



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**

**CONVERSIÓN DE UNA FRESADORA MANUAL  
A AUTOMÁTICA PARA USO DIDÁCTICO**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**  
P R E S E N T A:  
**SAMUEL PÉREZ GRANADOS**

**ASESOR INTERNO**

M. C. Andrés Aguilar Negrete

**ASESOR EXTERNO**

Dr. Osvaldo Flores Cedillo

### **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** DR. ARTURO MOLINA OCAMPO.  
**VOCAL:** DR. HORACIO MARTÍNEZ VALENCIA.  
**SECRETARIO:** ING. JAVIER MACEDONIO ANDRÉS.  
**1<sup>er</sup> SUPLENTE:** MTRO. ANDRÉS AGUILAR NEGRETE.  
**2<sup>o</sup> SUPLENTE:** DR. OSVALDO FLORES CEDILLO.

### **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

TAMULBA, FCQeING, UAEM  
INSTITUTO DE CIENCIAS FÍSICAS, UNAM

### **SUSTENTANTE**

SAMUEL PÉREZ GRANADOS

### **ASESOR INTERNO**

M. C. ANDRÉS AGUILAR NEGRETE

### **ASESOR EXTERNO**

DR. OSVALDO FLORES CEDILLO

## DEDICATORIA.

Primeramente, agradecer a Dios por la oportunidad que me dio de poder estudiar y concluir esta etapa de mi vida.

Dedicar este trabajo a mis padres, por el apoyo infinito que me dieron y las lecciones que me ensayaron que han sido de gran valor y estima para mí, ya que han formado mi carácter y la persona que soy hoy.

A mi padre que Dios tuvo en bien llamar a su presencia cuando estaba cursando esta carrera, pero sin sus enseñanzas, consejos y su ayuda no sería lo que soy, ya que por su trabajo como Ingeniero Eléctrico fueron las bases que me guiaron a la elección de esta hermosa carrera.

Mi madre, por todo lo que me ha ayudado y soportado, lo cual ha sido un gran pilar para mí.

A mi hermano, por ser no solo un hermano si no un amigo en el cual puedo confiar y por tenerme la paciencia para enseñarme, apoyarme y socorrerme en todo tiempo.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Al Doc. Osvaldo Flores Cedillo, por la oportunidad que me dio para llevar a cabo este proyecto y los acertados comentarios y dirección para desarrollar esta tesis.

A él M. C. Andrés Aguilar Negrete, por su gran apoyo en la elaboración y compendio de esta tesis y por todas las lecciones, conocimientos y experiencia que han formado una gran parte indispensable para mi formación profesional.

A el Instituto de Ciencias Físicas de la UNAM, por dejarme formar parte de este proyecto, también por las facilidades del préstamo de sus instalaciones para poder llevar a cabo las acciones requeridas y desarrollar todos los trabajos necesarios para lograr esta tesis y así poder a futuro apoyar a las generaciones venideras al culminar de la misma tesis, ya que la idea principal es dejar este proyecto para el estudio didáctico.

A mi universidad UAEM, por todos los conocimientos que pude adquirir a través de los maestros, profesores y doctores, que con entusiasmo impartieron en cada una de sus clases y han ido formando la experiencia y conocimientos en mi desarrollo profesional.

## INDICE.

JUSTIFICACIÓN.....	6
ALCANCES: .....	7
OBJETIVOS: .....	7
<b>Objetivo general:</b> .....	7
<b>Objetivo Particular:</b> .....	7
CAPITULO I.....	8
Introducción.....	8
CAPITULO II.....	9
Estudio del arte.....	9
<b>2. 1. Las maquinas herramientas a través del tiempo.</b> .....	9
<b>2. 2. Máquinas herramientas y el mecanizado.</b> .....	9
<b>2. 3. Antecedentes de la fresadora convencional.</b> .....	10
<b>2. 4. Fresado.</b> .....	12
<b>2. 5. Tipo de máquinas de fresado.</b> .....	14
2. 5. 1. Máquina fresadora horizontal. ....	14
2. 5. 2. Máquina fresadora vertical. ....	15
2. 5. 3. Máquina de fresar universal.....	15
2. 5. 4. Máquinas de fresar especiales. ....	15
<b>2. 6. Fresado Manual.</b> .....	16
<b>2. 7. Sistema CNC.</b> .....	16
<b>2. 8. Fresadora Automática (CNC).</b> .....	18
<b>2. 9. Software de diseño.</b> .....	20
2. 9. 1. CAD/CAM/CAE. ....	20
2. 9. 2. Códigos G y M. ....	24
<b>2. 10. Mecanismo de movimientos y actuadores.</b> .....	25
2. 10. 1. Actuadores.....	26
2. 10. 2. Sistema de transmisión electromagnética. ....	26
<b>2. 11. Motores eléctricos.</b> .....	27
2. 11. 1. Motores de corriente directa (DC). ....	27
2. 11. 2. Motores de corriente alterna (AC). ....	29
2. 11. 3. Motores de paso a paso. ....	30
CAPITULO III .....	33
Metodología del trabajo.....	33
<b>3. 1. Introducción.</b> .....	33
<b>3. 2. Diseño mecánico.</b> .....	33
3. 2. 2. Características del motor pasó a paso. ....	39
3. 2. 3. Diseño de las piezas de sujeción para los motores. ....	40

3. 2. 4. Selección de materiales. ....	44
3. 2. 5. Análisis de esfuerzos de las piezas las piezas de sujeción para los motores. ....	46
Información del modelo 1. ....	46
Propiedades del estudio 1. ....	48
Unidades a usar en el estudio 1. ....	48
Cargas y sujeciones del modelo 1. ....	49
Información de malla del modelo 1. ....	50
<b>Información de malla – Detalles del modelo 1.</b> ....	50
Resultados del estudio del modelo 1. ....	51
Información del modelo 2. ....	55
Propiedades del estudio del modelo 2. ....	56
Unidades para el estudio del modelo 2. ....	57
Cargas y sujeciones del modelo 2. ....	57
Información de malla del modelo 2. ....	58
<b>Información de malla – Detalles del modelo 2.</b> ....	59
Resultados del estudio del modelo 2. ....	60
Información del modelo 3. ....	64
Propiedades de estudio del modelo 3. ....	65
Unidades para el estudio del modelo 3. ....	65
Cargas y sujeciones del modelo 3. ....	66
Información de malla del modelo 3. ....	67
<b>Información de malla – Detalles del modelo 3.</b> ....	67
<b>Trazados de calidad de malla del modelo 3.</b> ....	68
Resultados del estudio del modelo 3. ....	69
3. 2. 6. Diseño electrónico. ....	72
3. 2. 7. Características de la placa controladora. ....	72
3. 2. 8. Características de la fuente transformadora. ....	73
CAPITULO IV. ....	75
Resultados y discusión. ....	75
<b>4. 1. Introducción.</b> ....	75
<b>4. 2. Ensamblado de componentes mecánicos.</b> ....	75
<b>4. 3. Prueba de ensamblaje de la mesa de trabajo.</b> ....	81
Conclusiones. ....	91
Recomendaciones para trabajos posteriores. ....	93
Bibliografía. ....	94
ANEXO A. Diagramas de las piezas maquinadas. ....	95

## JUSTIFICACIÓN.

Los sistemas de automatización y control en las últimas décadas han ocupado un espacio importante en los sectores industrial, educativo y doméstico. Generando un mayor desarrollo y mejorando la productividad de las empresas, por lo cual las aplicaciones de estos sistemas de automatización y control son fundamentales en el desempeño profesional del Ingeniero Mecánico.

Ante el avance tecnológico en sistemas de automatización y control automático además de que en la actualidad la mecánica va de la mano de los sistemas eléctrico y electrónico. Incrementándose día a día la importancia de la conversión de una máquina herramienta manual a una de tipo de control numérico por computadora (CNC). En el presente caso se presenta la conversión a CNC de una mini-fresadora que trabaja de manera manual, colocando en los ejes X y Y motores conectados a una tarjeta lógica operada con un software de programación de código "G".

La automatización de esta máquina herramienta tipo fresadora es de una gran ayuda para la elaboración de trabajos que requieren exactitud, precisión y de grandes cantidades de piezas u objetos. También aporta conocimientos en áreas básicas de control automático, que son utilizados en equipos convencionales en la industria y que deben desempeñar los Ingenieros Mecánicos.

El objetivo de transformar la máquina herramienta tipo fresadora es obtener un sistema con el cual poder interactuar, experimentar y obtener los conocimientos de operación de máquinas semejantes que se utilizan en la industria, talleres y laboratorios mecánicos.

## ALCANCES:

El alcance del presente proyecto contempla el diseño mecánico, eléctrico y de control de la máquina herramienta tipo fresadora, controlada por un PC, ya que se pretende que este al alcance de los alumnos con un fin didáctico. Así como también la puesta en marcha, el costo beneficio que tendría la conversión de la máquina, con todas sus partes y piezas, algunas de estas compradas en el mercado local y algunas otras de importación.

## OBJETIVOS:

### **Objetivo general:**

Modificar la máquina herramienta tipo fresadora con avance manual a control automático.

### **Objetivo Particular:**

- Diseño y construcción de piezas mecánicas.
- Búsqueda y selección de motores y una tarjeta lógica para poder operar la fresadora.
- Instrumentación de la máquina.
- Programación del software e implementación del código "G".
- Conocer el funcionamiento de la máquina de forma manual y automática.



## CAPITULO I

### Introducción.

La tecnología en la automatización avanza constantemente con el paso de los años, y se ha vuelto imprescindible el estudio y control de estos sistemas, para la implementación en las maquinas herramientas, ayudando en la producción y el desarrollo en procesos de fabricación.

