D$ : Diámetro [mm]

Potencia en el cortador ( $P_c$ ) [kW]

$$P_m = \frac{P_c}{E} \quad (18)$$

Donde:

$F_t$ : Potencia en el cortador [kW]

$D$ : Eficiencia [Adimensional] (este dato se obtiene de tabla en el anexo 1)

[20]

Los datos empleados fueron:

#### Datos empleados

<b>Diámetro de la fresa(D)</b>	6 mm
<b>Número de filos de la fresa(Z)</b>	4 filos
<b>Ancho de corte(w)</b>	6 mm
<b>Profundidad de corte(d)</b>	3 mm
<b>Factor de maquinabilidad (<math>c_m</math>)</b>	0.7
<b>Factor de herramienta (<math>c_w</math>)</b>	1.2
<b>Factor de eficiencia mecánica(E)</b>	0.94

Tabla 6: Datos empleados para el cálculo de la fuerza de corte.

Se tienen los parámetros de corte, así como sus respectivos esfuerzos de los materiales que se maquinarán.

#### Materiales para maquinar

Acrílico	
<b>Velocidad de corte (<math>V_c</math>)</b>	30-50 m/min
<b>Velocidad de avance (f)</b>	80 mm/min
<b>Esfuerzo ultimo a tensión(<math>\sigma</math>)</b>	62-83 N/mm <sup>2</sup>
Madera - Pino	
<b>Velocidad de corte (<math>V_c</math>)</b>	40-70 m/min
<b>Velocidad de avance (f)</b>	100-400 mm/min
<b>Esfuerzo ultimo a tensión(<math>\sigma</math>)</b>	40 N/mm <sup>2</sup>

Tabla 7: Parámetros de corte para la madera y el acrílico.

Los resultados obtenidos mediante las fórmulas anteriores se muestran en la tabla siguiente:

Resultados (Acrílico)	
<b>Velocidad angular (<math>n</math>)</b>	2653 rpm
<b>Avance por diente (<math>f_z</math>)</b>	0.0075 mm/filo
<b>Taza de removimiento de material (Q)</b>	1440 cm <sup>3</sup> /min
<b>Sección transversal del filo del cortador (A)</b>	0.023 mm
<b>Fuerza tangencial de corte (<math>F_t</math>)</b>	6.4 N
<b>Torque en el cortador (<math>T_c</math>)</b>	0.019 Nm
<b>Potencia en el cortador (<math>P_c</math>)</b>	0.0052 kW (5.2 W)
<b>Potencia del motor (<math>P_m</math>)</b>	0.0056 kW (5.6 W)

Tabla 8: Fuerza de corte obtenida para el acrílico.

Resultados (Madera)	
Velocidad angular ( $n$ )	3714 rpm
Avance por diente ( $f_z$ )	0.013 mm/filo
Taza de removimiento de material (Q)	3600 cm <sup>3</sup> /min
Sección transversal del filo del cortador (A)	0.04 mm
Fuerza tangencial de corte ( $F_t$ )	5.43 N
Torque en el cortador ( $T_c$ )	0.016 Nm
Potencia en el cortador ( $P_c$ )	0.0063 kW (6.3 W)
Potencia del motor ( $P_m$ )	0.0067 kW (6.7 W)

Tabla 9: Fuerza de corte obtenida para la madera.

Una vez obtenida la fuerza de corte se procedió a proponer:

Fuerza de corte en la fresa	
Eje X	$F_t=6.4$ N (100% $F_t$ )
Eje Y	$F_t=6.4$ N (100% $F_t$ )
Eje Z	$F_t=4.48$ N (70% $F_t$ )

Tabla 10: Fuerzas de corte para cada eje.

Se propuso un factor de seguridad (FS)

$$FS = 2$$

Por lo tanto:

Fuerza de corte en la fresa con FS =2	
Eje X	$F_t=12.8$ N (100% $F_t$ )
Eje Y	$F_t=12.8$ N (100% $F_t$ )
Eje Z	$F_t=8.96$ N (70% $F_t$ )

Tabla 11: Fuerzas de corte con sus respectivos factores de seguridad.

Posteriormente se procederá a meter la estructura y las fuerzas en el software como se muestra a continuación:

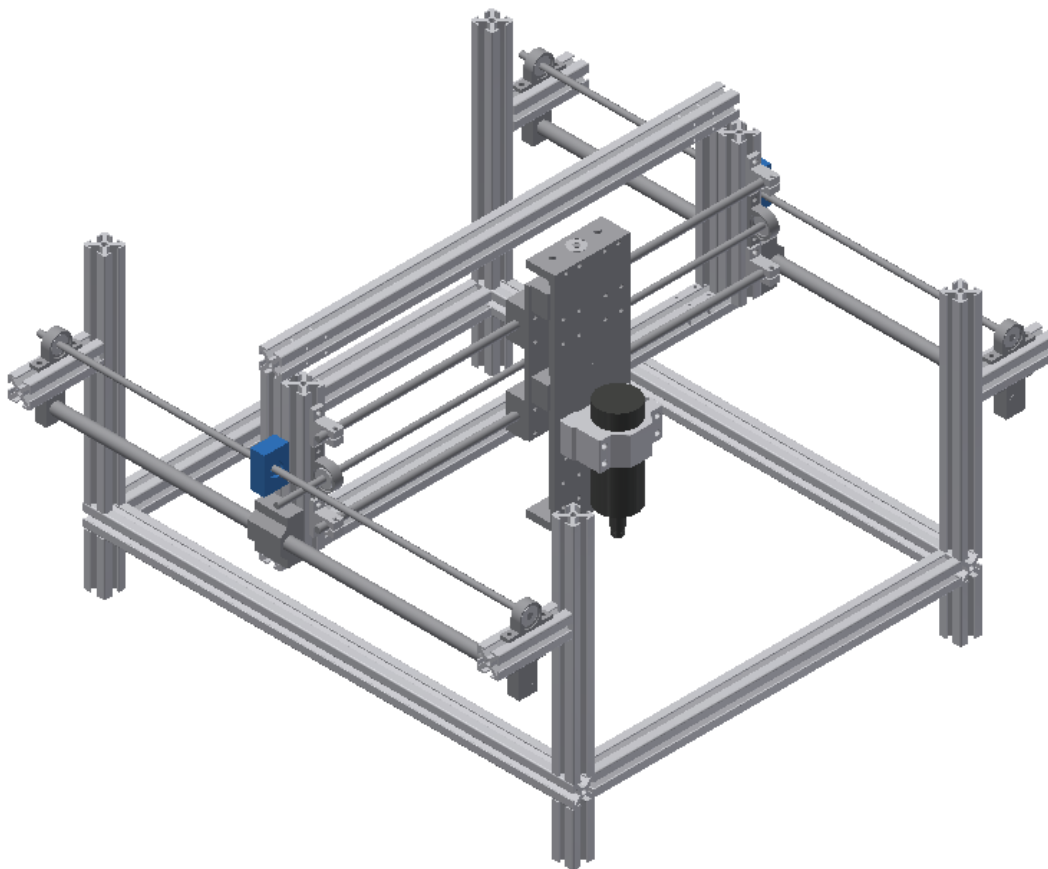


Ilustración 46: Simplificación de la estructura para el análisis.

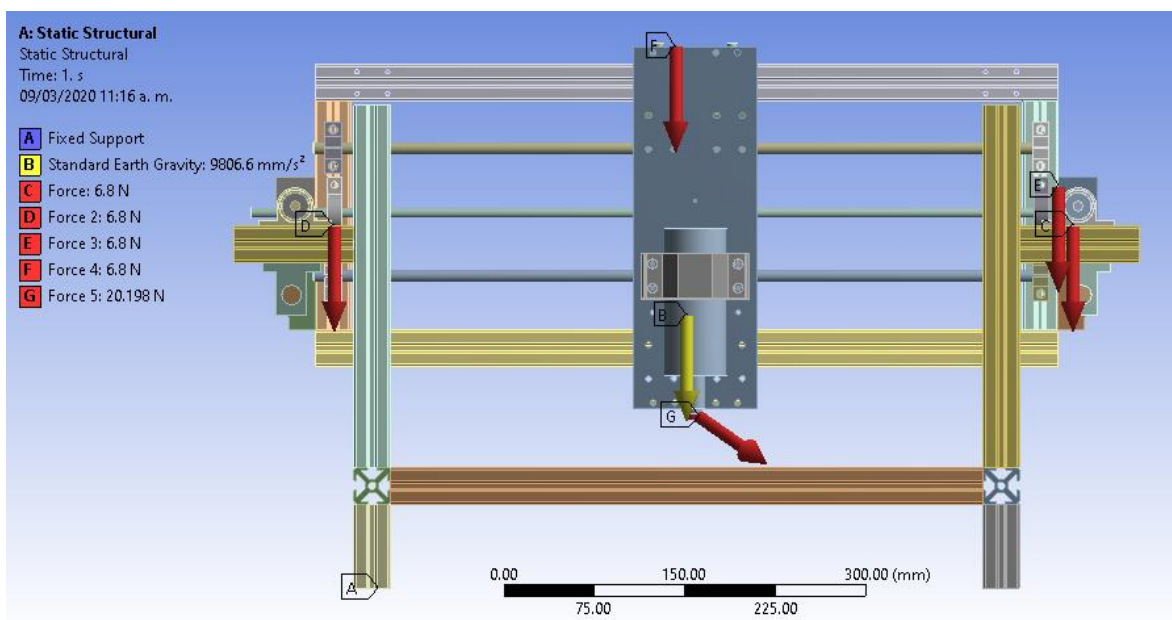


Ilustración 47: Fuerzas y restricciones empleadas para el análisis estructural.

Donde:

Fuerza F – Peso del motor en el eje Z.

Fuerza E – Peso del motor en el eje X.

Fuerza C – Peso del motor en el eje Y.

Fuerza C – Peso del motor en el eje Y.

Fuerza G – Fuerza de corte.

Fuerza C – Gravedad.

A – Soportes fijos en cada una de las patas de estructura.

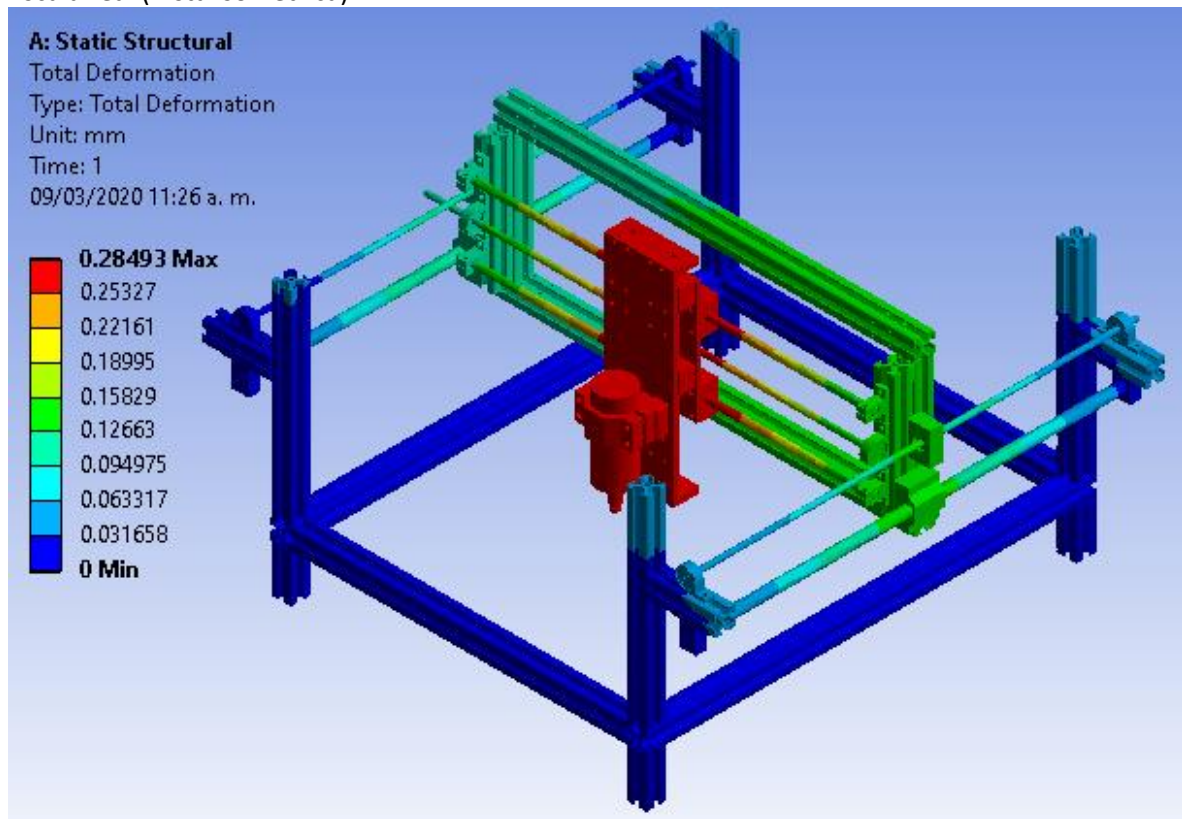
El resultado de la simulación se muestra en las siguientes imágenes:

Se puede observar que de lado izquierdo se encuentra la paleta de colores respectiva para la deformación total, donde el color rojo es la deformación máxima, mientras que el azul marino es la deformación mínima.

Se nota que la deformación máxima de 0.28493 mm es en las barras del eje X y por lo tanto afecta a todo el eje Z, como recomendación para futuros trabajos es conveniente aumentar el diámetro de dichas barras (Diámetro > 10 mm).

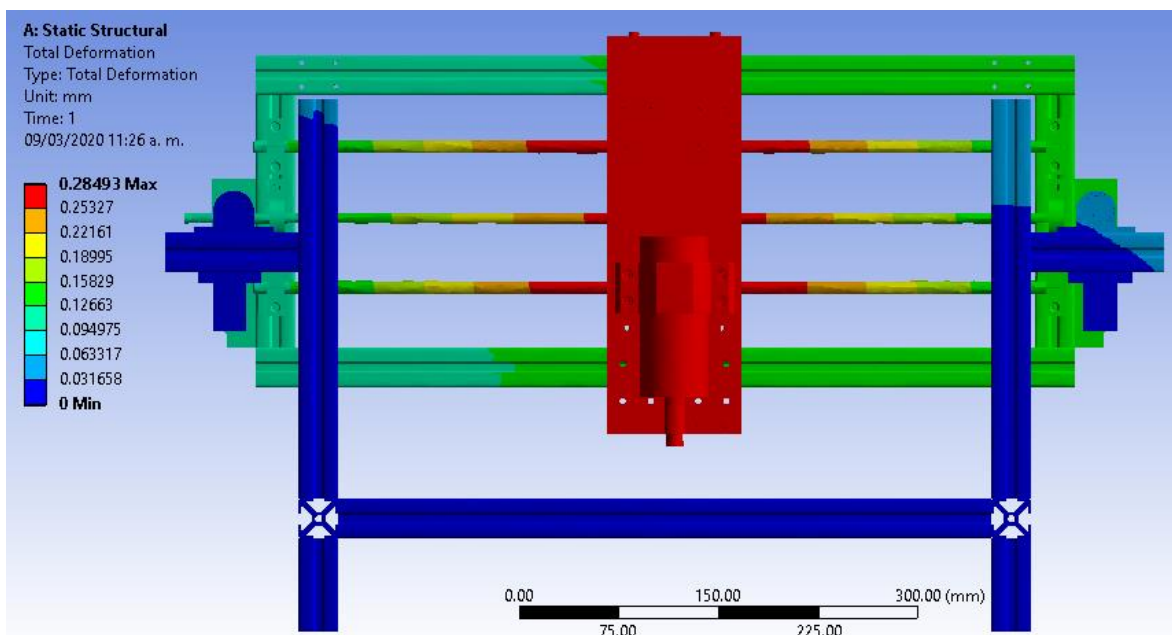
A continuación, se muestran los resultados en 2 escalas diferentes, la primera es la escala real y la segunda es escala 2X, donde es posible visualizar cuales son los elementos que se están deformando.