La automatización requiere del uso de sistemas de control y de tecnología informática para reducir la necesidad de la intervención humana en un proceso. En el enfoque de la industria, automatización es el paso más allá de la mecanización en donde los procesos industriales son asistidos por máquinas o sistemas mecánicos que reemplazan las funciones que antes eran realizados por el mismo hombre o animales. Mientras en la mecanización los operadores son asistidos con maquinaria a través de su propia fuerza y de su intervención directa, en la automatización se reduce de gran manera la necesidad mental y sensorial del operador. De esta forma presenta grandes ventajas en cuanto a producción más eficiente y disminución de riesgos al operador.

En la automatización de la máquina herramienta tipo fresadora se requiere de conocimientos para la instrumentación y programación del equipo para implementar el funcionamiento óptimo y adecuado del software de código "G", permitiéndole al estudiante de ingeniería mecánica a desarrollar y poner en práctica las habilidades para desempeñar un trabajo muy requerido por la industria en el ámbito de mantenimiento de máquinas tipo herramientas.

## CAPITULO II

### Estudio del arte.

#### **2. 1. Las maquinas herramientas a través del tiempo.**

La revolución industrial generó profundos efectos en la sociedad y en la economía, la elaboración de bienes manufacturados sustituyó a la fabricación de bienes primarios. Las máquinas vernáculas construidas con madera para el procesamiento primario fueron reproducidas en acero, con mejoras tecnológicas para trabajar metales ferrosos y no ferrosos. Es así como aparecieron los tornos con torreta que alojan varias herramientas intercambiables, también se construyeron otras máquinas herramientas como cepilladoras, taladros, fresadoras, troqueladoras, etc.

Constantemente el diseño y manufactura de las máquinas herramientas se ven obligadas a optimizar su desempeño frente a los requerimientos cada vez más exigentes de la producción en serie, es por ello que dichas máquinas se mantienen en constante evolución.

#### **2. 2. Máquinas herramientas y el mecanizado.**

Se conoce como mecanizado al proceso de conformado, que da forma específica a piezas de máquinas de elementos estructurales, accesorios de mecanismos móviles y otros componentes; piezas de cualquier forma que cumplan funciones específicas.

Estos procesos de conformado se caracterizan por eliminar material excedente no deseado por arranque de viruta; para esto se desplaza sobre la superficie una herramienta de corte con dureza mayor a la del material de la pieza a conformar con cierta penetración y velocidad de avance.

Los procesos de conformado realizado por máquinas herramientas más comunes son: cizallado, torneado, fresado, rimado, taladrado entre otros.

### **2. 3. Antecedentes de la fresadora convencional.**

Una fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. Mediante el fresado es posible mecanizar los más diversos materiales como madera, acero, fundición de hierro, materiales sintéticos, etc. Además, las piezas fresadas pueden ser desbastadas o afinadas.

Eli Whitney fue el inventor de la fresadora universal [1], fue fabricante de armas y recibió en 1818 el encargo de fabricar miles de fusiles para el gobierno de los Estados Unidos de América.

Estudió la posible fabricación en serie y por esa necesidad diseño y construyó la primera máquina de fresar. Antes de ese momento, el metal era cortado con cinceles, lo que no sólo requería de experiencia, destreza y fuerza, sino de una excesiva cantidad de tiempo. La fresadora inventada por Whitney, empleaba una rueda dentada (similar a un engranaje), pero con las aristas afiladas y endurecidas, y ligeramente curvadas. Al girar la rueda (la fresa), los dientes golpeaban el metal, cual cinceles continuos, y la rotación de la fresa aseguraba la uniformidad de los golpes. En 1820, Robert Johnson [1] construye una fresadora en la que se aprecia un fuerte avance en la técnica de fresado.

Basado en la experiencia de sus antecesores, James Nasmyth construye en 1830 [1] una fresadora provista de un divisor para el mecanizado de tornillos hexagonales. Hacia

1830, la empresa Gay & Silver construyeron una fresadora que incorporaba el mecanismo de regulación vertical y un soporte para el husillo portaherramientas.

En 1848, el ingeniero Frederick W. Howe [2], diseñador de la empresa Robbins & Lawrence, diseñó y fabricó una fresadora más robusta y precisa, con polea de tres escalones y con desplazamientos en sentido vertical, horizontal y transversal. Fue la primera fresadora universal que incorporaba un dispositivo de copiado de perfiles. Por esas mismas fechas se dio a conocer la fresadora conocida como Lincoln, que incorporaba un carnero cilíndrico regulable en sentido vertical, que se elevaba junto con el husillo porta fresas.

En 1857, la empresa inglesa Sharp, Stewart y Co [2] construye la primera fresadora vertical. Pocos años después, en 1862, fabrica un nuevo modelo de fresadora vertical de doble montante. Ante la necesidad de resolver el fresado de engranajes helicoidales y rectos, Joseph R. Brown [2], diseña y construye el año 1862, la primera fresadora universal, equipada con divisor universal, consola con desplazamiento vertical, curso transversal y avance automático de la mesa longitudinal. El francés Pierre Philippe Huré [2], diseñó en 1874 una fresadora de doble husillo: vertical y horizontal, dispuestos a noventa grados y se posicionaba mediante giro manual. En 1984, la empresa Cincinnati construyó su primera fresadora universal, en la que se incorpora por primera vez un carnero cilíndrico, desplazable axialmente. En 1894, Huré [1] diseña un cabezal universal con el que se podían realizar diferentes mecanizados en diferentes posiciones de la herramienta, caracterizada por llevar incorporado un ingenioso cabezal universal, con el cual mediante previo movimiento giratorio podía trabajar en diversas posiciones.

En 1938 [3] surge la compañía Bridgeport Machines, Inc. en Bridgeport, Connecticut, la cual en las décadas posteriores se hace famosa por sus fresadoras verticales de

tamaño pequeño y mediano, esta máquina se hizo tan popular que muchos otros fabricantes crearon copias y variantes de ésta.

## 2. 4. Fresado.

El fresado es un proceso de mecanizado para la remoción de material en un bloque sólido de acero, aluminio, plástico, madera u otros materiales, realizado en una máquina herramienta denominada fresadora, la remoción del material lo realiza una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa ubicada en el eje Z, mientras que la mesa de la fresadora realiza movimientos en dos direcciones establecidas en los ejes X y Y, ver Figura 1.

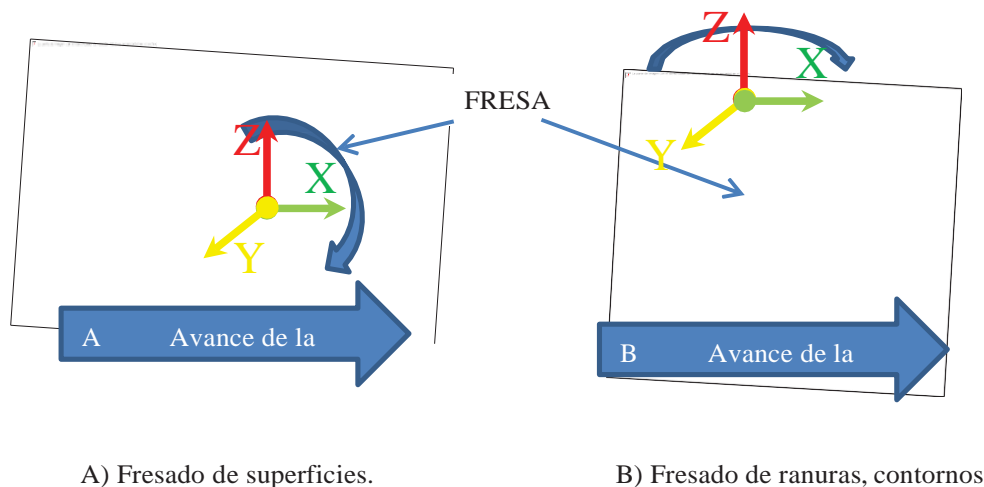


Figura 1. Diagrama de desplazamientos de una fresa.

Los movimientos de trabajo de la fresadora son:

- Movimiento de corte: rotación de la fresa (Giro de la herramienta).
- Movimiento de avance: desplazamiento rectilíneo de la pieza (X y Y).
- Movimiento de profundidad de pasada: desplazamiento vertical de la pieza (Z).

### Tipos de Maquinas Fresadoras:

- Máquina fresadora horizontal.
- Máquina fresadora vertical.
- Máquina fresadora universal.
- Máquinas de fresar especiales:

### Fresadora paralela.

- Fresadora de planear.
- Fresadora de roscas.
- Fresadora de ruedas dentadas.
- Fresadora de copiar.

Las herramientas de corte son fabricadas típicamente de acero rápido (HSS, por las siglas en ingles de High Speed Steel) en varias formas y tamaños, sin embargo, las herramientas de corte pueden obtenerse en materiales más duros, como son de carburos, nitruros o diamante para trabajos de materiales más duros o especiales.

El fresado puede funcionar con control computacional, llamado Control Numérico Computarizado, CNC por las siglas en ingles de Computer Numerical Control. El cual se está volviendo indispensable en la operación de las máquinas herramienta.

### Ventajas del fresado:

- Actualmente cualquier material puede ser fresado con una herramienta de corte apropiado.
- Fresado de partes complejas con detalles finos.
- Tolerancias de 0.001” a 0.003” son posibles.

Desventajas del fresado:

- Una gama reducida de características posibles. Ciertas características no son posibles ya sea por la limitación de herramientas de corte u operaciones, etc.
- Más pérdida de material que los otros procesos.
- Bastante lento.

Las máquinas utilizadas para producción industrial de fresado deben incorporar:

- Motores de velocidad variable
- Tornillo de bola o equipo de precisión con gusano hidrostático y rodamientos
- Línea hidrostática
- Software de CNC
- Controles automáticos de avance (X, Y y Z) y paro.
- Cambio automático de herramientas de corte.

Los parámetros de operación dependen del tipo de herramienta a utilizar, su material y el material a fresar, con la combinación de estos elementos se consigue un trabajo eficiente en el menor tiempo posible.

## **2. 5. Tipo de máquinas de fresado.**

### **2. 5. 1. Máquina fresadora horizontal.**

Esta máquina es ideal para toda clase de trabajos de fresado. Su característica es el husillo de fresar dispuesto horizontalmente.

El proceso de fresado realizado por esta máquina se denomina fresado horizontal o cilíndrico. En el fresado horizontal la fresadora experimenta una carga irregular en virtud de la forma de coma de las virutas. Es difícil evitar un ligero golpe en la periferia, cuya consecuencia es una señal ondulada que se forma a cada revolución de la fresa.

### 2. 5. 2. Máquina fresadora vertical.

Con esta máquina se realizan principalmente trabajos de fresado vertical o frontal. El husillo de fresar está dispuesto verticalmente en el cabezal porta fresas. Este cabezal puede girar de tal modo que el husillo puede adoptar también una posición inclinada.

En el fresado frontal, cada diente arranca una viruta de espesor uniforme. La carga de la fresadora es por esta razón uniforme. El rendimiento de viruta es, por lo general, un 15 a 20% más alto que en el fresado cilíndrico. El pequeño golpe que pueda producirse en la periferia de la fresa frontal no tiene influencia alguna sobre el acabado de la superficie por lo que las superficies obtenidas presentan una superficie más lisa.

### 2. 5. 3. Máquina de fresar universal.

La característica principal de esta máquina es la de que la mesa de fresar puede girar hacia la derecha o hacia la izquierda. Con esto se hace posible la ejecución de muchos más trabajos, como, por ejemplo, el fresado de ranuras en espiral.

### 2. 5. 4. Máquinas de fresar especiales.

Entre estas se encuentran:

- La fresadora paralela que sirve para trabajar piezas de grandes dimensiones y pesadas, la fresadora para planear que realiza trabajos en serie.
- Máquinas de fresar roscas, como su nombre lo indica, para fresar roscas, máquinas fresadoras para ruedas dentadas para realizar ruedas dentadas.



- Máquinas fresadoras para copiar que sirven para mecanizar piezas provistas de superficies de límites irregulares por medio de plantillas.

## 2. 6. Fresado Manual.

La fresadora es una máquina herramienta que permite el desplazamiento de la fresa para mecanizar superficies planas, realizar ranuras conformar geometrías específicas e incluso puede maquinar superficies curvas o alabeadas, muchas fresadoras manuales tienen dispositivos mecánicos que permiten el movimiento de la mesa en los ejes X, Y o de la porta herramienta en el eje Z, donde se alojan las fresas.

La fresadora manual dispone de todos los elementos y accesorios mecánicos necesarios para cumplir con los procesos de arranque de viruta por fresado, a la misma se implementa los elementos electro-mecánicos y electrónicos para la automatización, más adelante se indica las partes principales que debe poseer una fresadora CNC.

## 2. 7. Sistema CNC.

En 1725 una forma de Control Numérico ideado por Joseph Jacquard [4] se utilizó en un telar en los primeros tiempos de la revolución industrial. Utilizaba tarjetas perforadas y permitía realizar tejidos con dibujos de gran complejidad por medio del accionamiento de los lizos y lanzaderas con sistemas mecánicos a través de perforaciones en unas plantillas de cartón. El sistema fue utilizado posteriormente en 1897 en las pianolas para tocar música, que utiliza rollos de papel perforado, a través del cual pasa el aire para controlar el orden en que se reproducen automáticamente las teclas [5].

En 1942 la empresa americana Bendix Corporation demandó una máquina especial para fabricar piezas de aeronáutica imposibles de fabricar por métodos manuales,

puesto que se requería el movimiento sincronizado de varios ejes. Fue entonces cuando se pensó en desarrollar una máquina capaz de generar trayectorias de este tipo [6].

En 1949, Parsons Corporation se adjudicó un contrato con la Fuerza Aérea de los Estados Unidos de América para construir lo que se convertiría en la primera máquina de control numérico [7]. Parsons subcontrato este estudio al Laboratorio de Servomecanismos del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Fue en 1953 que el MIT, a iniciativa del gobierno americano presenta la primera fresadora de Control Numérico con movimientos simultáneos en tres ejes. En un periodo muy corto de tiempo, muchos fabricantes de máquinas-herramientas produjeron máquinas de Control Numérico [7].

Las primeras máquinas de Control Numérico trabajaban con tarjetas y cintas perforadas, pero no fue hasta la década de los 70's cuando al aparecer el microprocesador se comenzó una verdadera revolución en las máquinas, ya que tanto su velocidad de cálculo como la complejidad de funciones que puede llevar a cabo, hace que dichos controles permitan una gran flexibilidad, permitiendo la comunicación con el operador y una mayor facilidad de programación. Es así cuando el Control Numérico pasa a ser Control Numérico Computarizado (CNC), por la integración de una computadora al sistema. Pero fue en los años 80's cuando se produce la aplicación generalizada del CNC debido al desarrollo alcanzado en la electrónica e informática. Los lenguajes se van simplificando al mismo tiempo que se van desarrollando sistemas CAD (por las siglas en ingles de Computer Aided Design) de ayuda en el diseño y la programación de formas complicadas.

Al mismo tiempo la intercomunicación con computadoras de gran capacidad ha permitido un gran desarrollo en su utilización, así como la posibilidad del DNC (Direct

Numerical Control) que permite que la computadora pueda accionar al control numérico desde una estación central remota para la transmisión de programas muy grandes y complejos [6].

Además de la implementación del Control Numérico en las fresadoras, éste se ha incorporado a una gran variedad de máquinas-herramienta como el torno, el taladro, mandriladoras, etc. Pero rápidamente se comprobó que existía un potencial en la automatización, superior al que podía obtenerse de las máquinas clásicas, fue así como se introdujo una nueva forma en las máquinas: los centros de maquinado. Nace así una máquina-herramienta capaz de taladrar, torneear, fresar, roscar, incluyendo el cambio automático de las herramientas.

Existen diversos fabricantes de fresadoras de Control Numérico Computarizado y de controles CNC, entre ellos unas compañías fabrican controles CNC que se utilizan para rehabilitar fresadoras de control numérico, pero también existe la posibilidad de convertir fresadoras convencionales en máquinas de Control Numérico Computarizado utilizando controles CNC, a este proceso se le conoce como retrofit.

## **2. 8. Fresadora Automática (CNC).**

La aplicación de elementos de control eléctrico en las fresadoras fue introducida en la década de los años 50 para automatizar los procesos de producción de las piezas modeladas. Las investigaciones sobre el control automático se han ido incrementando en función de la evolución de la tecnología y de los nuevos materiales. La tecnología mecánica, eléctrica y electrónica con investigaciones en sistemas digitales y de materiales se han fusionado en los sistemas de control CNC, para llegar a obtener cada

vez máquinas herramientas de mayor exactitud y con tiempos de producción sumamente cortos.

La automatización aplicada a una máquina herramienta trasmuta el sistema de control manual a un sistema automático controlado por elementos mecánicos, actuadores eléctricos y electrónicos, así como a las fresadoras que se les ha implementado un control numérico computarizado para automatizarlas; estas fresadoras son un ejemplo de automatización programable CNC.

En busca de una definición de las fresadoras automáticas CNC para su mejor comprensión, se tiene que separar las funciones de la máquina en sus partes principales, que son: la máquina herramienta CNC, controladores numéricos computarizados, actuadores y sensores, los que son accionados manualmente y automáticamente, para iniciar el entendimiento de este planteamiento observemos la secuencia del maquinado CNC de una pieza en la Figura 2.



Figura 2. Secuencia del mecanizado CNC.

## 2. 9. Software de diseño.

Hoy, los modernos sistemas CAD/CAM proporcionan cada vez más herramientas poderosas, que restringe la necesidad de crear los modelos físicos ahorrando en gastos de preproducción.

El sistema SKETCHPAD, desarrollado por Ivan Sutherland en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), en 1962 [8], puede considerarse como el inicio del CAD. El aspecto revolucionario de dicho sistema era que permitía al usuario la capacidad de interactuar gráficamente con la computadora, a través de una presentación visual y un lápiz óptico. Estos modelos evolucionarían más tarde para pasar al desarrollo de dibujos de dos a tres dimensiones.

La historia del software CAD se encuentra muy vinculada con el desarrollo de hardware por computadora. En la década de los sesenta y setenta la mayor parte de este tipo de soluciones fue aplicado por las grandes compañías de defensa, los fabricantes de automóviles y la industria aeroespacial.

### 2. 9. 1. CAD/CAM/CAE.

Las herramientas CAD “Computer Aided Design” (Diseño asistido por computador) permiten que el diseñador dé rienda suelta a su creatividad para, finalmente, conceptualizarla de forma virtual. Este software toma los elementos básicos del dibujo técnico para hacer más fácil la generación de formas y su visualización con perspectiva en 3D desde cualquier punto del observador. Al modelo se le pueden introducir dimensiones y se puede documentar por medio de planos con todas las especificaciones necesarias para su producción.

Además, es posible obtener la explosión en tercera dimensión (3D) de los materiales y componentes, no sólo del ensamble final, sino también de los subensambles de forma rápida, sencilla y sin perder perspectiva. Gracias a la capacidad de almacenamiento de información de las computadoras actuales, se puede tener una amplia base de datos de una gama de productos. Esto es de gran ayuda para realizar nuevos diseños, mezclas y modificaciones posteriores sobre productos estándar, sin la necesidad de iniciar de cero un nuevo diseño ya que se pueden extraer directamente de las librerías creadas previamente.

En las tareas de simulación, control y administración de la manufactura de los productos, se emplean las aplicaciones CAM “Computer Aided Manufacturing” (Manufactura asistida por computador). Este software es de gran utilidad si pensamos que la realización de un prototipo, así como su prueba en una línea de producción se traduce en costos muy altos. Al emplear este tipo de software, se cuenta con la opción de simular el proceso de manufactura con las diferentes formas del producto en la computadora para que, de esta manera, se ejecute la planeación de todo el instrumental necesario.

Una vez probada la simulación se puede obtener los códigos de control para las diferentes máquinas automáticas como tornos, fresadoras, electroerosionadoras, cortadoras por láser o por chorro de agua, e incluso robots y centros de maquinado. A grandes rasgos el CAM se ubica en un nivel operativo para el control de máquinas herramienta.