Escala real (Vista isométrica)



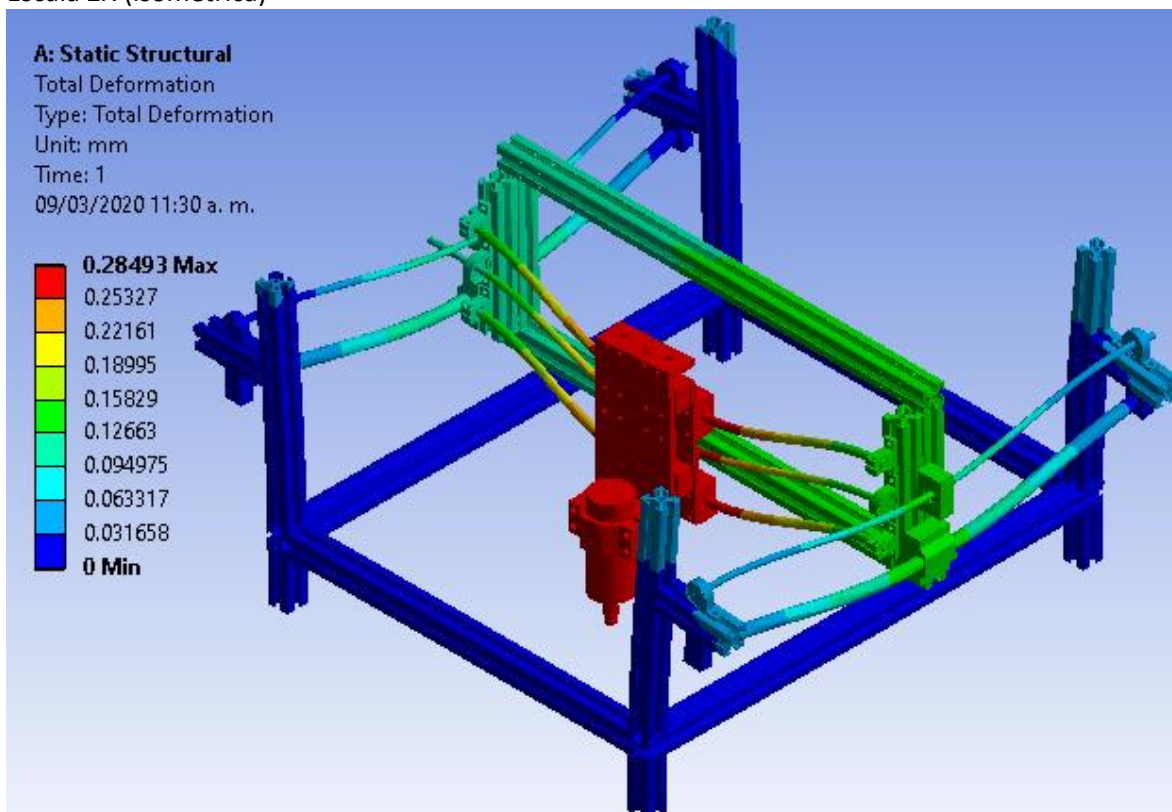
*Ilustración 48: Deformación total escala real – vista isométrica.*

## Escala real (Frontal)



*Ilustración 49: Deformación total escala real – vista frontal.*

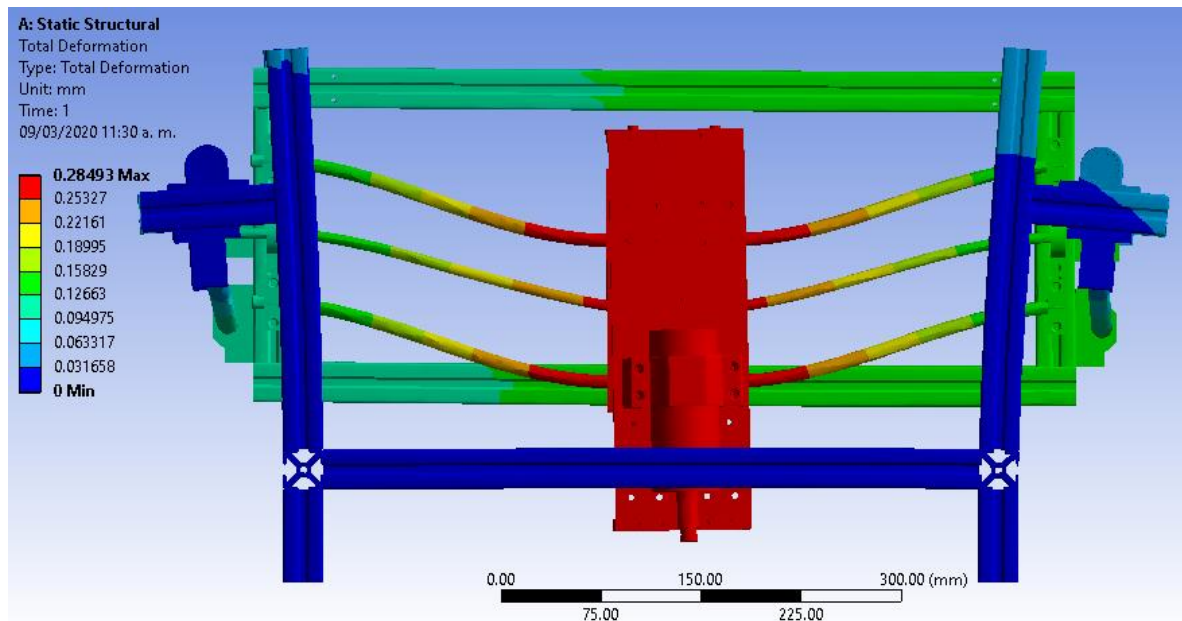
## Escala 2X (Isométrica)



*Ilustración 50: Deformación total escala 2X – vista isométrica.*



## Escala 2X (Frontal)



*Ilustración 51: Deformación total escala 2X – vista frontal.*

### 3.2.2 Análisis de los motores

El análisis para el motor del eje Y es necesario debido a que este es el que carga todo el peso de los ejes Z y X, por lo tanto, requiere de un mayor torque que los demás ejes.

Se emplearon los libros “Electrical Feed Drivers For Machine Tool” y “MANUFACTURING AUTOMATION, METAL CUTTING MECHANICS, MACHINE TOOL VIBRATIONS, AND CNC DESIGN”.

Se emplea la siguiente fórmula para obtener el torque del motor ( $M_L$ )

$$M_L = \sum M_R + M_v \quad (19)$$

Donde:

$M_R$ = Sumatoria de los torques por fricción y perdidas.

$M_v$ = Torque de la fuerza de corte

Para obtener la sumatoria de los torques por fricción y pérdidas se emplea la siguiente formula:

$$\sum M_R = \frac{M_{RF}}{\eta_{SM}} + M_{RSL} \quad (20)$$

Donde:

$M_{RF}$ = Fricción en las guías

$M_{RSL}$ =Perdidas por fricción en las chumaceras

$\eta_{RSL}$ = Eficiencia de la tuerca y husillo (Para tornillo trapezoidal  $\eta_{RSL}$ = 0.5 – 0.6)

Para obtener la fricción en las guías ( $M_{RF}$ ):

$$M_{RF} = \mu_{F(V)} * \frac{h_{sp}}{2\pi} [(m_w + m_T) * g + F_{VT}] \quad (21)$$

Donde:

$\mu_{F(V)}$  = Coeficiente de fricción de la corredera (valores típicos  $\mu_{F(V)} = 0.05 - 0.1$ )

$h_{sp}$  = Paso del husillo [m]

$m_w$  = Peso del material a maquinar [N]

$m_T$  = Peso de los componentes que soporta el eje [N]

$F_{VT}$  = Componente perpendicular de la fuerza de corte [N] (0.15% de  $F_{VL}$ )

$g$  = Gravedad [9.81 m/s]

Para obtener las pérdidas por fricción en las chumaceras:

$$M_{RSL} = \mu_{SL(V)} * \frac{1}{2} d_{mL} * F_{aVL} \quad (22)$$

Donde:

$\mu_{SL(V)}$  = Coeficiente de fricción de las chumaceras (Valor para un rodamiento rígido  $\mu_{SL(V)} = 0.0015$ )

$d_{mL}$  = Diámetro de la chumacera [m]

$F_{aVL}$  = Fuerza axial en chumacera [N] [21,22]

Parámetros empleados para el cálculo del torque del motor:

$\eta_{sm}$	0.6	Adimensional
$\mu_F(v)$	0.05	Adimensional
$m_w$	2	Kg
$m_T$	8.32	Kg
$g$	9.81	m/s
$F_{VT}$	6.4	N
$h_{sp}$	0.008	Adimensional
$\mu_{SL}(v)$	0.0015	Adimensional
$F_{aVL}$	12	N
$d_{ML}$	0.008	m
$F_{VL}$	12	N

Tabla 12: Parámetros empleados para el cálculo del torque del motor.

Cálculo de  $m_T$

Es necesario obtener todo el peso que carga el eje Y, por lo tanto, se deben tener en claro todos los elementos y el peso unitario de cada uno.

Partes	Peso [kg]	QTY		peso total [Kg]
Perfil	0.9	2.12	m	1.908
Camisa	0.0167	4	piezas	0.0668
Tuerca	0.012	4	piezas	0.048
Soporte vertical	0.026	8	piezas	0.208
Chumacera	0.033	2	piezas	0.066
Cople flexible	0.016	2	piezas	0.032
Tornillo trapezoidal 8 mm	0.4	1	m	0.4
Rodamiento simple 8 mm	0.047	4	piezas	0.188
Rodamiento doble 8 mm	0.094	4	piezas	0.376
Rodamiento 10 mm	0.1	4	piezas	0.4
Husillo	0.919	1	pieza	0.919
Motor	0.67	2	piezas	1.34
Guía 8 mm - 300 mm	0.1	2	piezas	0.2
Soporte del motor	0.1	2	piezas	0.2
Soporte del husillo	0.316	1	pieza	0.316
Guía 10 mm -610 mm	0.427	2	piezas	0.854
Placa	0.5	1	pieza	0.5
Placa	0.3	1	Pieza	0.3
Peso total				8.32

Tabla 13: Peso de los elementos que carga el eje Y.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla

$M_L$	0.03646959	Nm
$\sum M_R$	0.011	Nm
$M_v$	0.02546479	Nm
$M_{RF}$	0.0065597	Nm
$M_{RSL}$	0.000072	Nm

Tabla 14: Resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones.

Por lo tanto, el torque que requiere el motor del eje Y es:

$$M_L = 0.03646959 \text{ Nm}$$

Debido a que el motor del eje Y es el que carga más componentes se tomará que el motor del eje X tendrá el mismo torque.

Torques para los motores	
Eje Z	0.019 Nm
Eje Y	0.036 Nm
Eje X	0.036 Nm

Tabla 15: Torques necesarios para el motor de cada eje.

Motores preseleccionados

NEMA 17	0.14 Nm
NEMA 23	1.2 Nm

Tabla 16: Torques de los motores preseleccionados.

Motor seleccionado

NEMA 17	0.14 Nm
---------	---------

Tabla 17: Motor seleccionado.

### 3.3 Manufactura y ensamble de la estructura de la fresadora

En esta etapa se requiere una alta precisión y paciencia debido a que son muchos detalles lo que se deben tomar en cuenta, las dimensiones deben ser las correctas cuando se están manufacturando las piezas, ya que, si un rodamiento lineal no está correctamente alineado no permitirá el libre movimiento de los diversos ejes, a su vez esto puede generar que los componentes no se puedan ensamblar.

Todo el proceso de manufactura se llevó a cabo como se muestran en los planos de definición en el anexo 3.

A continuación, se muestran algunas fotos de esta etapa.



*Ilustración 52: Perfiles empleados para la estructura.*



*Ilustración 53: Generación de cuerda en los extremos de los perfiles.*

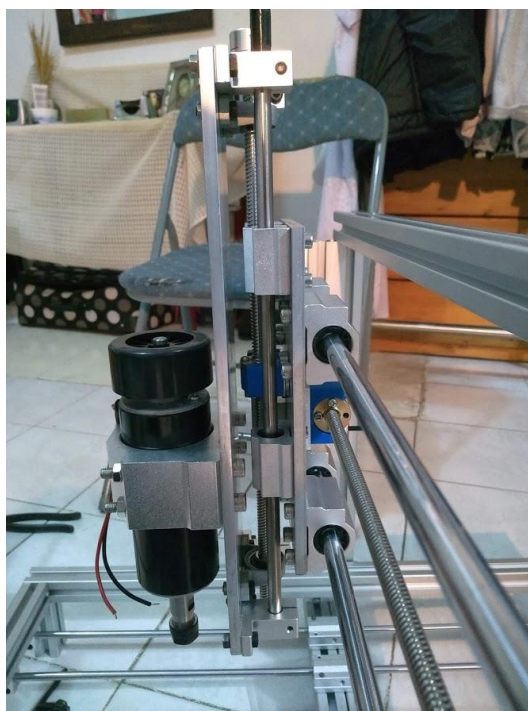


*Ilustración 54: Ensamble del eje Y.*



*Ilustración 55: Ensamble del eje X.*





*Ilustración 56: Ensamble del eje Z.*



*Ilustración 57: Ensamble de los motores a pasos.*



*Ilustración 58: Ensamble de los soportes verticales.*



*Ilustración 59: Tuerca económica para el ensamble de componentes.*



*Ilustración 60: Tuerca y tornillo para el ensamble de componentes.*





*Ilustración 61: Pata niveladora.*



*Ilustración 62: Ensamble de la mesa.*

### 3.4 Conexión y configuración del sistema de control

Esta sección se enfocará en mostrar la forma correcta de conectar todos los componentes electrónicos, así como la configuración del software Mach3 para el correcto funcionamiento de la CNC.

### 3.5 Diagramas de conexión

A continuación, se muestran lo que significan las abreviaturas y símbolos que se encuentran en los diversos componentes.

### 1. Entrada de señal

PUL +: entrada de señal de pulso +

PUL -: entrada de señal de pulso-

DIR +: control delantero/reverso del motor +

DIR -: control delantero/reverso del motor-

EN +: control fuera de línea del motor +

Es -: control de motor fuera de línea-

### 2. Conexión de bobinado del Motor

A +: conectar los parabrisas del motor A + fase

R -: conectar el viento del motor A-fase

B +: conectar el viento del motor B + fase

B -: conectar los parabrisas del motor Fase B

### 3. Conexión de voltaje de alimentación

VCC: fuente de alimentación +

GND: fuente de alimentación-

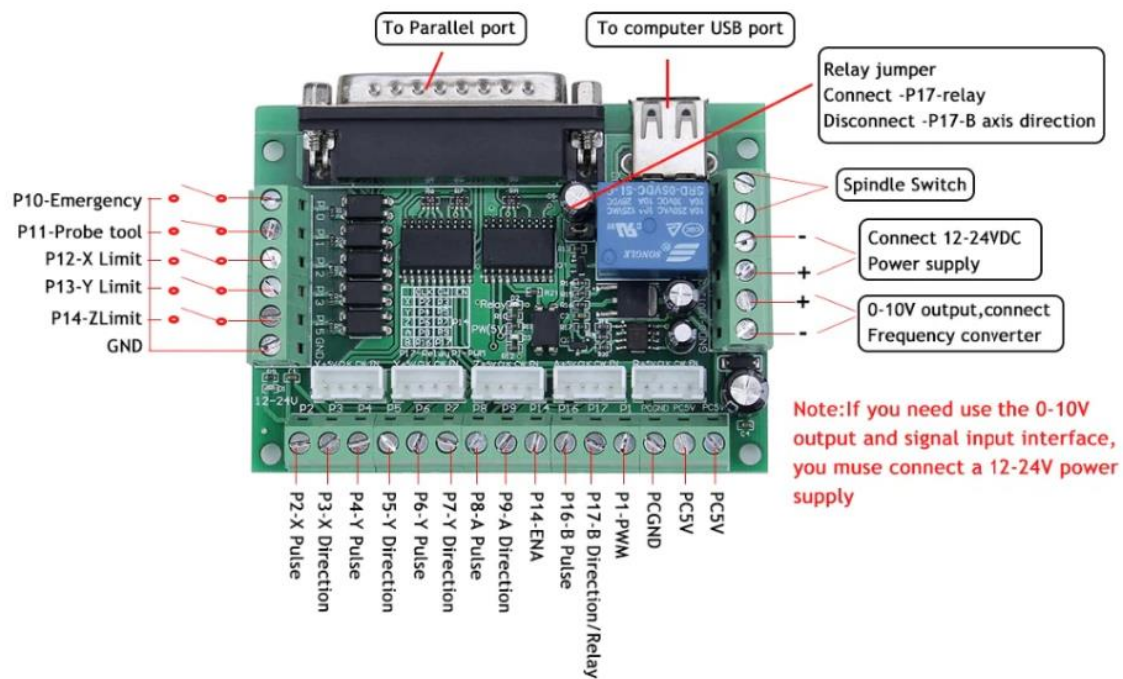


Ilustración 63: Esquema de conexión para la tarjeta.

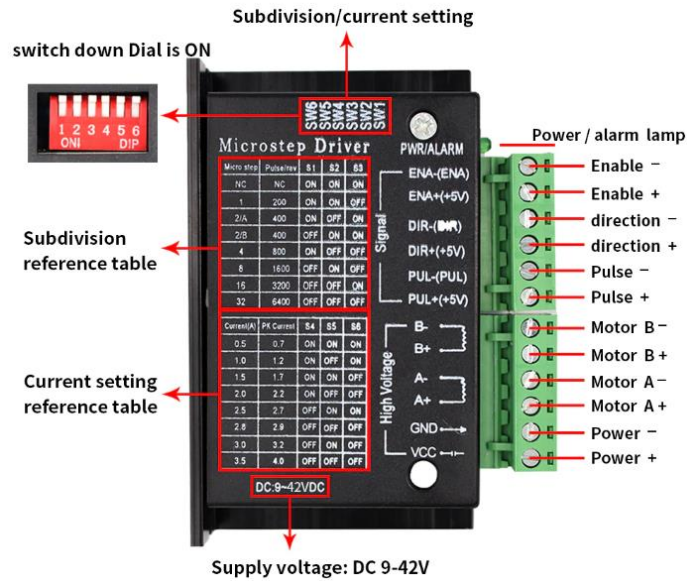


Ilustración 64: Esquema de conexión para el driver.