El CAE “Computer Aided Engineering” (Ingeniería asistida por computador) permite hacer pruebas y análisis del desempeño del producto bajo ciertas condiciones. Es decir, se puede elegir el material que se planea utilizar en la producción de ciertas piezas y obtener el desempeño mecánico (esfuerzos, deformación y fatiga) no sólo del material

sino de la pieza en sí, bajo las condiciones normales de operación en las cuales se predice su funcionamiento.

Se puede determinar, si el diseño y los materiales tendrán la resistencia suficiente y/o adecuada para los procesos de fabricación, así como la utilidad para la cual se destinaron. También es posible realizar los análisis de esfuerzos, de transferencia de calor, de flujo de fluidos, aerodinámicos, de llenado de moldes, de inyección, y cinemáticas, entre otros.

En las tres herramientas se explotan los beneficios de la incorporación del uso de las computadoras y del software especializado en los procesos productivos. Gracias a ello podemos gozar de gran capacidad de almacenamiento, transferencia de archivos, visualización tridimensional, velocidad de procesamiento, modificación inmediata y correspondencia (asocia actividad) en los cambios de un módulo a otro al trabajar sobre una misma base de datos.

La tendencia actual, gracias al software, es la concurrencia en las funciones. El tiempo de desarrollo de un producto se acorta debido al traslape de funciones y la concurrencia de actividades. Ya no se puede hablar de ningún proceso aislado, más bien la interdependencia entre los distintos departamentos que conforman una empresa se hace cada vez más fuerte debido a que lo que pase en alguno de ellos forzosamente afectará a los demás. Es así como ahora el diseño se convierte en parte esencial del proceso productivo.

Para las soluciones de alto nivel, que abarca las tres herramientas CAD/CAM/CAE sólo se pueden emplear en estaciones de trabajo robustas, existe software como CATIA, que hace más eficiente el manejo de superficies para modelar piezas con formas complejas más fácilmente.

Otro caso es el de PRO/ENGINEER que permite trabajar con piezas regulares y familias de partes (piezas que son similares pero que tienen una modificación respecto a otra). Su capacidad paramétrica facilita la generación de familias de partes con modificaciones instantáneas en toda la familia.

También tenemos el SOLIDWORKS (CAD) con el SOLIDCAM (CAM) y el COSMOS (CAE) que proviene de la familia de los fabricantes software de CATIA (es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora comercial realizado por Dassault Systèmes).

Existen otros programas, como IDEAS, para modelados mediante el empleo de formas preestablecidas y UNIGRAPHICS, cuya presentación y gráficas ayudan a observar el modelo de la pieza con mayor claridad.

Existen otros sistemas de niveles inferiores cuyo diseño es específico para cierto tipo de aplicación individual, ya sean sólo CAD, CAM o CAE.

La tendencia en los CAD apunta hacia el modelado por medio de sólidos y datos paramétricos (con la capacidad de modificar cualquier valor). En el CAM podría haber una integración en lo que se refiere a la generación de códigos para el manejo de celdas flexibles de manufactura (procesos en los cuales se puede cambiar el proceso con pequeñas modificaciones sobre el mismo para la elaboración de un producto similar de diferentes características) y no máquinas automáticas aisladas. Además, se podrían incorporar elementos de realidad virtual, con el fin de ver el producto terminado desde cualquier ángulo como si uno estuviera adentro de éste.



## 2. 9. 2. Códigos G y M.

El código ISO comúnmente conocido como el lenguaje G, está compuesto por unas letras que siempre van en mayúsculas y se les conoce como direcciones. Las letras se combinan con números y a ese conjunto se le llama instrucción, varias instrucciones en la misma línea se llama bloques; la máquina CNC ejecuta órdenes por bloques. Los códigos que incluyen los bloques son los G y M, los cuales se describen a continuación. (Ver Figura 3 y 4).

Los códigos G son funciones preparatorias, hacen referencia al modo y forma de realizar las trayectorias. Los códigos M son funciones auxiliares, hacen referencia al funcionamiento de la máquina herramienta y el control numérico [9].

Código	Función
G00	Travesía rápida
G01	Interpolación lineal
G02	Interpolación circular en sentido horario
G03	Interpolación circular en sentido anti horario
G20	Entrada de datos en Sistema Inglés (pulgadas)
G21	Entrada de datos en Sistema Métrico Decimal (mm)
G28	Regresa al punto de referencia
G40	Cancela compensación del cortador
G41	Compensación izquierda del cortador
G42	Compensación derecha del cortador
G90	Sistema de coordenadas absoluto
G91	Sistema de coordenadas incremental
G94	Avance por minuto
G95	Avance por revolución

Figura 3. Lista de códigos G para fresadoras CNC.

Código	Función
M02	Reset del programa
M03	Movimiento del husillo en sentido horario
M04	Movimiento del husillo en sentido anti horario
M05	Paro del husillo
M06	Cambio de herramienta
M08	Aspersión del refrigerante
M09	Desactiva refrigerante
M98	Llamada subprograma
M99	Finalización de subprograma

Figura 4. Lista de códigos M para fresadores CNC.

## 2. 10. Mecanismo de movimientos y actuadores.

La función que cumplen los actuadores y sensores es manipular los movimientos que requiere el proceso de maquinado en las fresadoras de 3 a 9 ejes, delimitando el posicionamiento la velocidad de giro de la herramienta el desplazamiento y la velocidad de la mesa o la pieza a maquinar.

El sistema de control de movimiento y potencia es la parte implementada en la fresadora CNC que efectúa los desplazamientos de los ejes X, Y, Z u otros ejes, para el proceso de arranque de viruta. En el estudio de la fresadora vertical de torreta CNC se distinguirá los tres ejes más usuales de la fresadora.

La herramienta fresa gira alrededor del eje Z generando el arranque de viruta, su revolución es función de los parámetros del maquinado programado. El desplazamiento positivo o negativo en este eje realiza la penetración y retroceso de la herramienta

fresa, mientras que la mesa desplaza la pieza en los ejes X, Y para dar la forma geométrica requerida.

### 2. 10. 1. Actuadores.

Los actuadores son los encargados de generar los movimientos de la máquina de acuerdo a las órdenes provenientes del control numérico computarizado; estos actuadores están conformados por los sistemas de transmisión electromecánica y sensores de posicionamiento para medir el desplazamiento de la herramienta de corte.

### 2. 10. 2. Sistema de transmisión electromagnética.

Las máquinas herramientas ocupan diferentes tipos de sistemas de transmisión accionados por varias fuentes de energía como, energía hidráulica, energía neumática, energía magnética.

Para el diseño y selección del control CNC de la fresadora es conveniente tener una idea básica del tipo de energías que utilizan las máquinas herramientas para su funcionamiento, dejando en claro que la mayoría de máquinas herramientas hoy en día se han inclinado a utilizar energía electromagnética para el desplazamiento de los elementos mecánicos por razones obvias como, espacios más reducidos e inversión económica menor, por esta razón nos concentraremos en el análisis de los motores eléctricos.

## 2. 11. Motores eléctricos.

Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en los robots industriales actuales. Los motores eléctricos son elementos fundamentales en la automatización a causa de su bajo costo, así como de las prestaciones que ofrece para la obtención de movimiento a partir de energía eléctrica.

Dentro de los motores pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- Motores de corriente directa (DC).
  - Controlados por inducido
  - Controlados por excitación
- Motores de corriente alterna (AC).
  - Síncronos
  - Asíncronos
- Motores de paso a paso.

### 2. 11. 1. Motores de corriente directa (DC).

En la actualidad los motores de corriente directa son los más usados debido a su facilidad de control. Los motores de DC están contruidos por dos devanados internos, inductor e inducido, que se alimentan con corriente continua.

El inductor, también llamado devanado de excitación, está situado en el estator y crea un campo magnético de dirección fija, denominado de excitación. El inducido, situado en el rotor, hace girar al mismo gracias a la fuerza de Lorentz que aparece como combinación de la corriente circulante por él y el campo magnético de excitación.

Recibe la corriente del exterior a través del colector de delgas, en el que se apoyan unas escobillas de grafito. El colector de delgas es el encargado de conducir el voltaje inducido a través de las escobillas; está constituido por un número determinado de láminas de cobre llamadas delgas, las cuales quedan aisladas entre sí mediante láminas aislantes.

El devanado inductor puede ser sustituido por imanes, que generan de manera equivalente un campo magnético constante. Para que se pueda realizar la conversión de energía eléctrica en energía mecánica de forma continua, es necesario que los campos magnéticos del estator y del rotor permanezcan estáticos entre sí.

Asimismo, al aumentar la tensión del inducido aumenta la velocidad de la máquina. Si el motor está alimentado a tensión constante, se puede variar la velocidad variando el flujo de excitación. Pero cuanto más débil sea el flujo, menor será el par motor que se puede desarrollar para una intensidad de inducido constante. En el caso de control por inducido, la intensidad del inductor se mantiene constante, mientras que la tensión del inducido se utiliza para controlar la velocidad de giro. En los motores controlados por excitación se actúa, al contrario. Además, en los motores controlados por inducido se produce un efecto estabilizador de la velocidad de giro, originando por la realimentación intrínseca que posee a través de la fuerza contra electromotriz. Por estos motivos, de los dos tipos de motores de DC, es el controlado por inducido el que se usa en el accionamiento de robots.

Para mejorar el comportamiento de este tipo de motores, el motor de excitación se genera mediante imanes permanentes. En el motor de imanes permanentes no se usan bobinas de campo y el campo es producido por los imanes permanentes. Algunos motores de imanes permanentes tienen bobinas devanadas sobre los polos de imanes, pero éstas sólo sirven para recargar los imanes si su fuerza falla. Debido al hecho de

que el flujo de campo es una constante, el par torsional de estos motores es directamente proporcional a la corriente de la armadura. Dos tipos de configuración de imanes permanentes son los de tipo cilíndrico y de disco. El motor que comúnmente se utiliza en robots industriales es el motor cilíndrico.

El motor de corriente continua presenta el inconveniente del obligado mantenimiento de las escobillas.

Además, las conmutaciones de estas originan chispas eléctricas que pueden ser inaceptables en, por ejemplo, ambientes con riesgo de explosión. Para evitar estos problemas se diseñaron motores sin escobillas (brushless) que consisten básicamente en una secuencia de la bobina del estator y un rotor de imanes permanentes. En el motor de DC convencional, el imán está fijo y hace que los conductores de corriente se muevan. En el motor de DC de imanes permanentes sin escobillas el mecanismo es construido a la inversa, los conductores de corriente están fijos y el imán se mueve.

## 2. 11. 2. Motores de corriente alterna (AC).

Hasta hace muy poco, los motores de AC no se habían considerado apropiados para los robots debido a los problemas involucrados en el control de sus velocidades. En principio mientras más alta sea la frecuencia de la corriente alterna aplicada al motor, más rápidamente girará. Sin embargo, las mejoras que han introducido en las máquinas síncronas hace que en la actualidad sea la alternativa más utilizada en los robots industriales.

En los motores síncronos, la velocidad de giro depende únicamente de la frecuencia de la tensión que alimenta el inducido. Para poder variar esta precisión, el convertidor de

velocidad se realiza mediante un convertidor de frecuencia. Par evitar el riesgo de pérdida de sincronismo se utiliza un sensor de posición del robot y permite mantener en todo momento el ángulo que forman los campos del estator y del rotor. En el caso de los motores asíncronos, no se ha conseguido resolver satisfactoriamente los problemas de control que presentan, en efecto ha hecho que hasta el momento no tenga aplicación en robótica.

El motor de inducción monofásico con rotor de jaula de ardilla consiste, como su nombre lo indica, en un rotor de jaula de ardilla que caben en ranuras en los anillos extremos para formar circuitos eléctricos completos. Cuando una corriente alterna pasa a través de los devanados de estator, se produce un campo magnético alternativo. Como resultado de la inducción electromagnética, fuerzas electromagnéticas son inducidas en los conductores del rotor y el flujo de corriente en el rotor.

El motor de inducción trifásico es parecido al motor de inducción monofásico, pero tiene un estator con tres devanados ubicados espacialmente a  $120^\circ$  uno de otro, donde cada devanado está conectado a una de las tres líneas del suministro. El motor trifásico tiene una gran ventaja sobre el motor monofásico por ser de arranque automático. El sentido de rotación se invierte por el intercambio de cualquiera de dos de las conexiones de línea, lo que cambia el sentido de rotación del campo magnético.

### 2. 11. 3. Motores de paso a paso.

Los motores del tipo paso a paso generalmente no se han considerado dentro de los sistemas de accionamiento de uso industrial, debido principalmente a que los pares disponibles eran muy pequeños y los pasos entre posiciones consecutivas eran demasiado grandes. Esto implicaba su limitación en aplicaciones de control de posición

simple. Actualmente se han mejorado sus características técnicas, especialmente en la parte de control, lo que ha llevado a fabricar motores paso a paso con un par suficiente en pasos pequeños.

Existen tres tipos de motores a pasos:

- De imanes permanentes.
- De reluctancia variable.
- Híbridos.

Los motores de pasos tienen entre sus características principales:

- Exactitud en la posición y repetición de movimientos con un margen de error de 3 a 5%, el cual no es acumulativo de un paso al otro.
- Variedad de rangos de velocidad de rotación con la misma proporcionalidad de la frecuencia de pulsos de entrada.
- Bajo mantenimiento por no tener escobillas que se desgasten.
- Son fabricados para trabajar en un rango de frecuencias, determinadas por el fabricante y si rebasa dicho rango generara pérdida de sincronización.
- A ciertas frecuencias de funcionamiento el motor sufre una resonancia y pérdida de paso, por lo que deben ser evitadas.
- Deben elegirse de manera que trabajen dentro del 40 al 60 % de su torque máximo.

También tienen aplicaciones típicas, como elementos de mando y control para mecanismos que requieren precisión de maniobra.



El motor a pasos de imanes permanentesn posee un rotor con polarización magnética constante que gira para orientar sus polos de acuerdo al campo magnético creado por las fases del estator. Los valores de los ángulos de paso que se producen comúnmente en este tipo de motor son:  $1.8^\circ$ ,  $7.5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $34^\circ$  y  $90^\circ$ .

En los motores del tipo de reluctancia variable, el rotor está formado por un material ferromagnético que tiende a orientarse de modo que facilite el camino de la fuerza del campo magnético formado por la bobina de estator. Este tipo de motor a pasos generalmente opera a ángulos de  $7.5^\circ$  y  $15^\circ$ .

Los motores a pasos del tipo híbrido combinan las características de los motores de imanes permanentes y de reluctancia variable, teniendo un imán permanente interconectado en cubiertas de hierro que están cortadas para tener dientes. El rotor se coloca en la posición de reluctancia mínima en respuesta a que se estén energizando un par de bobinas del estator. Los ángulos de operación normalmente son de  $0.9^\circ$  y  $1.8^\circ$ .

## CAPITULO III

### Metodología del trabajo.

#### 3. 1. Introducción.

La implementación del sistema CNC se establece en este capítulo, para esto se modificará una mini fresadora marca VCR Group Incorporated Mod. 10. 1000 Serial. 9773, fabricada en E. U. A. Este equipo originalmente solo cuenta con una base para fijar placas, no cuenta con una mesa de desplazamiento X y Y, por lo que el primer paso fue conseguir una mesa X-Y que permita ser modificada para instalar un control CNC. Los cambios requeridos en la fresadora están sujetos a la compatibilidad de la máquina, ya que es un modelo fuera del mercado y los costos de las piezas sean accesibles.

#### 3. 2. Diseño mecánico.

Existen varios tipos de fresadoras que cumplen con funciones específicas de maquinado o fresado, uno de los más versátiles de fresadoras son las fresadoras verticales de torreta. En la Figura 5, se muestra la mini-fresa a modificar de control manual a CNC. En la imagen se muestra la fresa, la mesa X-Y en primer plano y atrás la fuente y el control digital a ser instalados. Cabe mencionar que por las características del modelo de fresa no es posible adaptar el eje Z. La fresa cuenta con control en Z de brazo de palanca con el sistema de medición mecánico combinado de perilla (macro, ver Figura 6) y del tipo de caratula (micro). El diámetro máximo de las herramientas de corte es de 1/8 de pulgada. En la Figura 6 se muestra el juego de poleas para modificar la velocidad de la fresa, son posibles 4 combinaciones de poleas y cuenta además con

un potenciómetro para variar la velocidad (perilla negra). En la Figura 7 se muestran las partes principales de la fresa a modificar.

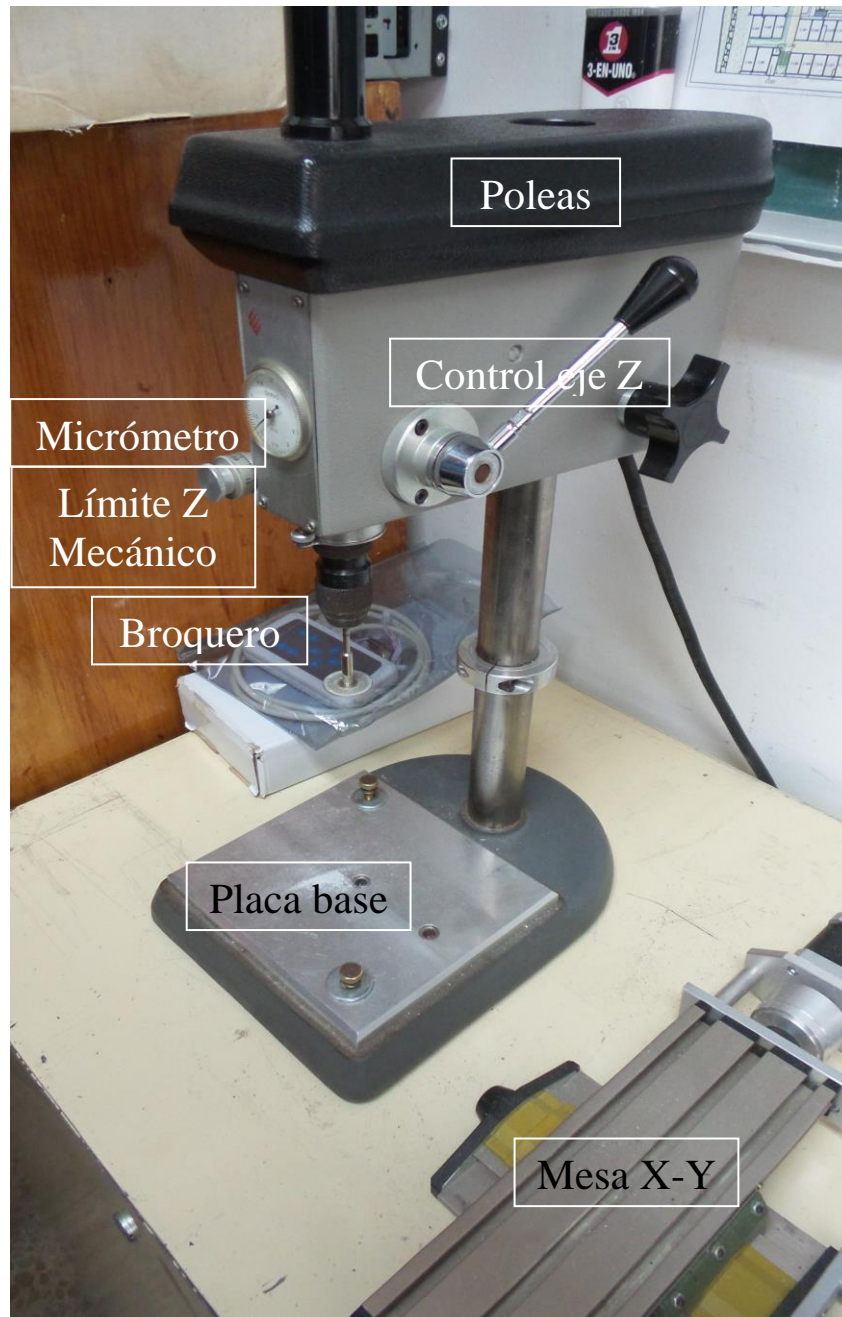


Figura 5. Fresa a convertir de control manual a CNC junto con la mesa de desplazamiento X-Y.