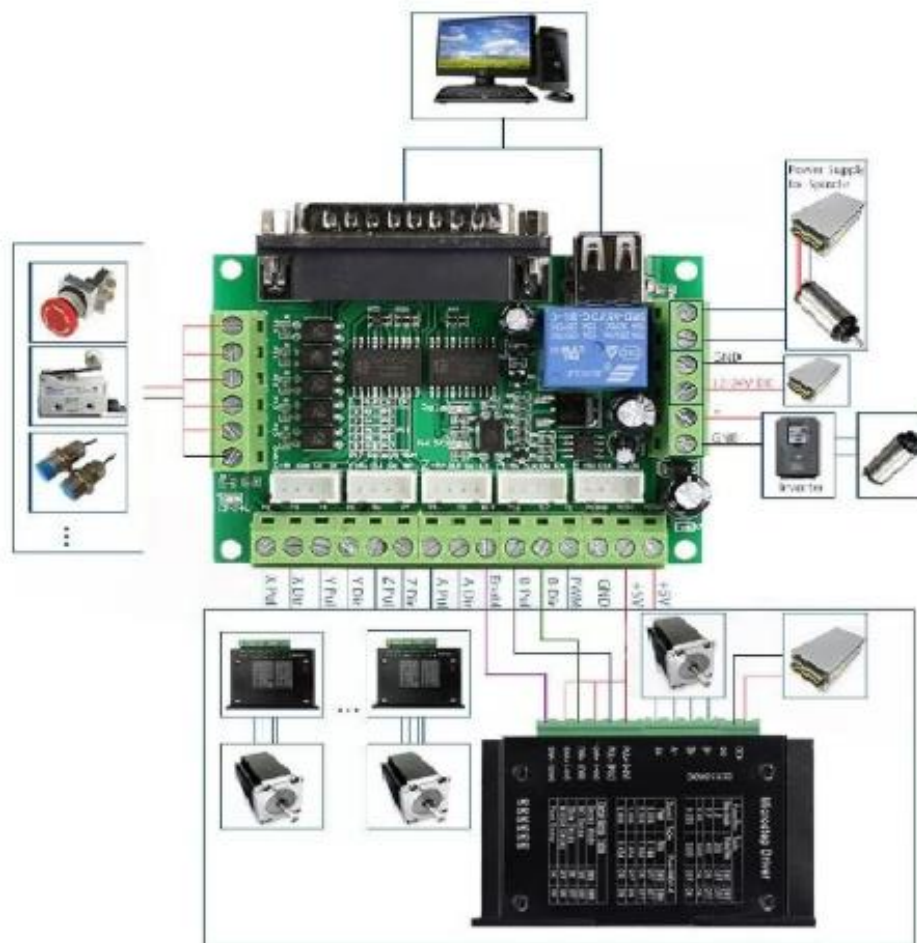


Ilustración 65: Esquema de conexión 2 para la tarjeta.

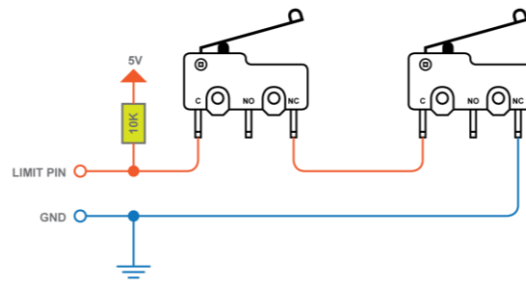


Ilustración 66: Conexión de límites de carrera.

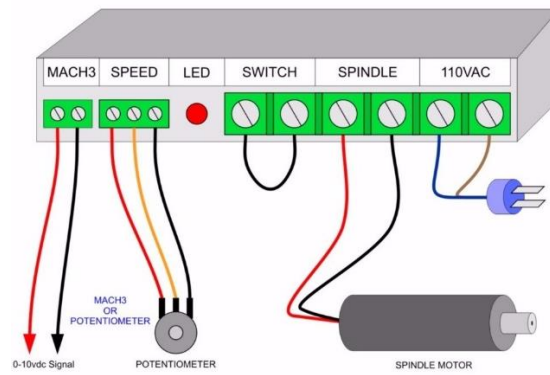


Ilustración 67: Conexión del spindle.



Ilustración 68: Conexión inicial del sistema de control.



Fue necesario añadirle cable a los motores debido a que era muy corto y no permitía el libre movimiento de estos.



*Ilustración 69: Conexión final del sistema de control*

### 3.6 Configuración de Mach3

El software empleado para maquinar será Mach3, donde fue necesario realizar una configuración dentro del programa para el correcto funcionamiento de la fresadora CNC. Este procedimiento se muestra a continuación:

Se abrió el programa y se ingresó a la pestaña configuración.

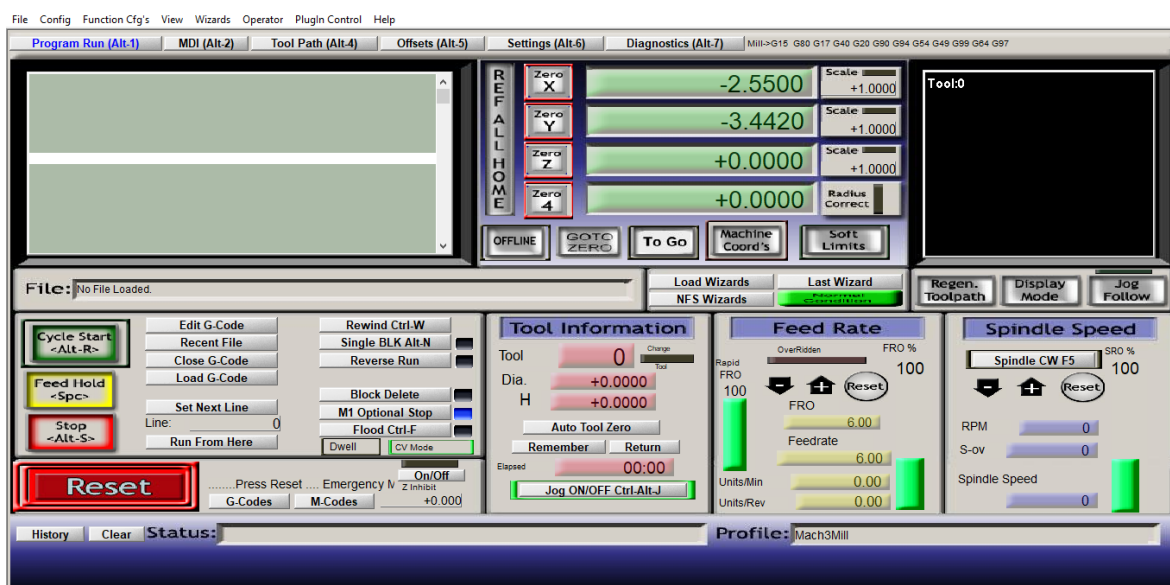


Ilustración 70: Interfaz del programa MACH3.

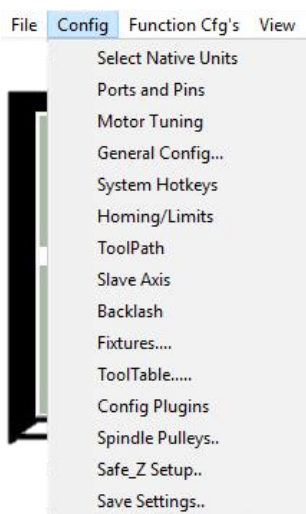
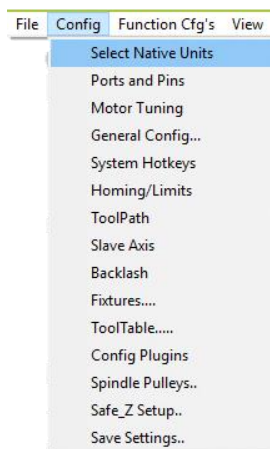


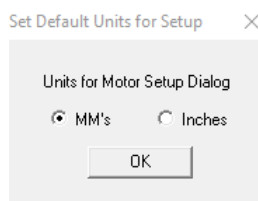
Ilustración 71: Pestaña de configuración.

Para seleccionar las unidades por defecto del motor , ya sea mm o pulgadas (seran usadas en la sección “Motor tuning”), se dió clic en “Select Native Uniys”.



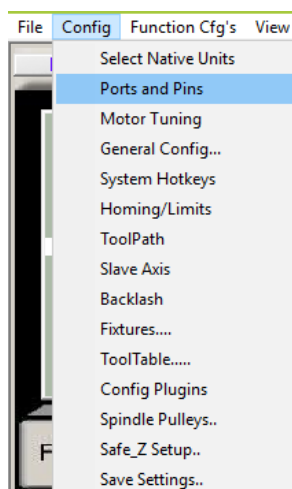
*Ilustración 72: Pestaña para seleccionar las unidades a trabajar.*

Selección de unidades según el usuario, un ejemplo seria seleccionar mm debido a que el paso del tornillo es milimetrico.



*Ilustración 73: Selección de unidades a trabajar.*

Port Setup and Axis Selection.



*Ilustración 74: Pestaña para la configuración de los puertos y pines.*

Depende del número de puertos o tarjetas que tengamos conectadas a la computadora será el número de puertos paralelos que se seleccionarán, en este caso solo se cuenta con 1 puerto paralelo, por lo que se dejó sin marcar “Port #2”.

Se recomienda dejar “Kernel speed” en 25000 Hz.

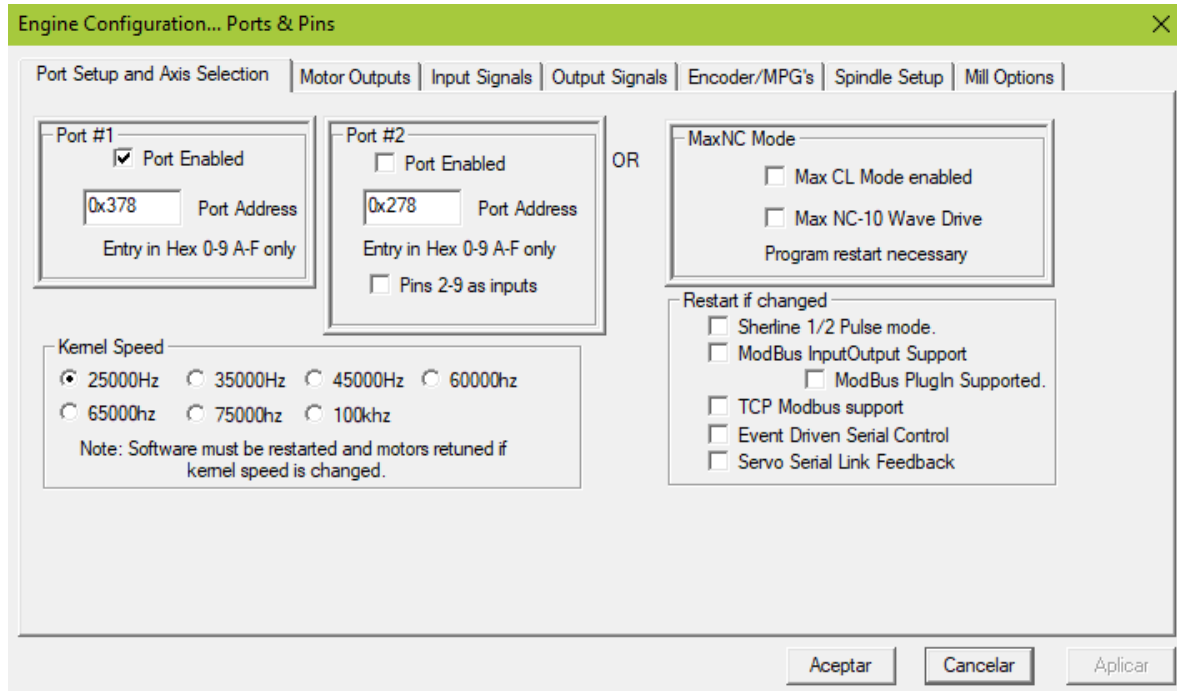


Ilustración 75: Selección del puerto paralelo a utilizar.

## Motor Outputs

Los pines del puerto paralelo se ubican según la imagen.

Pines de entrada: 10 – 13 , 15

Pines de salida: 1-9, 14,16-17

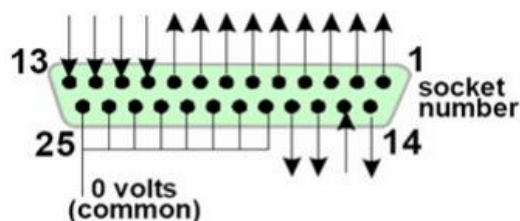


Figure 4.1 - Parallel port female connector (seen from back of PC)

Ilustración 76: Esquema de un puerto paralelo.



Se debieron marcar los ejes que contendría la máquina, así mismo indicar cuales serían los pines empleados para cada eje.

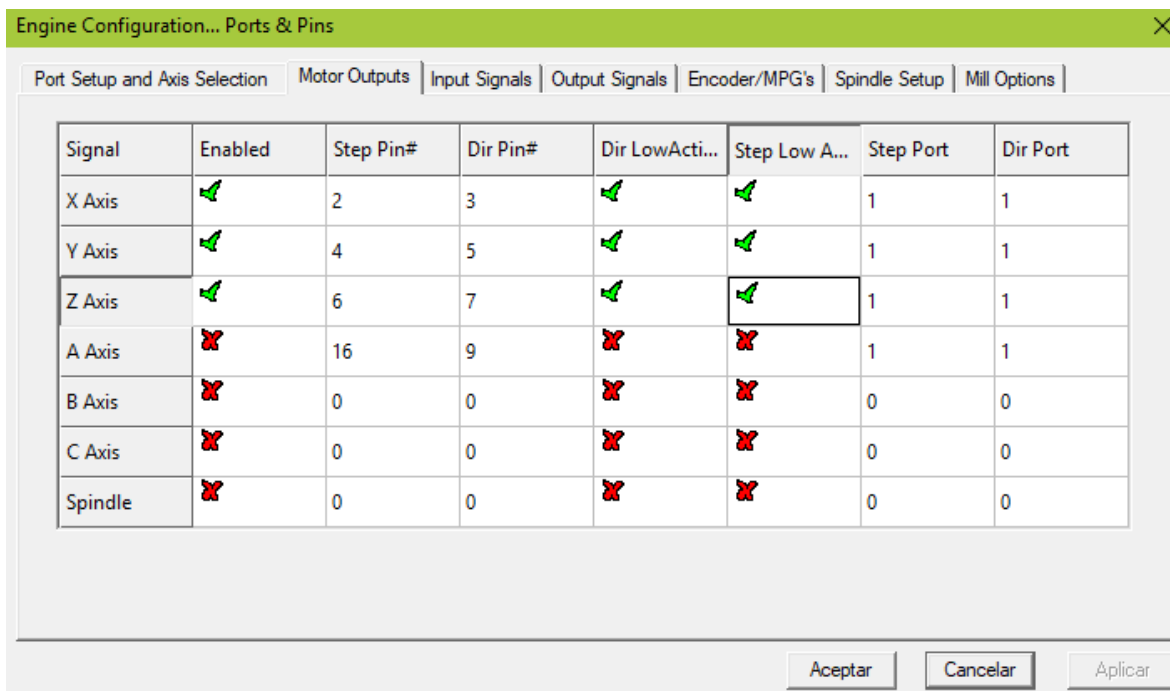


Ilustración 77: Ajuste de los pines para los motores.

## Input Signals

### Fines de carrera

Se tendrán fines de carrera en cada eje, teniendo que “Pin number” fueron igual para cada eje.