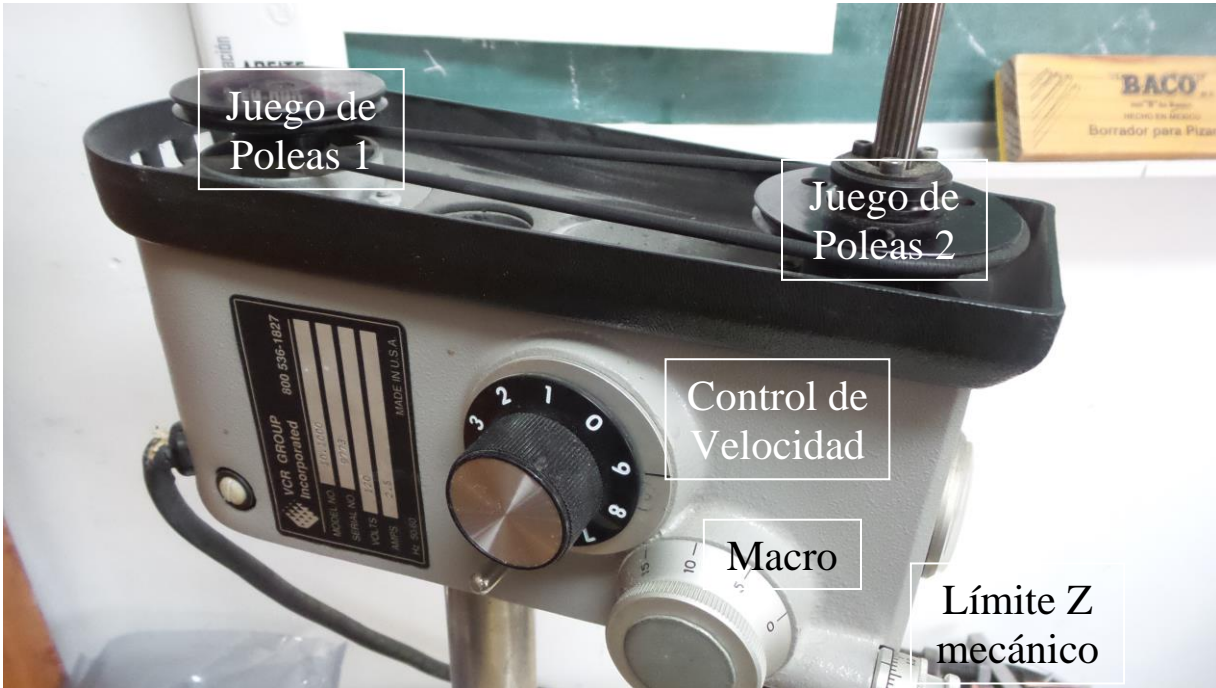


Figura 6. Banda de transmisión y poleas.

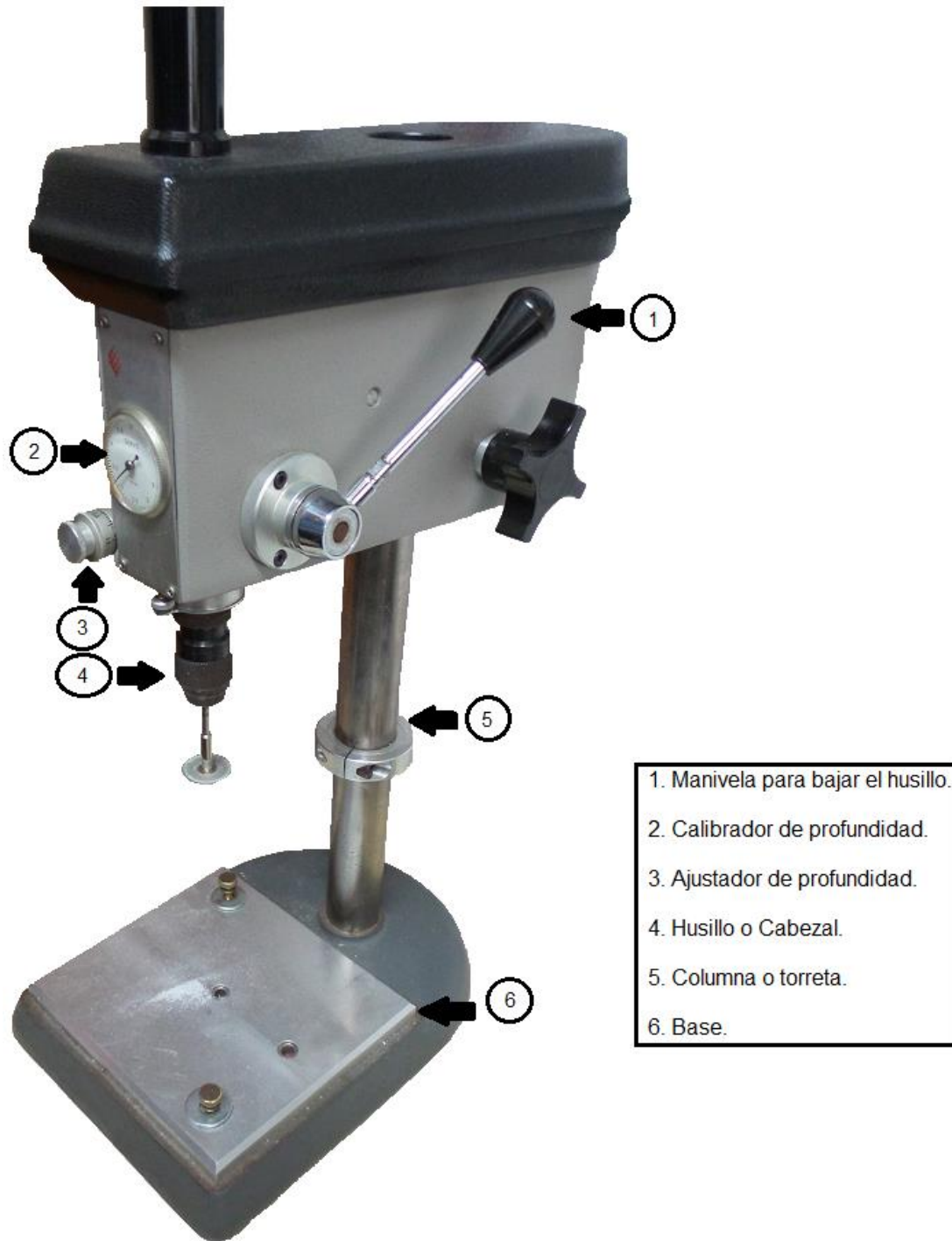


Figura 7. Partes de la fresadora.

### 3. 2. 1. Características de la mesa de trabajo Proxxon Micro KT 70.

De acuerdo con las dimensiones, las características y compatibilidad de la máquina, se llegó a la conclusión de adaptar una mesa de trabajo X-Y marca Proxxon modelo Micro KT 70 (ver Figura 8) ya que es altamente compatible con las dimensiones de la superficie que se encuentra en la fresadora y además es adecuada para la conversión de los ejes X y Y, para instalar un sistema automático CNC.

La mesa deslizable X-Y está fabricada en aluminio sólido con tratamiento superficial y provisto de largueros de cola de milano ajustables y tres ranuras estándar en T MICROMOT.

- Superficie total de la mesa:  
 $200 \times 70 \text{ mm} = 14000 \text{ mm}^2$
- Recorridos de los ejes:  
X = 134 mm  
Y = 46 mm
- Volantes manuales con diales ajustables.  
Estos se sustituyen por los soportes adaptados a la mesa X-Y para los motores a pasos NEMA 17.  
1 revolución = 1 mm  
1 división = 0.05 mm

En la Figura 9 se muestran las partes de la mesa X-Y seleccionada para el armado de la fresa CNC.

Para el montaje de los motores a pasos y sustituir los volantes manuales de la mesa de trabajo se tomó en cuenta los motores a pasos que se requerían y sus dimensiones.

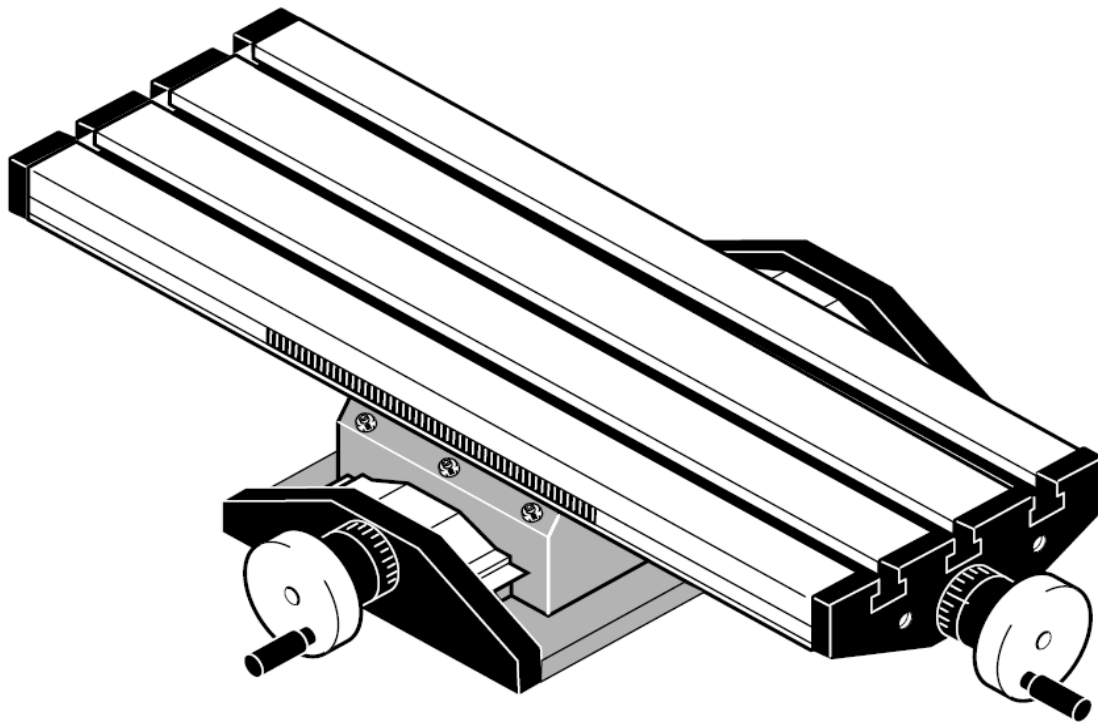
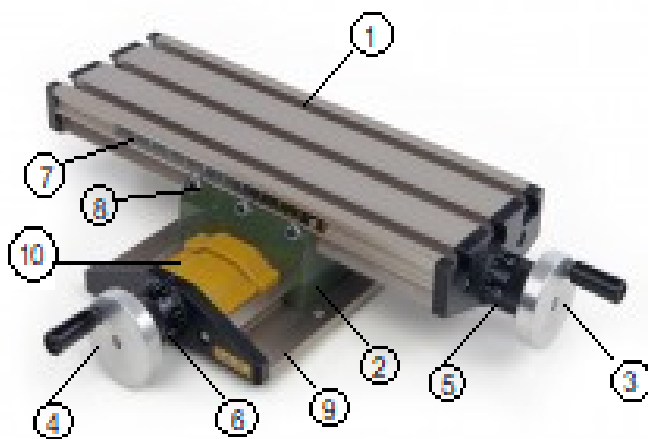


Figura 8. Mesa de trabajo marca Proxxon modelo Micro KT 70.



1. Mesa de trabajo.
2. Soporte.
3. Volante para dirección X.
4. Volante para dirección Y.
5. Marque para la dirección X.
6. Marque para la dirección Y.
7. Escala ajustable.
8. Tornillos de ajuste.
9. Placa base.
10. Protector de corte.

Figura 9. Partes de la mesa de trabajo X-Y de la marca Proxxon modelo Micro KT70.

### 3. 2. 2. Características del motor pasó a pasó.

En la Figura 10 se muestra el motor de tipo paso a paso seleccionado, es el NEMA 17 de tipo bipolar con un ángulo de paso de  $1.8^\circ$  (200 pasos por vuelta) y cada bobinado es de 4 V a 1.2 A, capaz de cargar con 3.2 kg/cm. Es un motor muy robusto y ampliamente usado para el caso de impresoras 3D caseras ya que es ligeramente más potente que el recomendado para garantizar su mejor desempeño.



Figura 10. Motor NEMA 17.

- Tamaño:  
2.3 x 48 mm (sin incluir el eje)
- Peso:  
350 gramos
- Diámetro del eje:  
5 mm
- Longitud del eje:  
25 mm



### 3. 2. 3. Diseño de las piezas de sujeción para los motores.

Los soportes de los motores a sustituir los volantes se diseñaron de acuerdo con las dimensiones del motor NEMA 17 y del usillo de la mesa de trabajo X-Y. En la Figuras 11 a 15 se muestra los dibujos renderizados de las piezas necesarias a maquinarse para el ensamble de los motores a pasos.

Para obtener más detalles de las piezas y sus características para su maquinado se encuentra en el Anexo A.

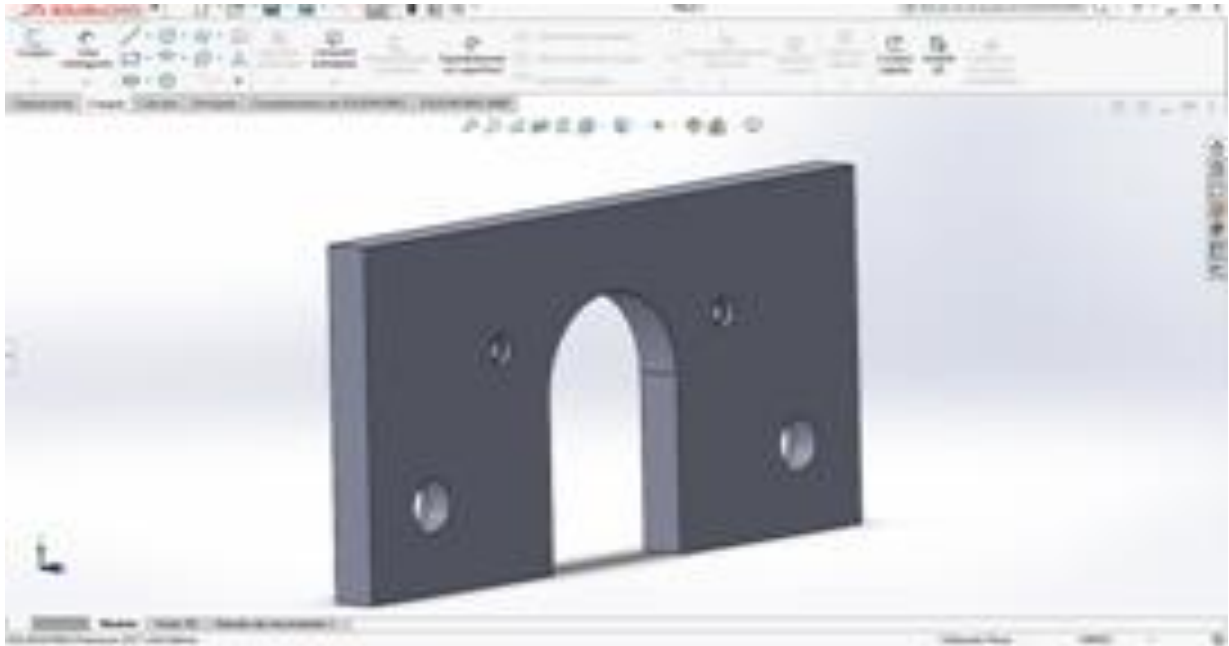


Figura 11. Diagrama de la pieza para el sostén del motor en el eje X.

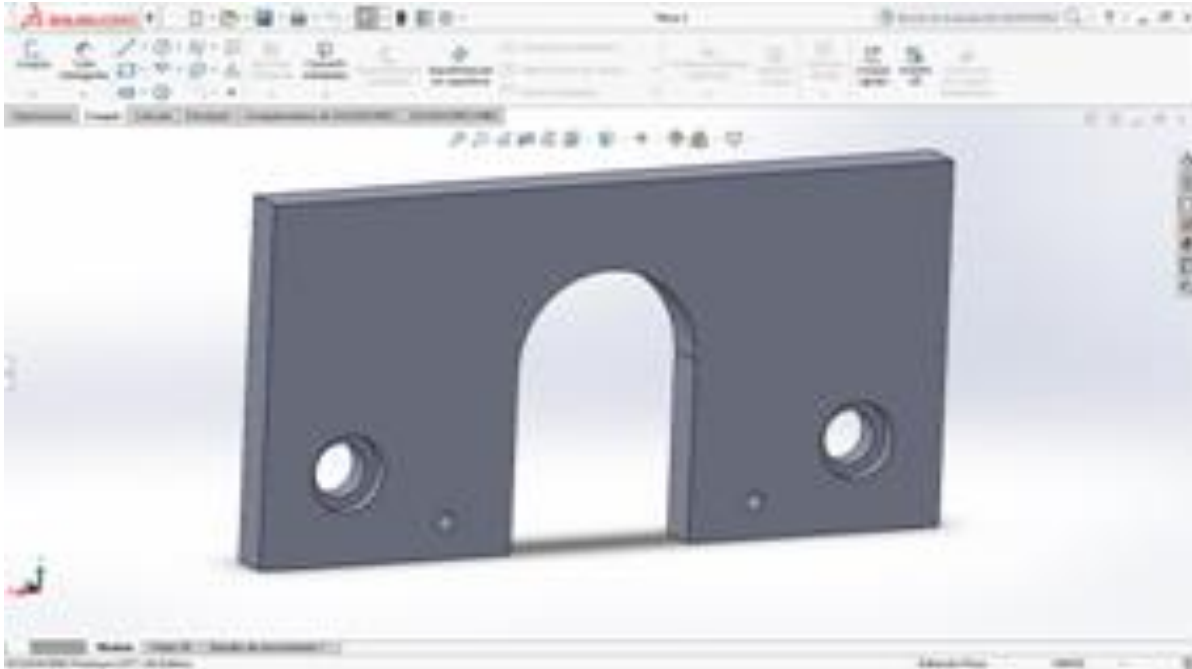


Figura 12. Diagrama de la pieza para el sostén del motor en el eje Y.



Figura 13. Diagrama de la pieza para el sostén del motor que se conecta con las placas anteriores.