Ejemplo:

X ++ pin numero 10

X -- pin numero 10

X Home pin numero 10

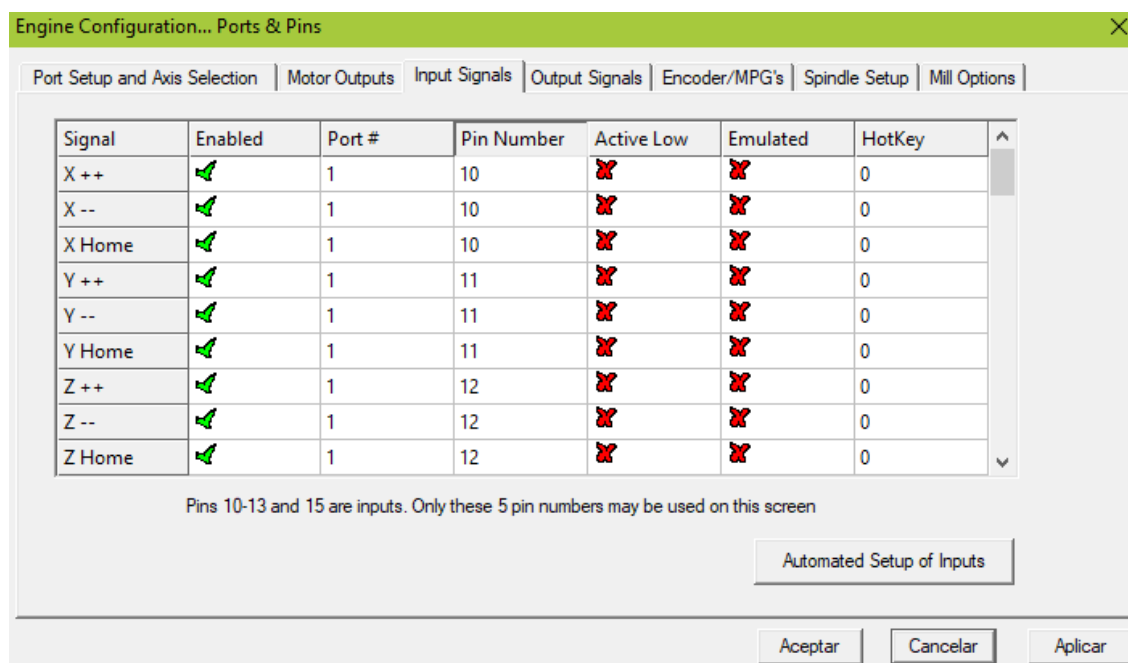


Ilustración 78: Selección de los pines para los fines de carrera.

## Parada de emergencia

“Estop” generara un paro de emergencia que será manejado mediante un boton del teclado de la PC.

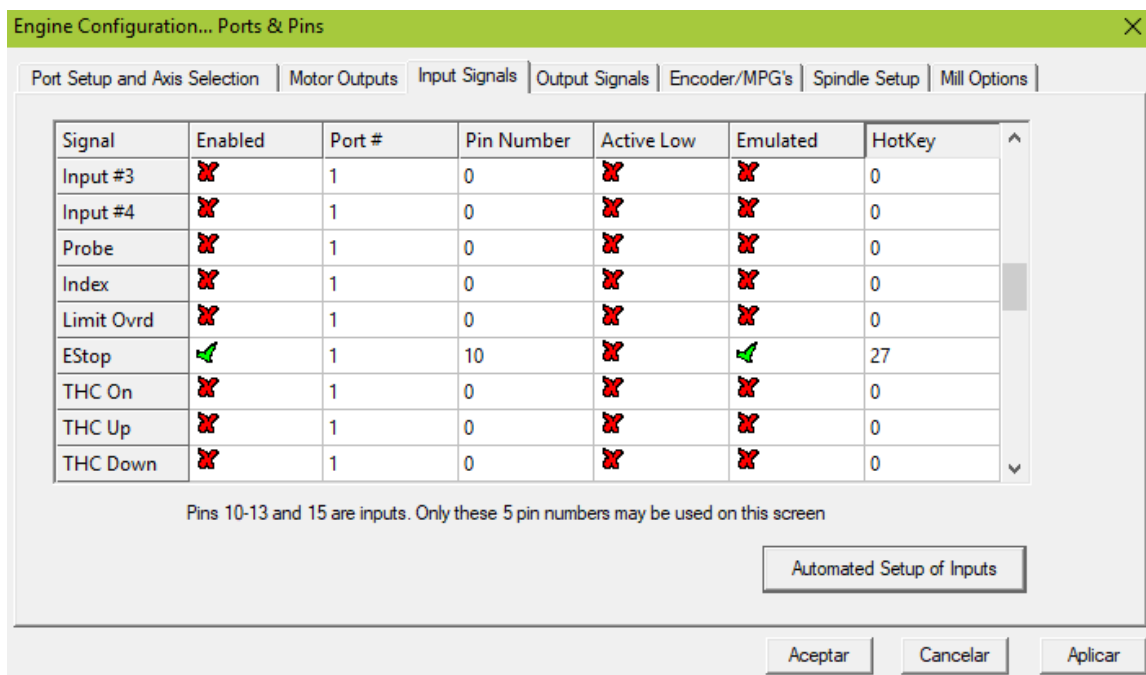


Ilustración 79: Configuración del pin para la parada de emergencia.

Para seleccionar que botón actuara como parada de emergencia en la laptop fuimos a “HotKey”.

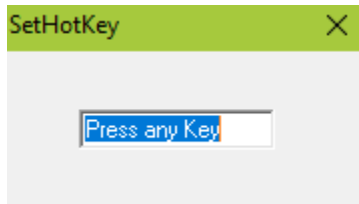


Ilustración 80: Botón de emergencia accionado vía teclado.

Y se seleccionó la tecla la cual queremos que realice esta parada, inicialmente este valor es “0”.

Output Signals

Para que el husillo se encienda y apague automáticamente, se habilitó y se seleccionó el pin 16.

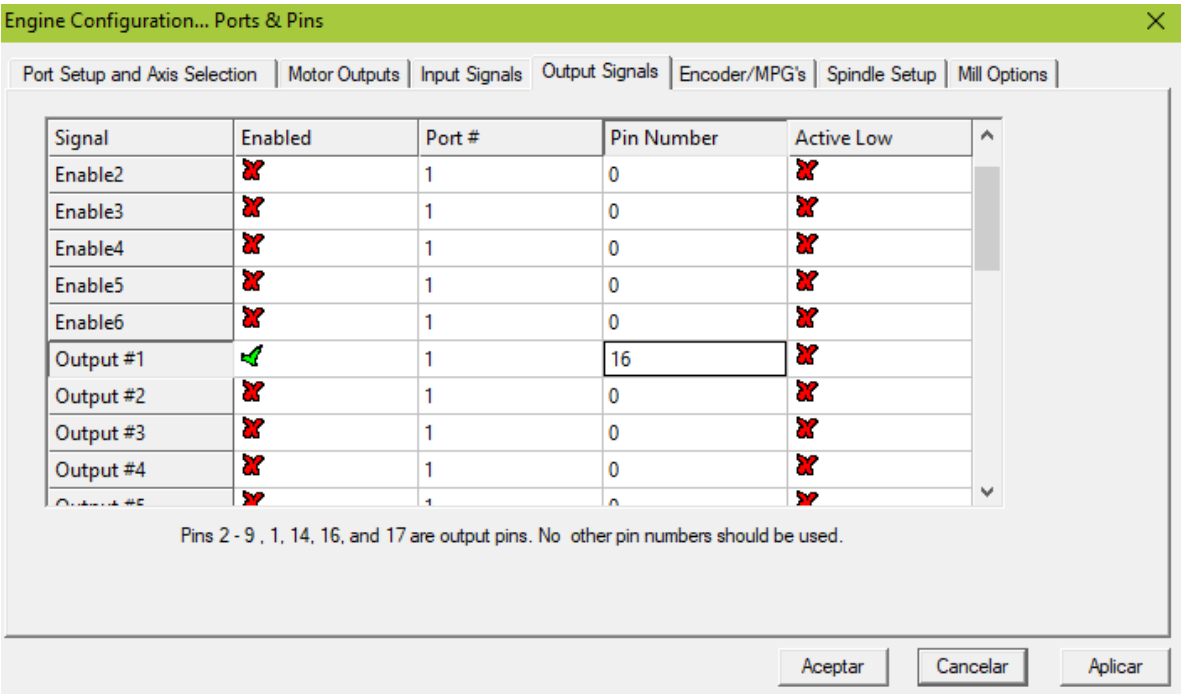


Ilustración 81: Selección del pin para el encendido y apagado del husillo.

## Motor Tuning

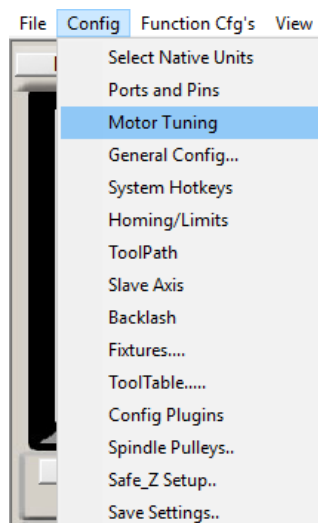


Ilustración 82: Pestaña para la configuración de los motores.

Se seleccionó los pasos por mm, la velocidad mm/min y la aceleración, estos valores dependieron del husillo, drivers y motores.

“Steps per” – es independiente del husillo

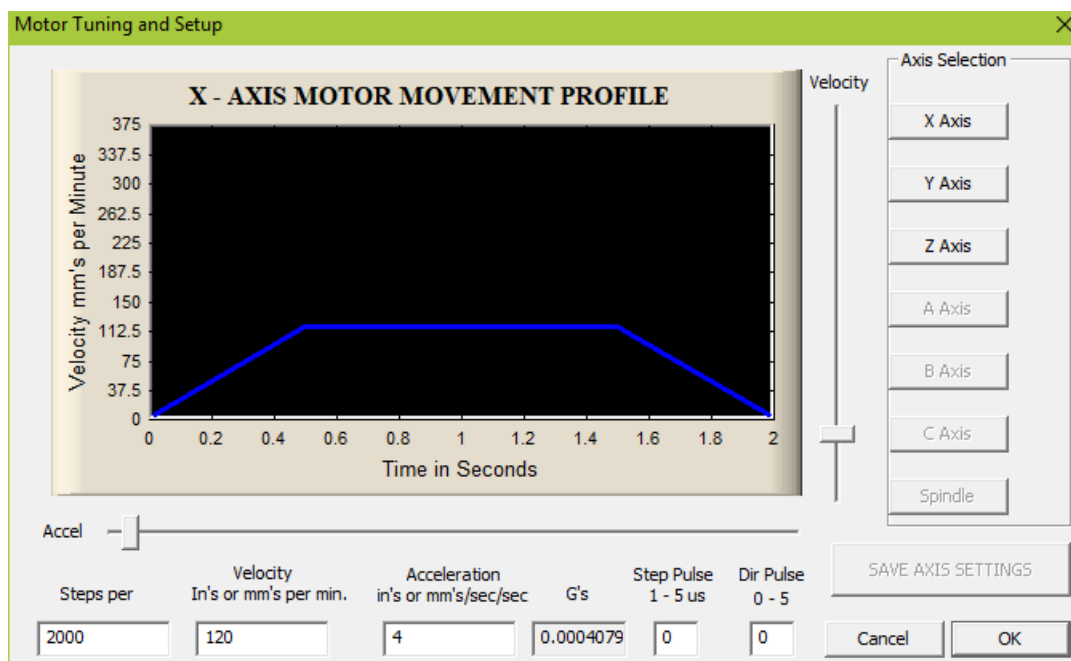
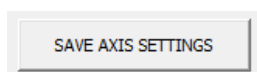


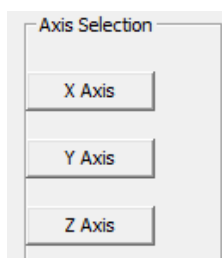
Ilustración 83: Configuración de los parámetros de los motores.

Al hacer alguna modificación se debió presionar “Save axis settings”



*Ilustración 84: Salvado de los datos asignados.*

Para seleccionar los diversos ejes y modificarlos se empleó esta área.



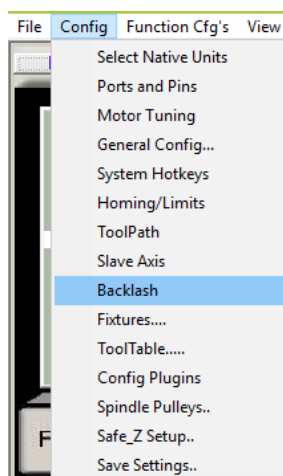
*Ilustración 85: Selección de eje sobre el cual se aplicarán los parámetros del motor.*

## Backlash

Este es un fenómeno que existe al encontrarnos con un sistema tornillo-tuerca, es generado por el juego que existe entre estos dos elementos, este juego ocasiona que las medidas no sean exactas.

Por lo tanto, es importante implementar esta sección en la fresadora para que las dimensiones sean las reales.

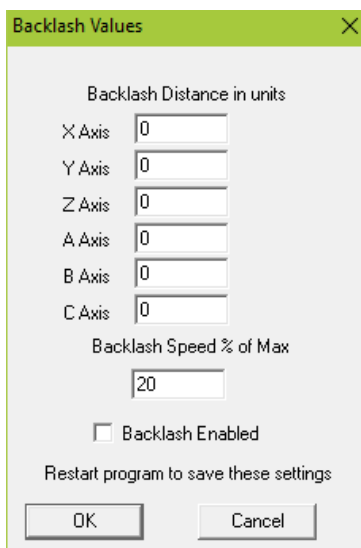
Para ello se debió ir a la sección configuración en la barra superior del programa y seleccionar “Backlash”.



*Ilustración 86: Pestaña para la configuración del backlash.*

Al hacerlo abrirá un recuadro en el cual pedirá que se agreguen las distancias requeridas en cada eje para que el efecto no se presente, esto quiere decir que se deben hacer pruebas previas para ver cuáles son las diferencias entre las dimensiones deseadas y las obtenidas, para compensar esas en el recuadro.

A su vez se debió marcar el cuadro “Backlash Enabled”. [23]



Backlash Values

Backlash Distance in units

X Axis 0

Y Axis 0

Z Axis 0

A Axis 0

B Axis 0

C Axis 0

Backlash Speed % of Max

20

☐ Backlash Enabled

Restart program to save these settings

OK Cancel

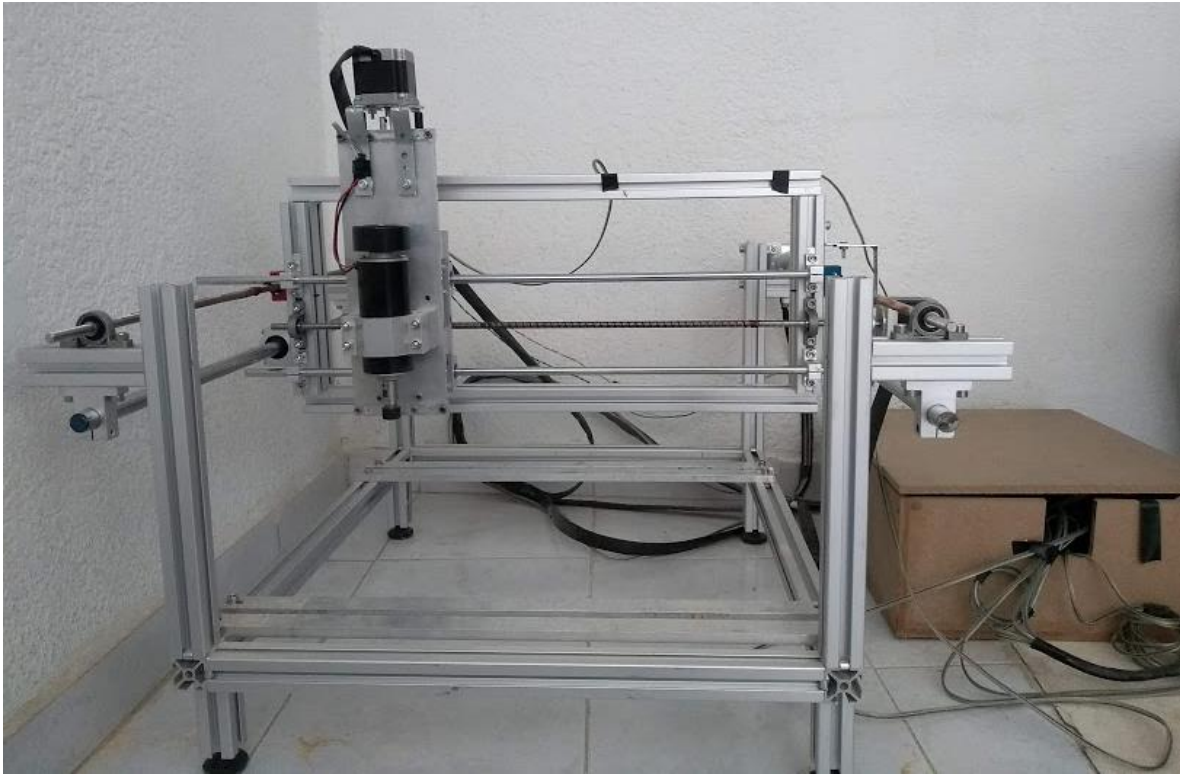
*Ilustración 87: Ingresar las unidades para compensar el backlash.*

### 3.7 Resultados

La fresadora CNC terminada se muestra a continuación, donde se incluye tanto la estructura como el sistema de control.



*Ilustración 88: Fresadora CNC.*



*Ilustración 89: Fresadora CNC y sistema de control.*

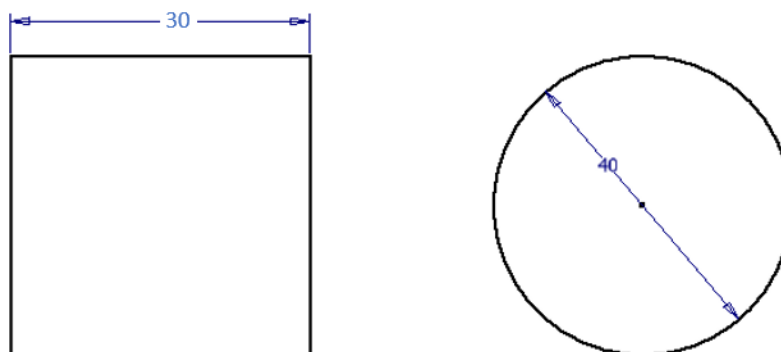
### 3.8 Puesta en marcha, maquinado de una pieza

Para el maquinado de una pieza se contemplaron 2 códigos, en el primero se realizaron 2 figuras sencillas pero que a la vez eran suficientes para analizar los errores que puedan existir.

La primera figura para analizar fue un cuadrado, para ver si la estructura estaba bien nivelada y cuadrada.

La segunda será un círculo, la cual permitió ver la calibración de los ejes y verificar que exista una correcta interpolación entre todos, y ver si existía “backlash”.

Las dimensiones de las figuras son las siguientes.



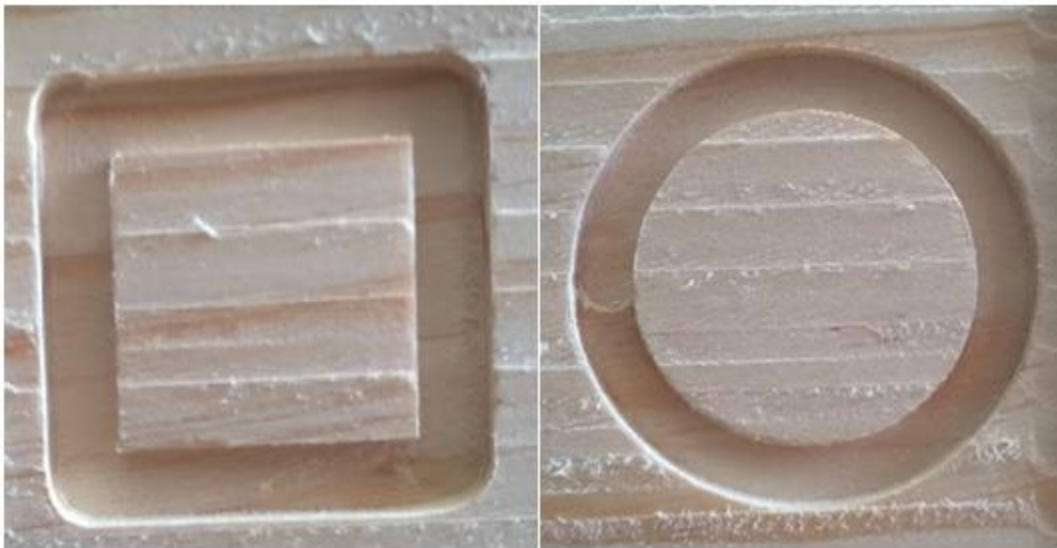
*Ilustración 90: Figuras a maquinar en el código 1.*



El código G empleado se muestran a continuación:

N0 G17 G21 G90 G94 G15 G40 G49 F120  
N5 G0 X0 Y0 Z1 M3  
N10 G1 X30 Y30 F120  
N15 G1 Z-2  
N20 G1 X60 Y30 / Cuadrado de lado 30 mm  
N25 G1 X60 Y60  
N30 G1 X30 Y60  
N35 G1 X30 Y30  
N40 G1 Z1  
N45 G1 X80 Y50  
N50 G1 Z-2  
N55 G02 X120 Y50 R20 / Círculo de diámetro 40 mm  
N60 G02 X80 Y50  
N65 G1 Z1  
N70 G0 X0 Y0  
N75 M5  
N80 M30

El resultado obtenido fue:

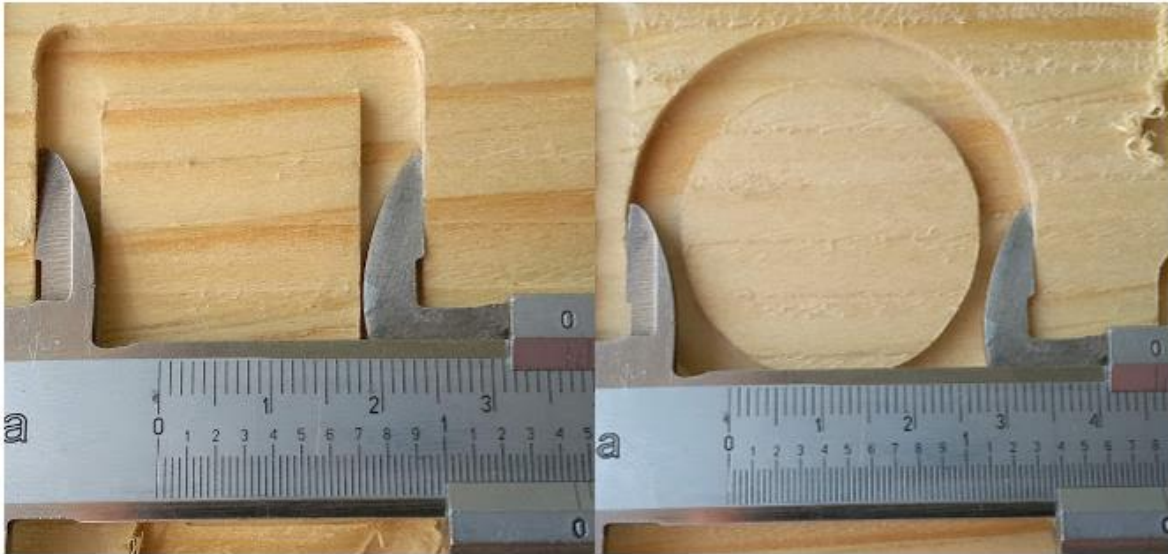


*Ilustración 91: Prueba realizada.*

El diámetro exterior del círculo = 46 mm

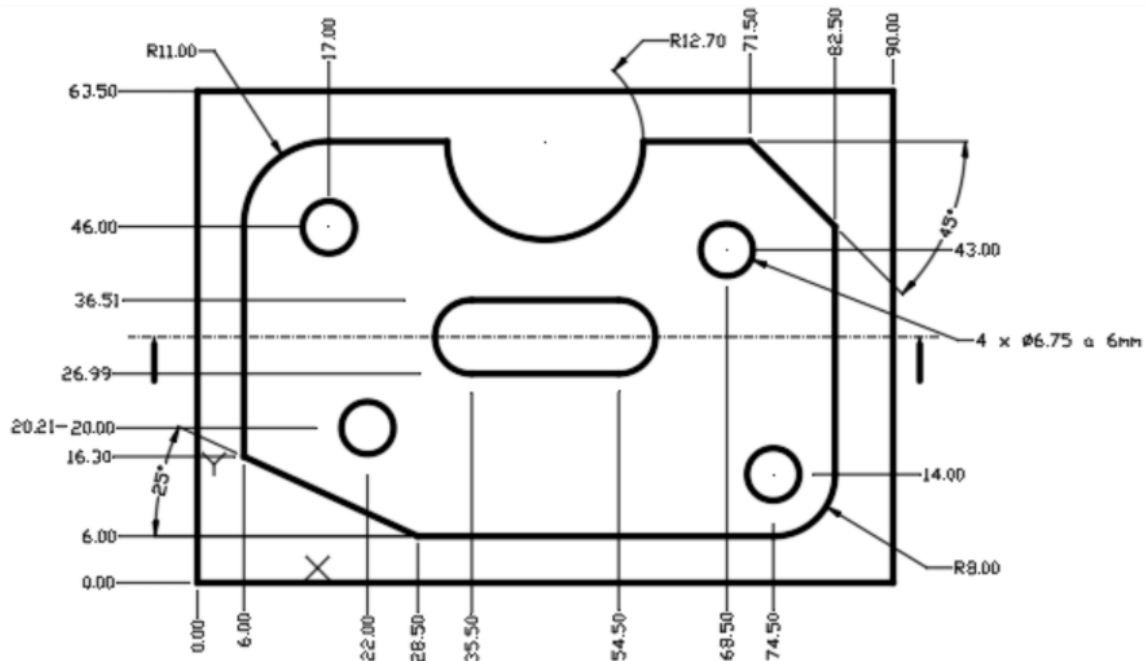
Longitud exterior del cuadrado = 36 mm

Se puede observar que se está cumpliendo con la dimensión para el círculo, mientras que para el cuadrado la cota está sobredimensionada en 0.6 mm, sin embargo, se cumple con la tolerancia de  $\pm 1$  mm.



*Ilustración 92: Dimensiones de las figuras realizadas.*

El segundo código se empleó para analizar que la máquina pueda usar los códigos G41 (Compensación del diámetro de la herramienta) y G83(Ciclo fijo de barrenado), la figura se muestra a continuación:



*Ilustración 93: Pieza realizada en el código 2.*

Se implementó el siguiente código:

```
N0 G15 G17 G21 G40 G49 G80 G90; BLOQUE DE SEGURIDAD
; OPERACION 1- DESBASTE DE CONTORNO
N5 T4 M06; CORTADOR RECTO END MILL 6 MM
N10 G90 G00 Z10
```

N15 G90 G00 X-10 Y-10  
 N20 Z2  
 N25 G01 Z-1. F70.  
 N30 G01 G41 D4 X6. Y-10 F80; INICIA COMPENSACION DEL DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA  
 N35 Y46  
 N40 G02 X17. Y57 R11  
 N45 G01 X32.3 Y57  
 N50 G03 X57.7 Y57 R12.7  
 N55 G01 X71.5 Y57  
 N60 G01 X82.5 Y46  
 N65 Y14  
 N70 G02 X74.5 Y6 R8  
 N75 G01 X28.5 Y6  
 N80 X-5 Y20.21  
 N85 G00 Z10  
 N90 G40; FIN DE LA COMPENSACION DEL DIÁMETRO  
 N95 G90 G00 X0 Y0  
 ; OPERACION 2- BARRENADO  
 N100 F60  
 N105 G83 G99 X22 Y20 R5 Z-4 Q2; INICIO DEL CICLO FIJO DE BARRENADO  
 N110 X17 Y46; SEGUNDO BARRENO  
 N115 X68.50 Y43; TERCER BARRENO  
 N120 X74.50 Y14; CUARTO BARRENO  
 N125 G80; FIN DE CICLO  
 N130 G00 Z10  
 N135 G00 X0 Y0  
 N140 M30

El resultado obtenido fue:



*Ilustración 94: Figura empleando los códigos G41 y G83.*

Las dimensiones principales obtenidas fueron:

El largo de la pieza sin compensación de la herramienta (Ilustración 90- A) es 77 mm y la correcta es de 76.5, esto quiere decir que está sobredimensionada por 0.5 mm.

El largo de la pieza con compensación de la herramienta (Ilustración 90- B) es 89 mm y la correcta es 88.5, está sobredimensionada 0.5 mm.

El alto de la pieza sin compensación de la herramienta (Ilustración 90- D) es 51.5 mm, esta cota es correcta.

El diámetro de compensación de herramienta (Ilustración 90- C) es de 6 mm, esta dimensión también es correcta.

Por lo tanto, los resultados obtenidos son apropiados cumpliendo con el  $\pm 1$  mm de tolerancia dimensional y los códigos G41 y G83 funcionaron correctamente.



*Ilustración 95: Dimensiones de la pieza generada con el código 2.*

### 3.9 Análisis y discusión de resultados

La simulación obtenida fue de gran ayuda para el diseño de la estructura y corroboración de que fuera funcional y que la deformación total no fuera mayor a 1 milímetro, obteniendo que la estructura fue capaz de soportar las fuerzas de corte (12.8 N) con un factor de seguridad igual a 2 con una deformación total de 0.28 mm, de modo que la selección del perfil de aluminio 30X30 y las respectivas guías lineales fueron las apropiadas.

Se añadieron 2 guías de  $\varnothing$  16 mm para el eje Y, debido a que este eje es el que soporta más peso, y genera un movimiento más estable, por otro lado, las guías del eje X son de  $\varnothing$  10 mm y en el eje Y de  $\varnothing$  8 mm. Para posteriores trabajos se deberían proponer guías con diámetros mayores a 10 mm para los ejes X y Z mientras que para el eje Y diámetros mayores a 16 mm, evitando caer en el sobredimensionado.

El tornillo empleado de  $\varnothing$  8 mm de 4 hilos con paso por revolución de 8mm (2mm por hilo) fue seleccionado debido a que genera una mayor rapidez en los movimientos, el husillo de bolas no fue considerado debido a que es muy costoso, sin embargo, para proyectos con mayor presupuesto es altamente recomendable porque su precisión es mayor comparada con el tornillo seleccionado.

El motor NEMA 17 fue seleccionado ya que cumplía con el torque calculado (0.036 Nm) y este tiene 0.14 Nm, lo cual asegura que el motor trabajará correctamente y no habrá pérdida de pasos, a su vez fue seleccionado un driver industrial TB6600 el cual trabaja hasta 4 A los cuales son suficientes debido a que el motor trabaja a 3 A.

La tarjeta de control fue seleccionada por el número de ejes que se iban a trabajar, así como la interfaz que se iba a emplear.

Cabe mencionar que este proyecto se trabajó con piezas milimétricas, lo cual resultó bastante complicado debido a que si no se toman las dimensiones correctamente a la hora de ensamblar los componentes no concuerdan, además si los rodamientos no son colocados correctamente genera que el movimiento no sea constante debido a que se va atorando.

Es muy importante tener en cuenta los requerimientos de la computadora debido a que el sistema operativo debe ser de 32 bits para que el programa MACH3 funcione, por otro lado, si se tiene una tarjeta que transferirá los datos vía puerto paralelo, el adaptador de puerto paralelo debe estar soldado directamente en la tarjeta madre de la computadora.

### 3.10 Conclusiones

El desarrollo del objetivo principal del presente trabajo se alcanzó en su totalidad, diseñando un sistema de fresado y perforado de acrílico y madera, que es capaz de realizar modelos para moldeo en arena verde en un tiempo menor y con una calidad y precisión mayor.

Los objetivos específicos se cumplieron, se diseñó la geometría de los elementos estructurales de la fresadora, se verificó la funcionalidad de la estructura mediante un análisis de esfuerzos, se seleccionaron todos los componentes electromecánicos comerciales, se ensamblaron todos los componentes y se realizaron pruebas con la fresadora, obteniendo resultados favorables.

La complejidad y la fiabilidad de la máquina CNC dependen en mayor parte del presupuesto que se tenga. Si el presupuesto es lo suficientemente grande, el resultado puede estar cerca de una máquina industrial que puede ser utilizado durante años sin reparaciones mayores y con un alto grado de precisión y exactitud.

El diseño y construcción de una fresadora CNC “casera” evita que se deban pagar costos de importación de maquinaria de origen internacional, generando a su vez, inversiones nacionales.

Se pretende que este proyecto sirva como base para las microempresas, instituciones de educación y los centros de capacitación, para que puedan implementar este tipo de maquinaria, con el fin de que sean capaces de obtener los beneficios de esta tecnología.

Por otro lado, sentar bases para posteriores proyectos de innovación en la Universidad Autónoma Metropolitana.

El programa Mach3 y el sistema de control, determinan el movimiento que deben realizar los motores a pasos, para el desplazamiento de cada una de las coordenadas, por lo cual un correcto control es esencial para el adecuado funcionamiento de la fresadora.

Existen muchos programas dedicados al CAD/CAM que son libres, para este proyecto se usó la versión demo de Mach3 sin ningún costo, la cual nos permite generar hasta 500 líneas de códigos, siendo suficiente para generar un sin número de modelos, en caso de requerirse una mayor capacidad se debe adquirir la versión profesional de este programa.



## Anexos 1 – Factores para el cálculo de la fuerza de corte

Factor de maquinabilidad ( $c_m$ )			
Material para maquinar	$w/D \leq 0.5$	$0.5 < w/D < 0.7$	$w/D = 0.7 - 1$
Aleación de carbono y aceros para herramientas	1	1.3	1.5
Acero inoxidable perlítico y martensítico	1	1.3	1.5
Acero inoxidable austenítico	1.6	1.8	2.2
Fundición de hierro gris	2.1	2.6	3.1
Fundiciones dúctiles y maleables	1	1.3	1.5
Aleaciones de titanio	1	1.5	1.7
Aleación resistente al calor	1.6	1.8	2.2
Aleaciones de aluminio, $\sigma \leq 70 \text{ ksi} (\sigma \leq 480 \text{ N/mm}^2)$	0.7	0.8	0.9
Aleaciones de aluminio, $\sigma > 70 \text{ ksi} (\sigma > 480 \text{ N/mm}^2)$	0.8	0.9	1
Aleaciones de cobre, $\sigma \leq 70 \text{ ksi} (\sigma \leq 480 \text{ N/mm}^2)$	0.8	0.9	1
Aleaciones de cobre, $\sigma > 70 \text{ ksi} (\sigma > 480 \text{ N/mm}^2)$	1	1.3	1.5

Tabla 18 : Factor de maquinabilidad [19]

Factor de herramienta ( $c_w$ )				
Categoría de fresado	Profundidad de corte [mm]	Avance por filo [mm]	Área transversal del filo del cortador [mm <sup>2</sup> ]	Factor de herramienta
Ligero	0.5 – 2.5	0.08 – 0.15	$\leq 0.040$	1.1
Medio	2.5 – 5	0.15 – 0.25	$\leq 0.375$	1.2
Pesado	5 - 10	0.25 – 0.5	$> 1.25$	1.3

Tabla 19: Factor de herramienta [19]

Factor de eficiencia de la máquina (E)	
Tipo de unidad	E [%]
Accionamiento directo (integral - husillo motor)	94 – 95
Transmisión por correa directa	90
Transmisión de marcha atrás	75
Accionamiento de cabeza de engranaje	70 – 80
Accionamiento hidráulico de aceite	60 - 90

Tabla 20: Factor de eficiencia de la máquina [19]

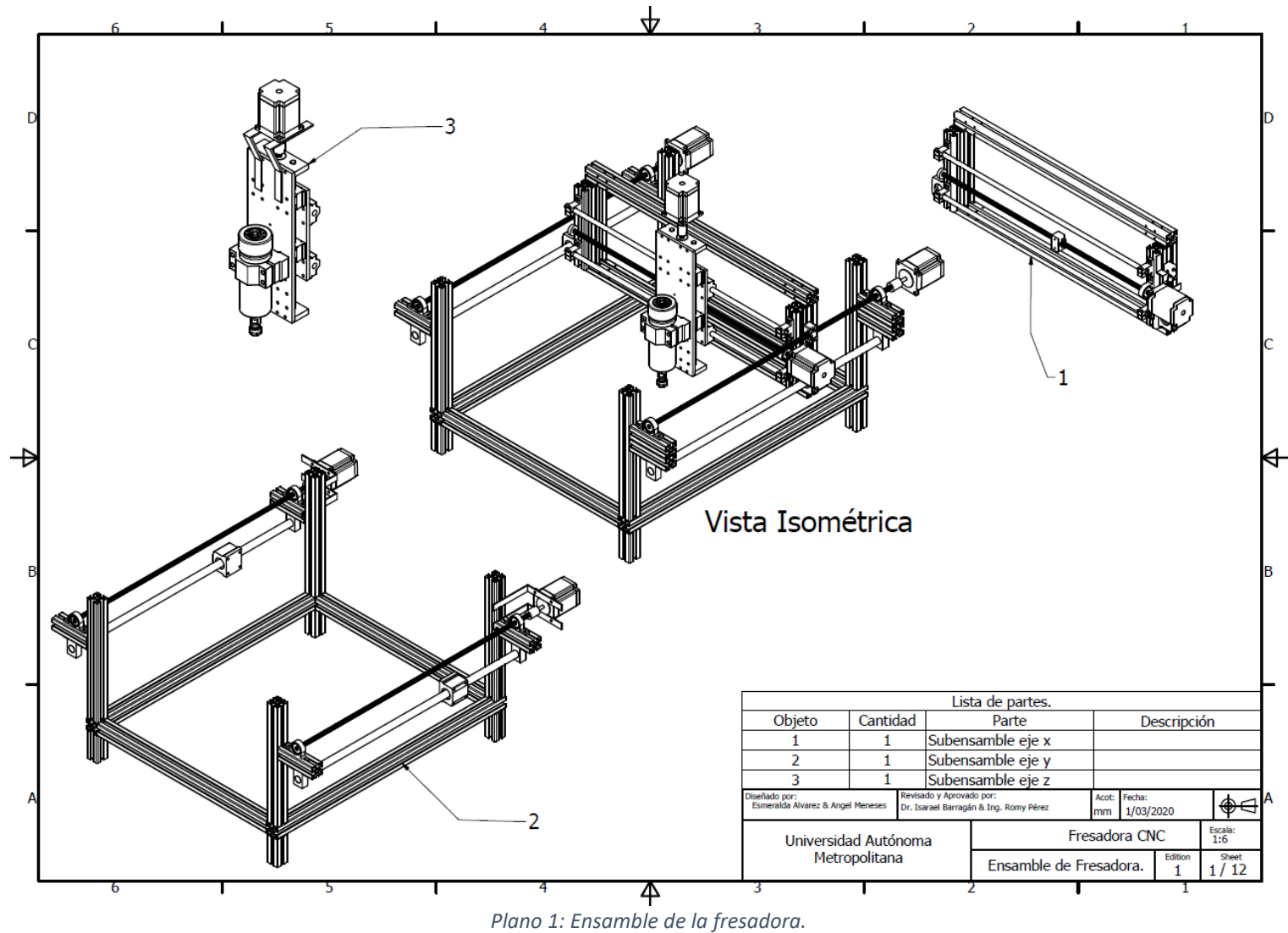
## Anexos 2 – Velocidad de corte para diversos tipos de madera

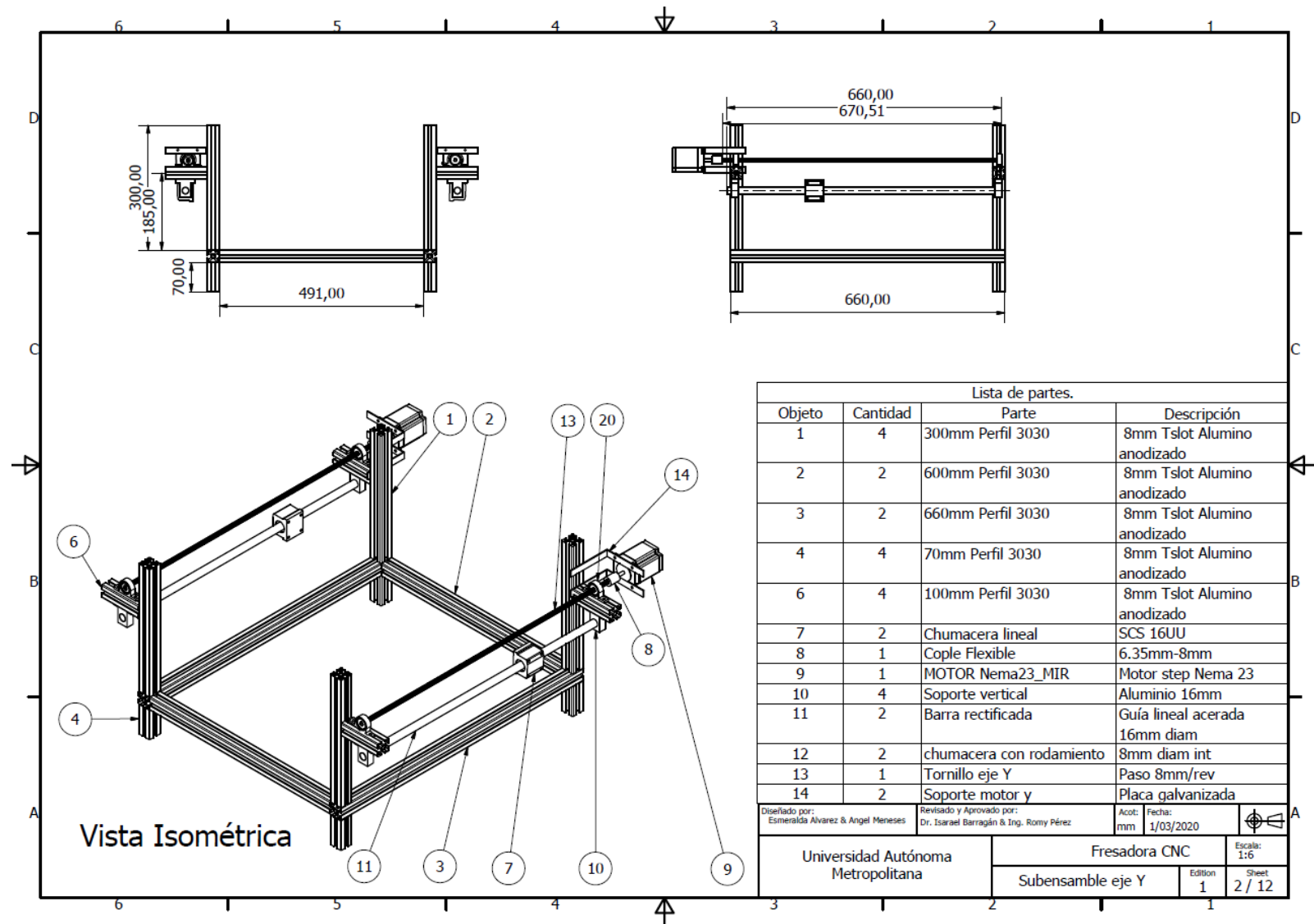
Material	Fresa de acero rápido (HSS)	Fresa de carburo de tungsteno (HW)
	Velocidad de corte (m/s)	
Maderas blandas	50 - 80	60 - 90
Maderas duras	40 - 70	50 - 90
Aglomerados		60 - 90
Contrachapados		60 - 90
Tablas de fibras duras		40 - 90
Tableros revestidos con plástico		40 - 90
Termoplásticos		40 - 90

Tabla 21: Velocidad de corte para diversos materiales [24]

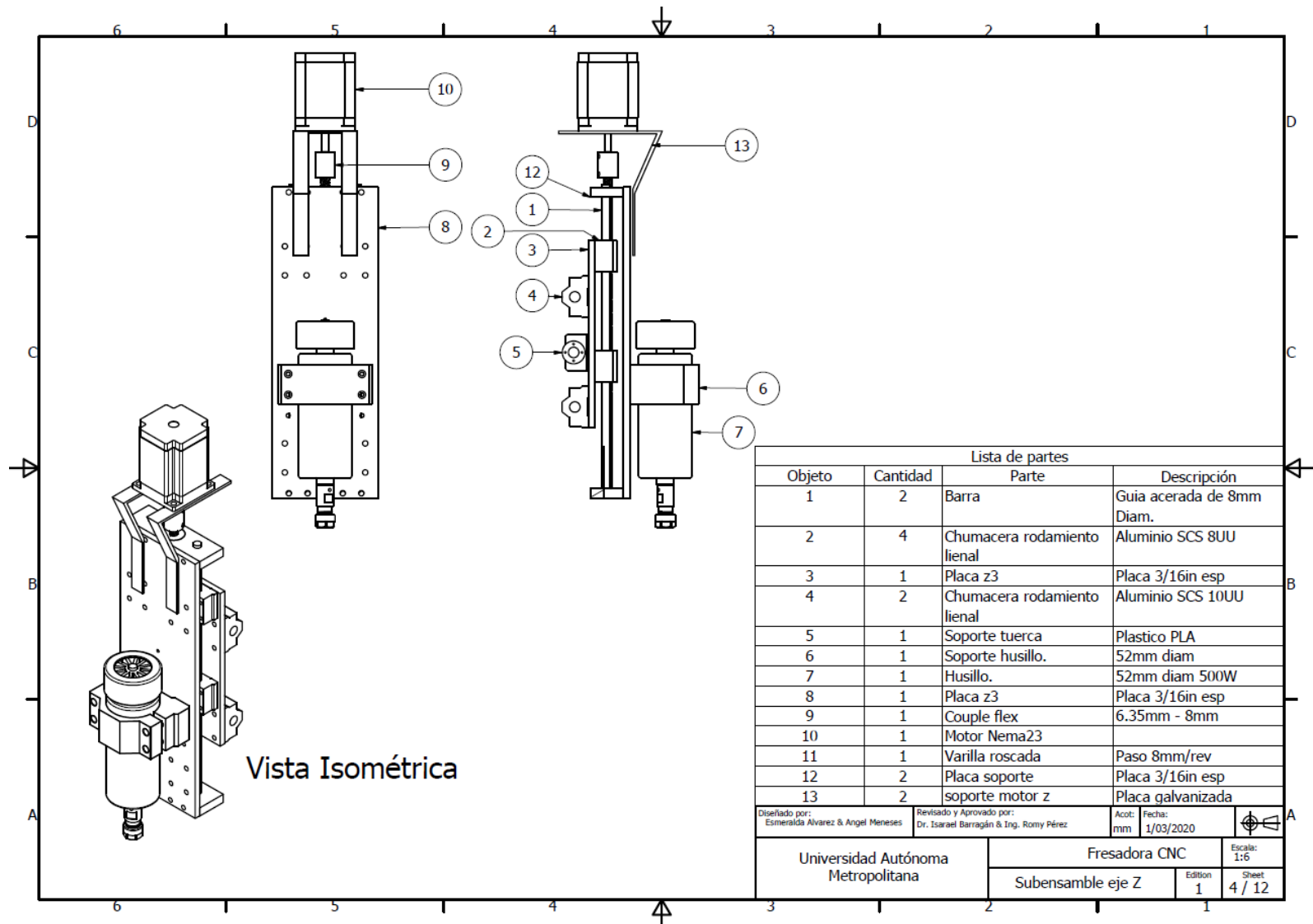


Anexo 3 – Planos de definición

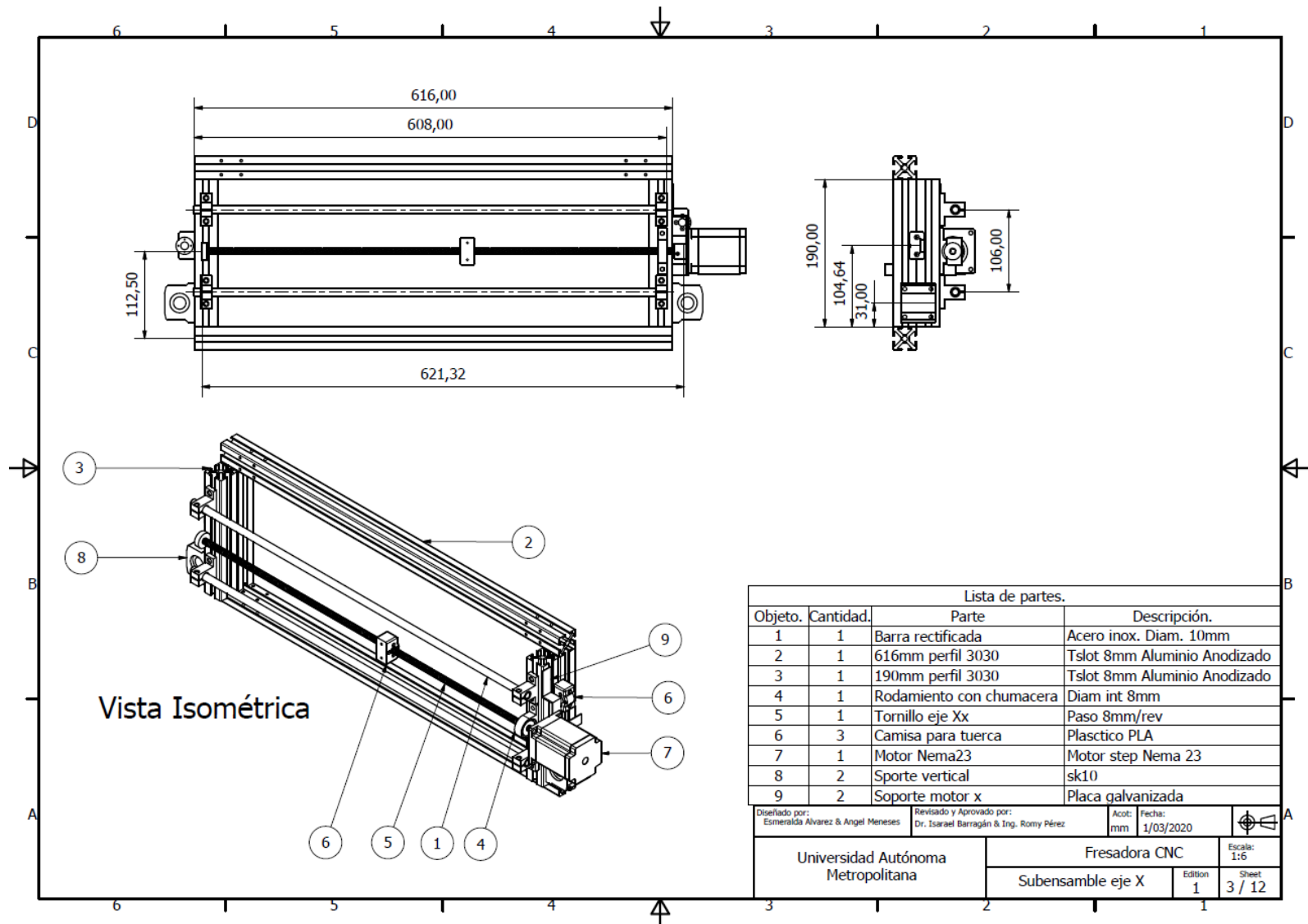




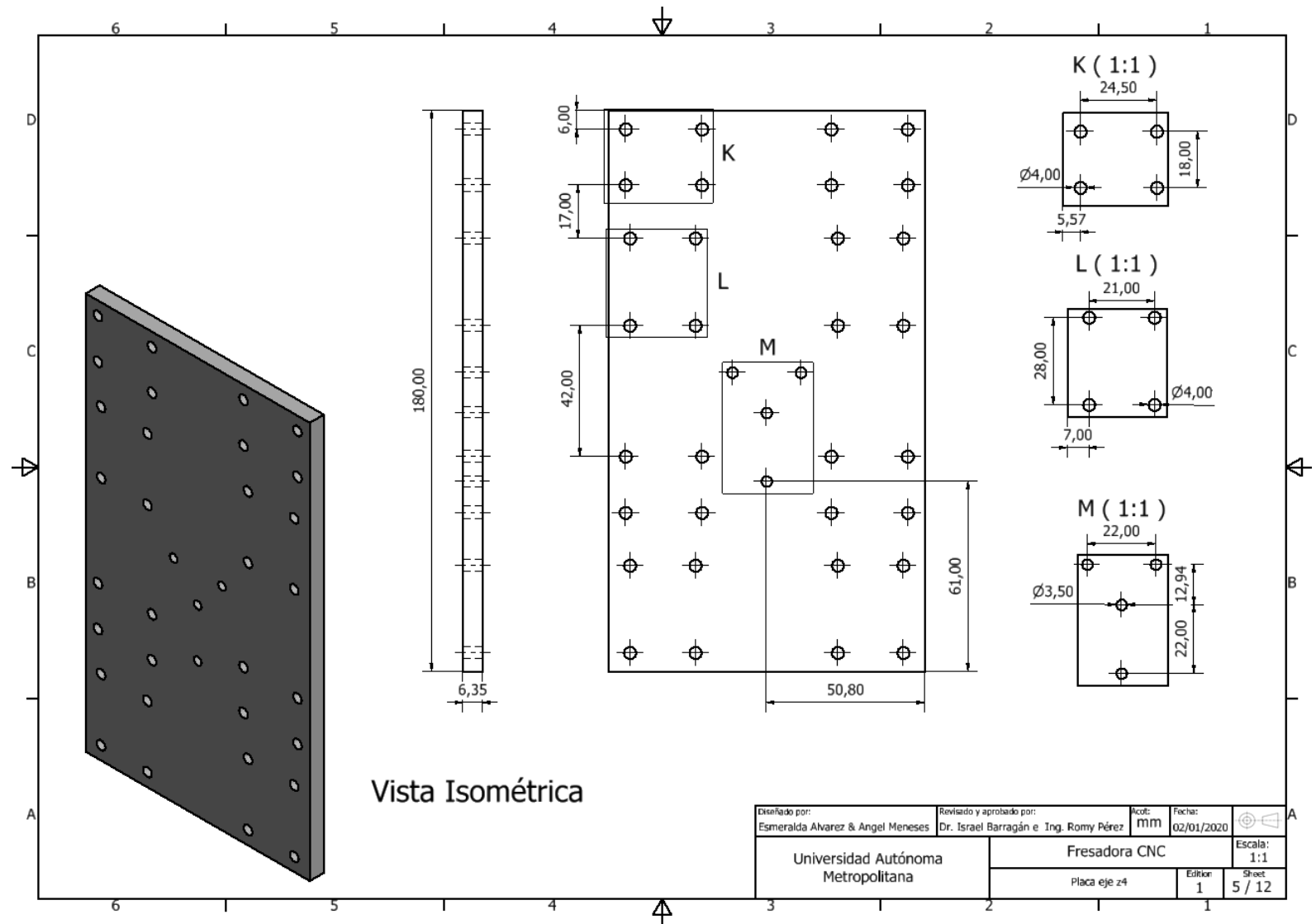
Plano 2: Subensamble del eje Y.



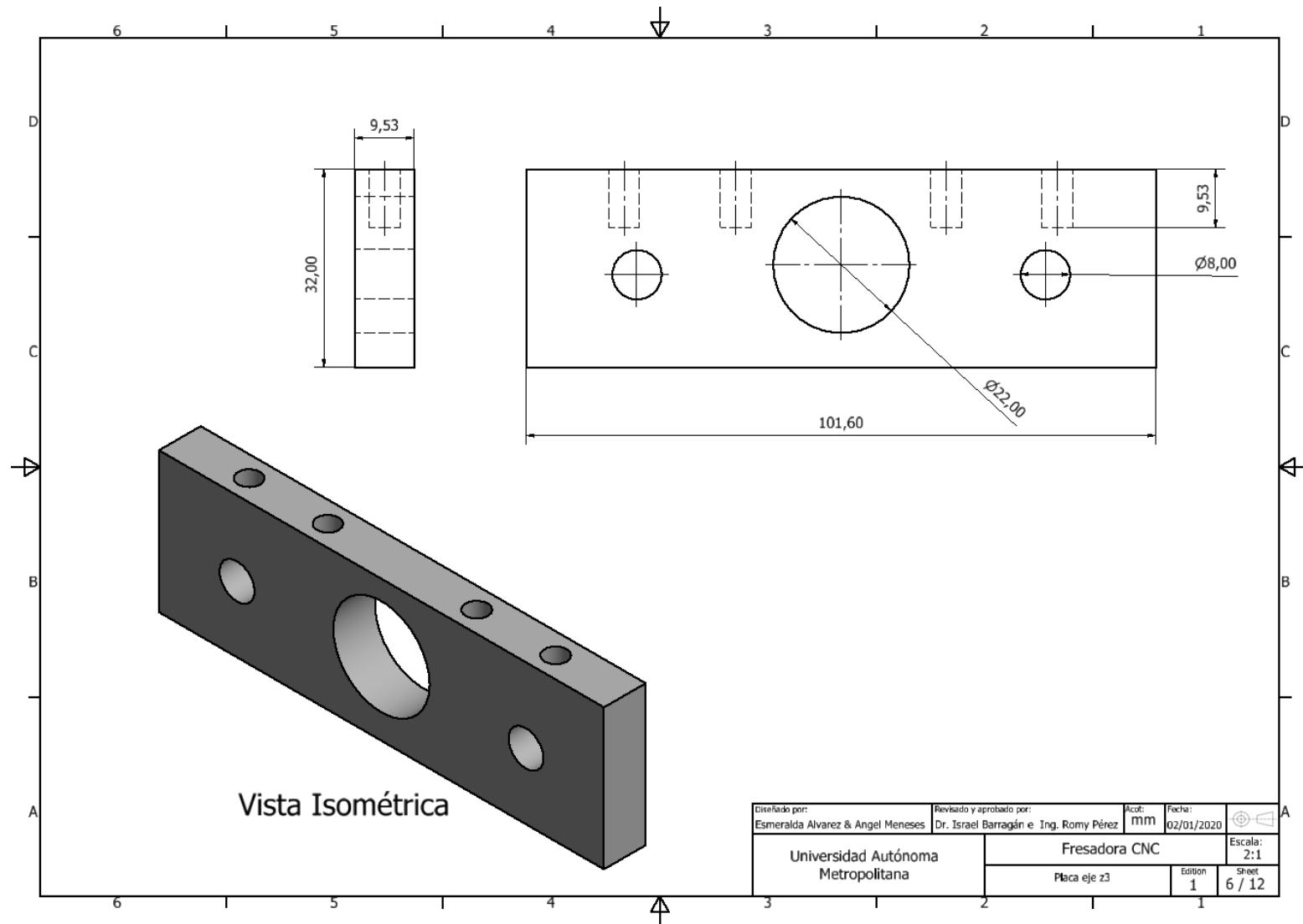
Plano 3: Subensamble del eje Z.



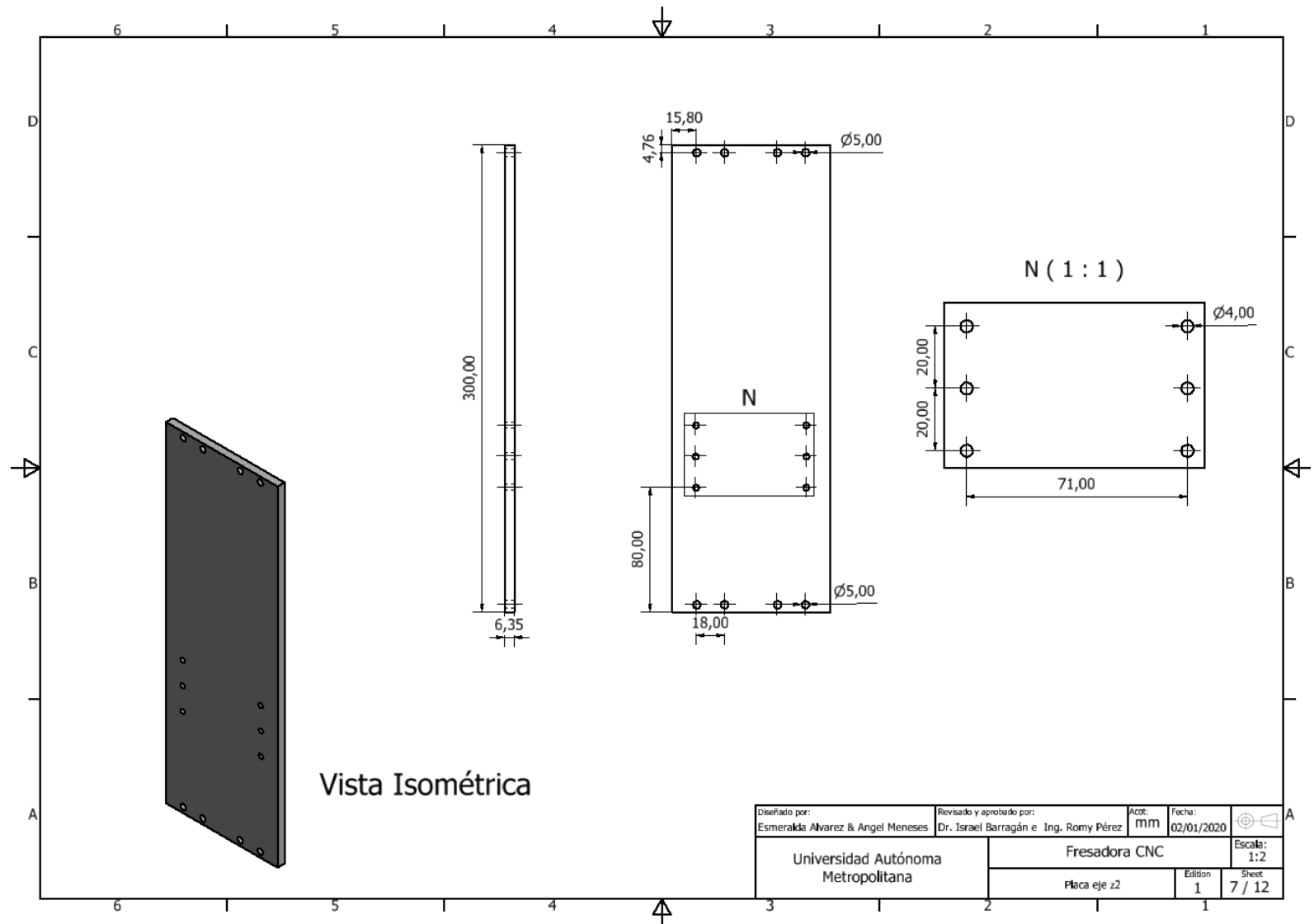
Plano 4: Subensamble del eje X.



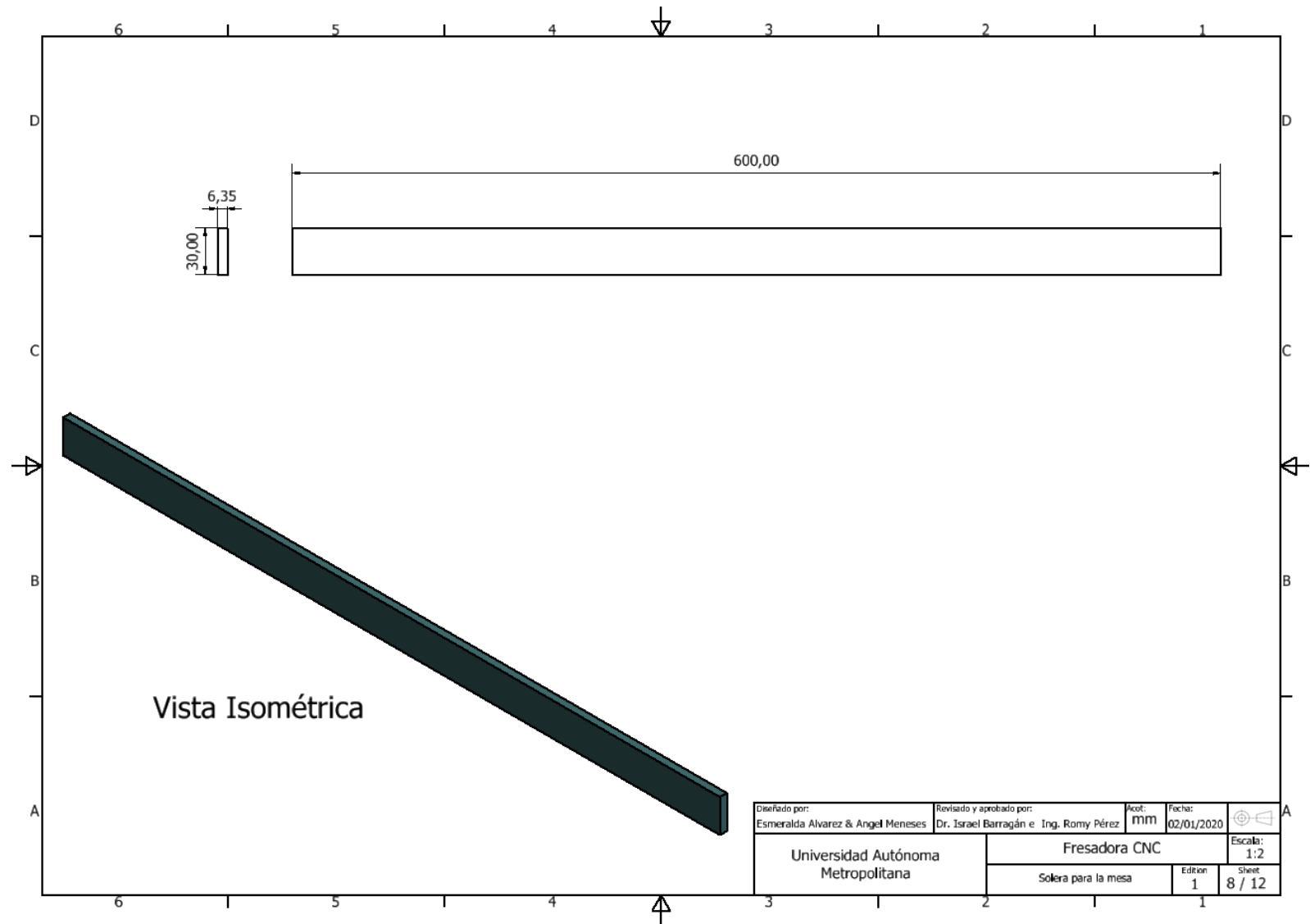
Plano 5: Placa eje z4.



Plano 6: Placa eje z3.

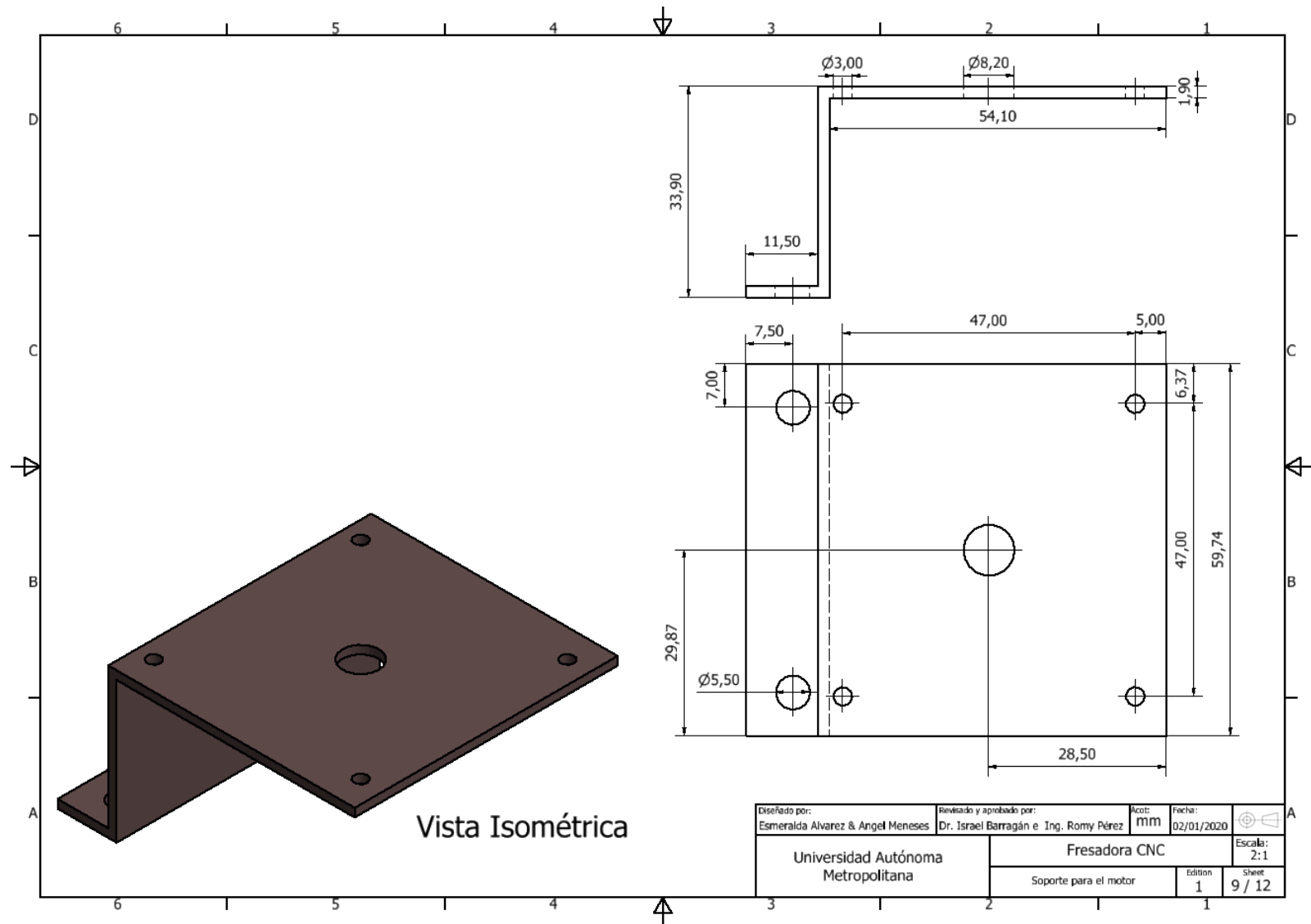


Plano 7: Placa eje z2.

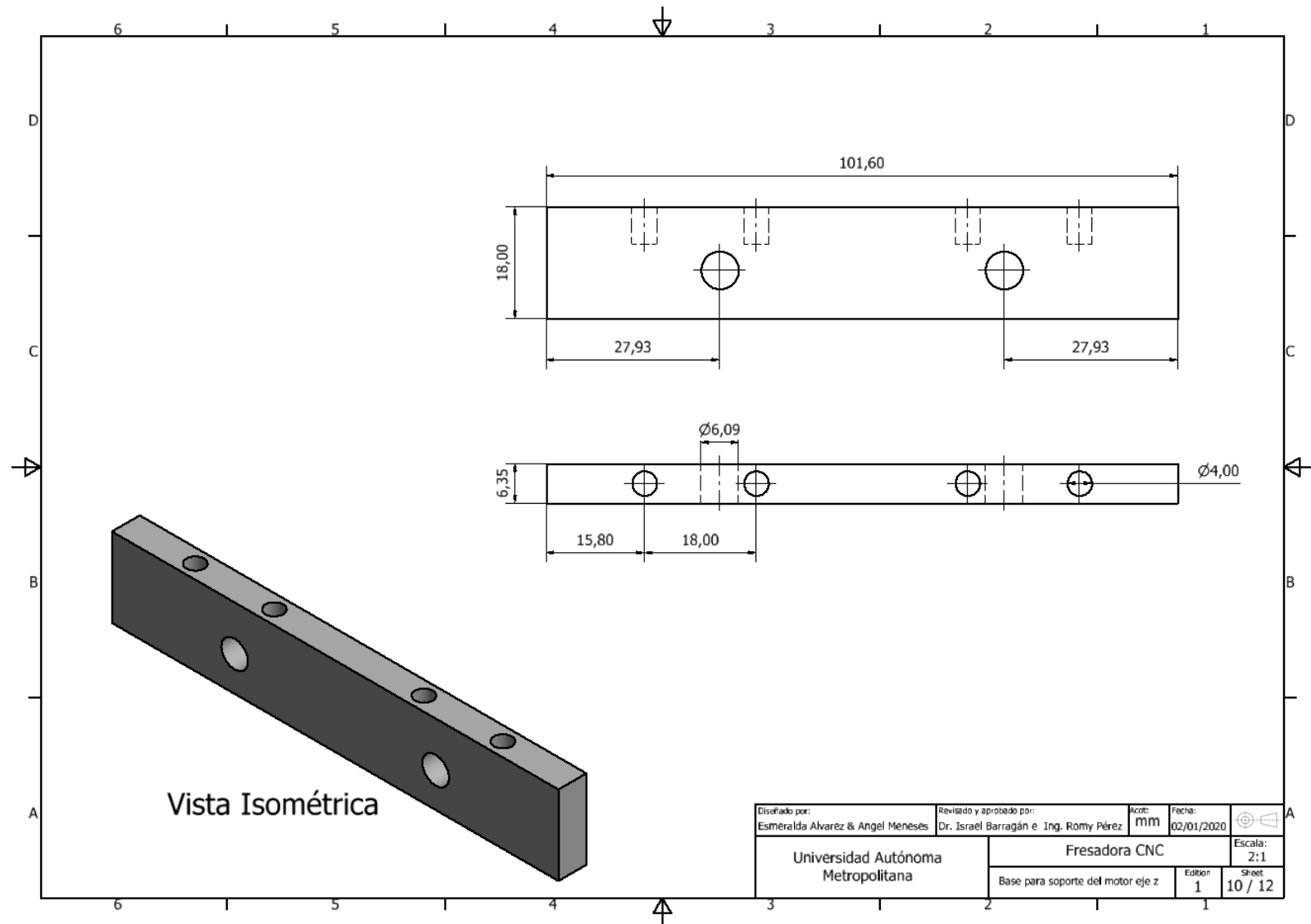


Plano 8: Solera para la mesa.

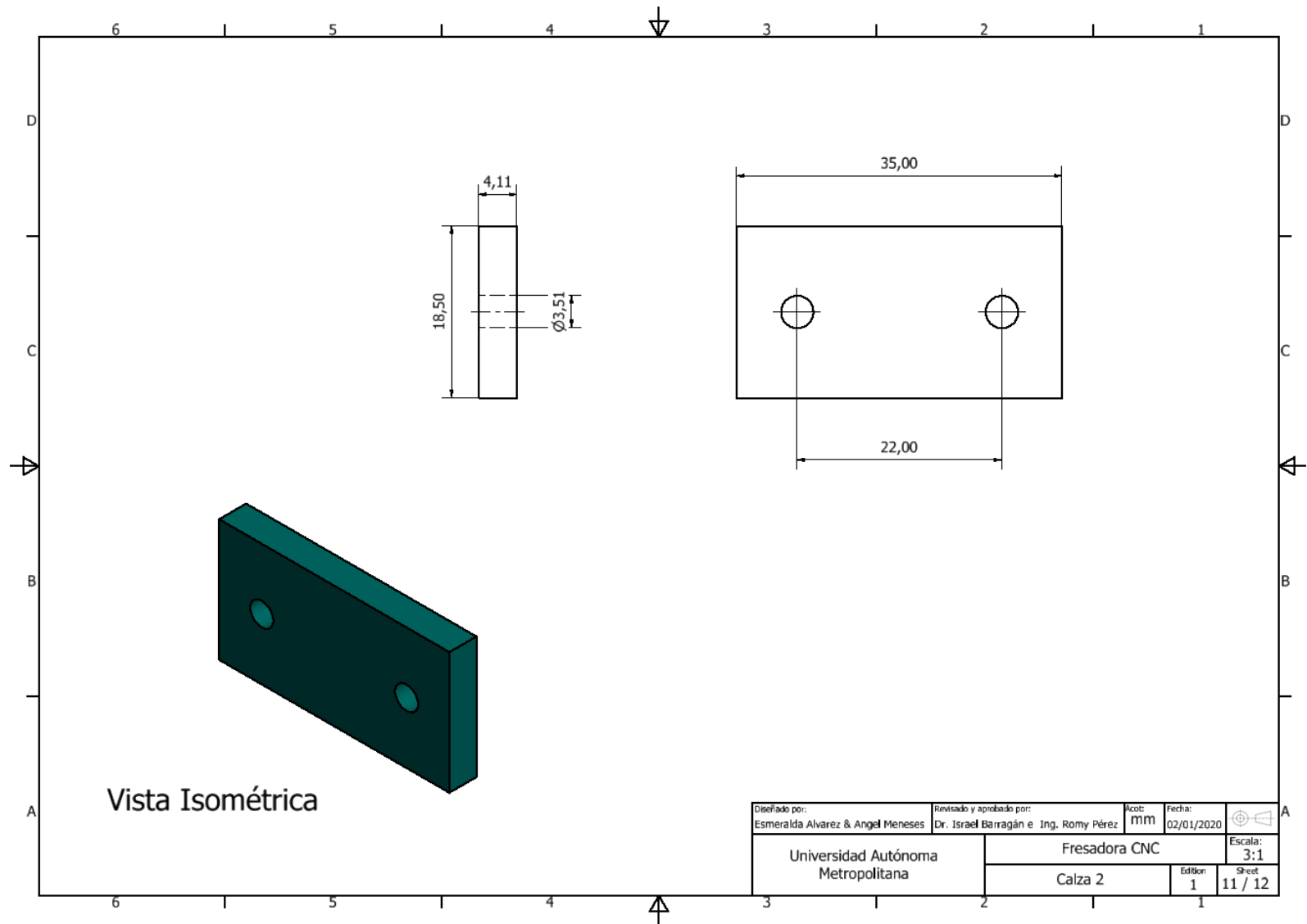




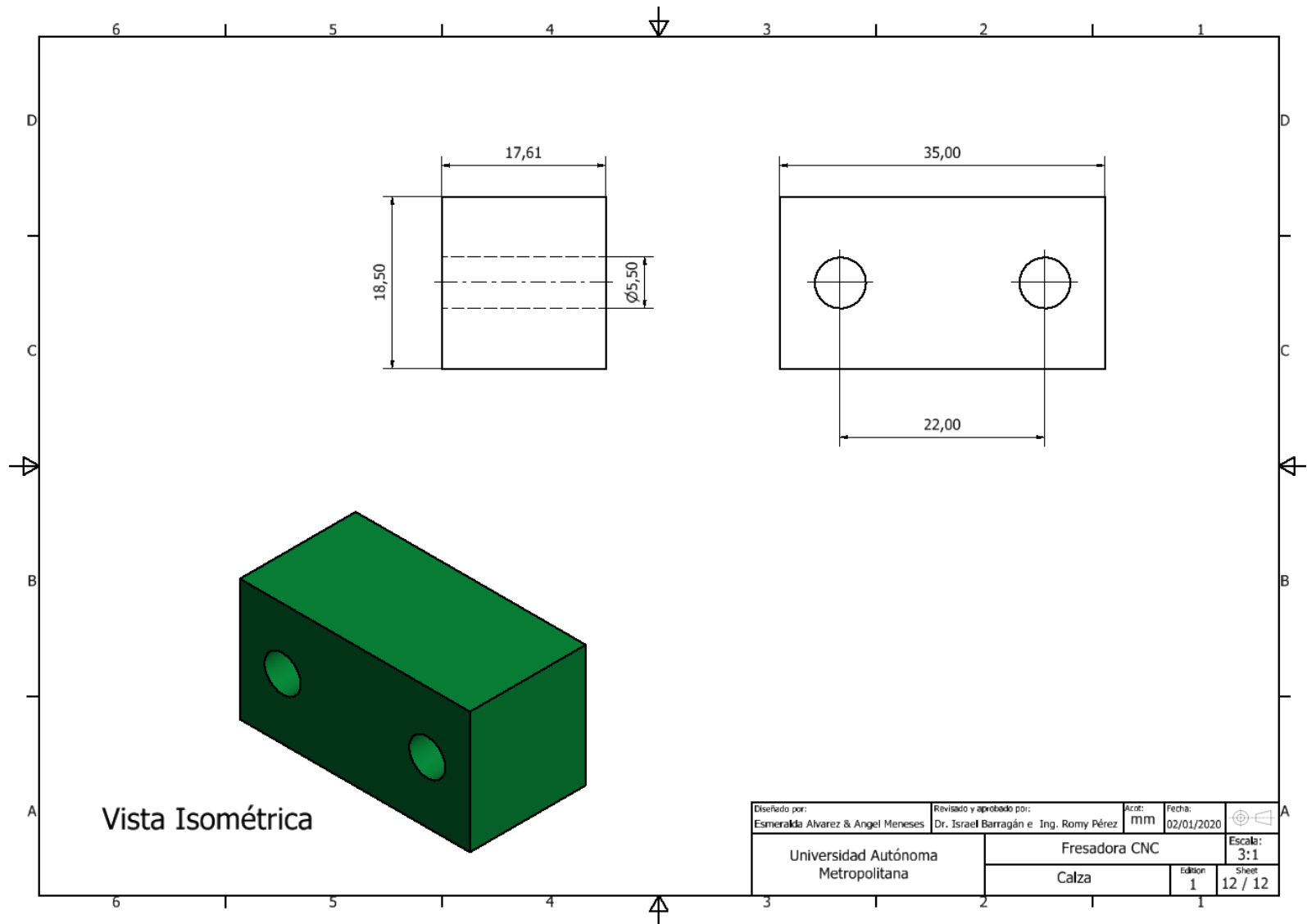
Plano 9: Soporte para el motor.



Plano 10: Base para el soporte del motor eje z.



Plano 11: Calza 2.



Plano 12: Calza.

## Bibliografías

- [1] 2013, "DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS", ¿Cómo funciona la fresadora CNC?, de <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>
- [2] Molina Portilla A.F., 2012, "Diseño, construcción y programación de un prototipo de maquina CNC para el fresado y perforado de placas de circuito impreso PCB", tesis para obtener título de Ingeniero Electrónico, Universidad de Nariño.
- [3] Riquelme García M., 2014," Diseño y fabricación de una fresadora CNC de 3 ejes para el mecanizado de PCB con plataformas de desarrollo abiertas", tesis para obtener título de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, Universidad Politécnica de Cartagena.
- [4] Dávila Alvarado C., Rangel Cordero M.E., 2018 "Diseño del sistema de movimiento para corte por plasma de placas de acero inoxidable", proyecto terminal para obtener el grado de Ingeniero Mecánico, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [5] Hernández Piña E.,2018, "Diseño y construcción de una fresadora de mesa CNC de 3 ejes", proyecto terminal para obtener título de Ingeniero Mecánico, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [6] 2014, "Tu Interfaz de negocios", La industria fundidora en México, de <https://tuinterfaz.mx/articulos/20/152/la-industria-fundidora-en-mexico/>
- [7] Cruz T. F., 2011, "Control numérico y programación", Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 2da ed., México.
- [8] Cruz T. F., 2011, "Control numérico y programación", Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 2da ed., México.
- [9] Cruz T. F., 2011, "Control numérico y programación", Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 2da ed., México.
- [10] "Departamento de ingeniería, Facultad de estudios superiores Cuautitlán", Programación automática de máquinas CNC, de [https://olimpia.cuautitlan.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m4/master\\_cam.pdf](https://olimpia.cuautitlan.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf)
- [11] Groover M. P., 1987 , "Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing", Prentice-Hall International Editions.
- [12] SISTEMAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (SCNC) Apunte de la Cátedra "E-284 Electrónica Industrial" Departamento de Electrotecnia Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata.

- [13] “SIEMENS”, SINUMERIK 802D sl Fresado – Manual de programación y manejo, de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/722/51089722/att\\_94820/v1/802Dsl\\_BPF\\_0311\\_es-es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/722/51089722/att_94820/v1/802Dsl_BPF_0311_es-es-ES.pdf)
- [14] Ramiro J.,2016, SlideShare, “SIEMENS 808 D FRESADORA”, de <https://www.slideshare.net/JoseRamiro8/siemens-808-d-fresadora>
- [15] Blogdiario,2016, “Velocidad de avance”, de <http://jhosfrankr.blogspot.es/tags/velocidad-de-avance/>
- [16] 2014,“Learning CNC strategies tips”, G43 G44 and G49 tool length compensation, de <http://cnc-programming-tips.blogspot.com/2014/12/g43-g44-and-g49-tool-length-compensation.html>
- [17] “Taller de tecnología, Departamento de diseño industrial, Universidad Nacional de la Plata”, Programación de control numérico ISO standard(Código G), de <https://es.calameo.com/read/002987479c659c2233b52>
- [18] Canto. C, “Motores de pasos o steppers motors”, Facultad de ciencias UASLP.
- [19] “DEMO E-DUCATIVA CATEDU”, Elementos mecánicos transformadores de movimiento, de [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1102/html/4\\_tornillotuerca.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1102/html/4_tornillotuerca.html)
- [20] Isakov E., “Engineering Formulas for Metalcutting”, Industrial Press.
- [21] Gross H., 1981, “Electrical Feed Drives For Machine Tool”, Siemens Aktiengesellschaft.
- [22] Altintas Y., 2012, “MANUFACTURING AUTOMATION, METAL CUTTING MECHANICS, MACHINE TOOL VIBRATIONS, AND CNC DESIGN”, 2<sup>da</sup> edición, University of British Columbia.
- [23] 2008,” Mach3 CNC Controller Software Installation and Configuration “, ArtSoft USA.
- [24] “MEM INDUSTRIAL”, Lo que debe saber sobre la calidad de corte en la madera, de <https://www.hfmexico.mx/MEMIndustrial/2018/03/scm-chapeadora-stefani-kd-lo-mejor-al-alcance-de-la-mano-2/>