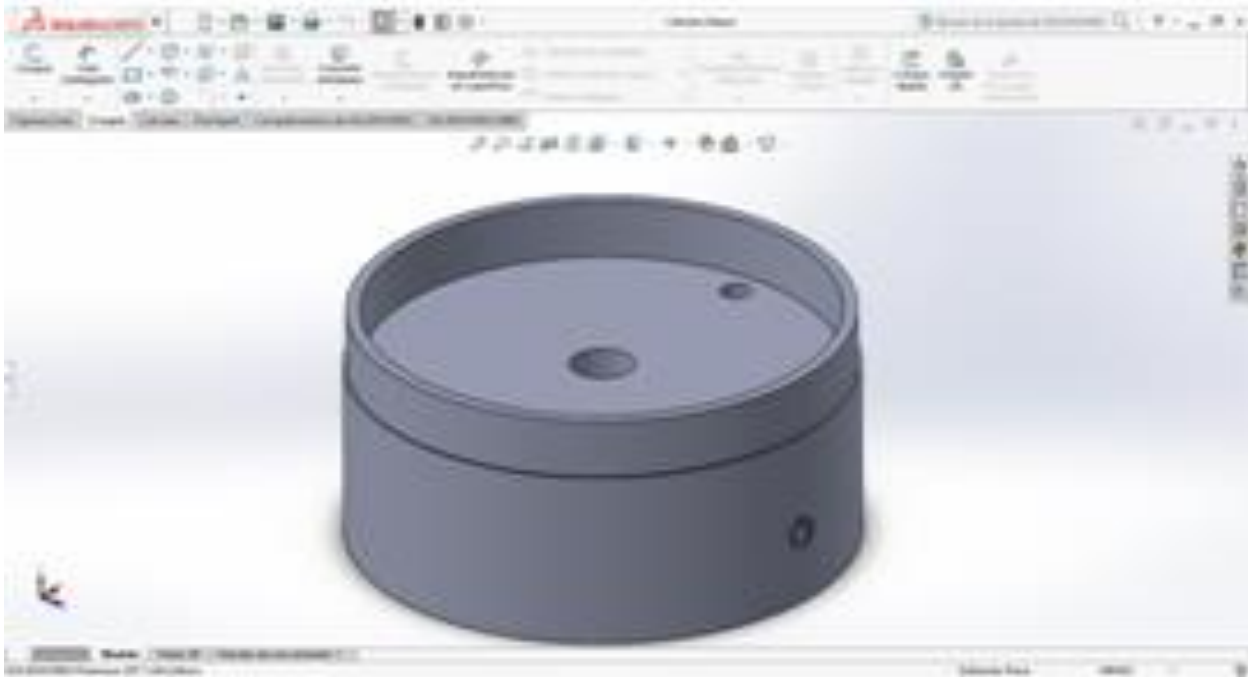


Figura 14. Diagrama de la pieza para conectar el eje del motor con el husillo de la mesa.

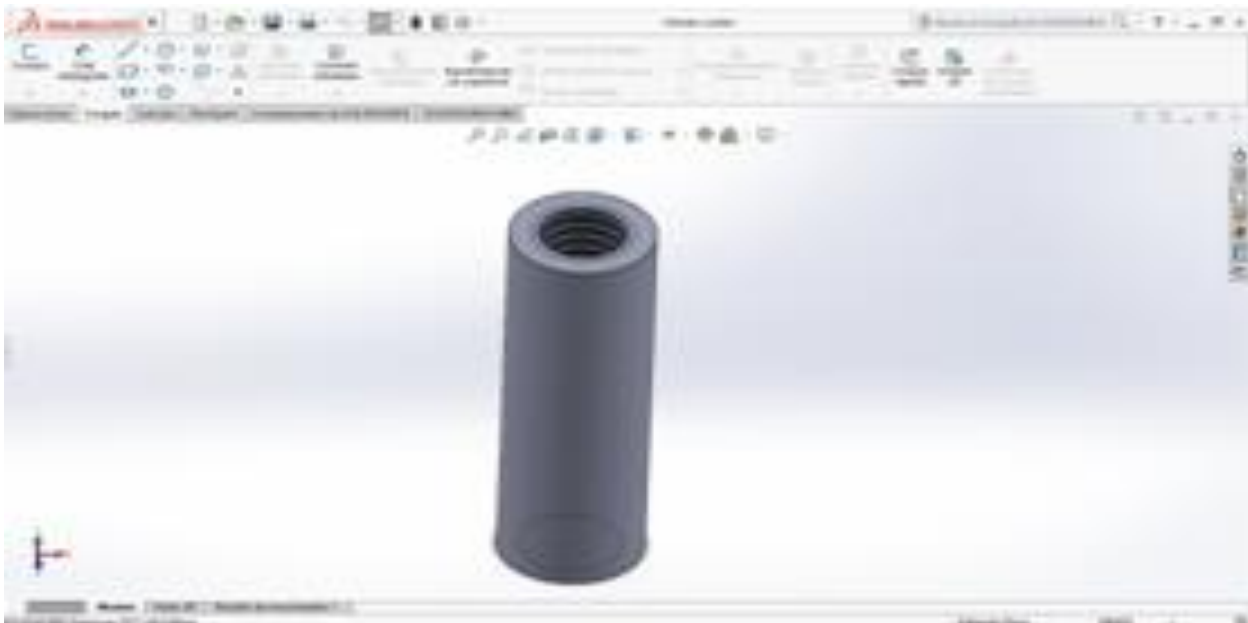


Figura 15. Diagrama de la pieza para el sostén del motor en el eje X.

En las Figuras 16 y 17 se muestra el ensamblado de las piezas que constituyen el soporte del motor Nema 17 para su montaje a la mesa de trabajo X-Y.

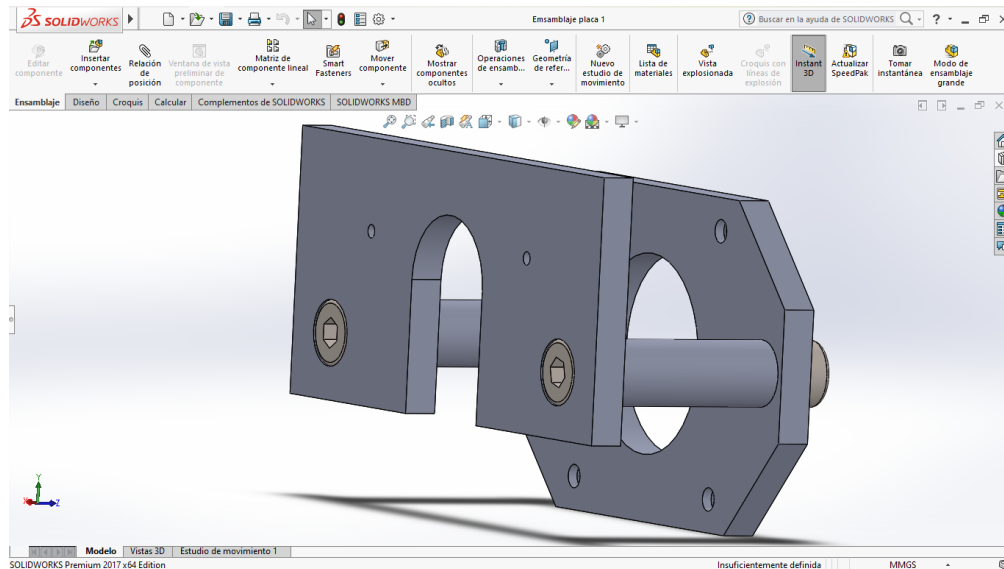


Figura 16. Ensamble de la placa 1.

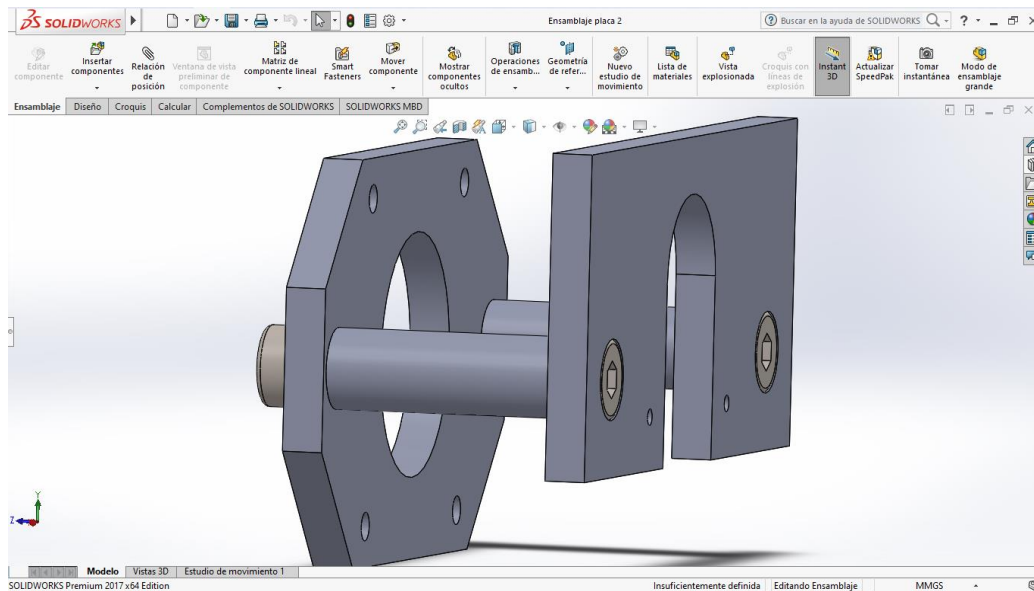


Figura 17. Ensamble de la palca 2.

### 3. 2. 4. Selección de materiales.

Para la selección de materiales en la elaboración de las piezas se tomó en cuenta varios parámetros considerando principalmente el costo - beneficio.

El material que cumplió con este parámetro principal fue el aluminio 6061 por su costo económico, disponibilidad comercial y su gran versatilidad en sus características del mismo material que se detallan en este estudio se muestran en la Figura 18.

TENSIÓN				DUREZA	CORTE	FATIGA	MODULOS
Ksi		Elongación % en 2"		Número Brinell  500 kg. de carga 10 mm de esfera	Dureza máxima  De corte CCI	Límite de resistencia  Ksi	Módulos de elasticidad Ksi x 1000
Punto Máx.	Punto de ruptura	Muestra con 1/16" de espesor	Muestra con 1/2" de Diámetro				
45	40	12	17	95	30	14	10,0

Figura 18. Características del aluminio 6061 para redondos, cuadrados y placas.

En la Figura 19 se muestran los criterios para el uso en el aluminio 6061 y en la Figura 20 se muestra la composición química del mismo.

Aleaciones para extrusión de aluminio  codigo y características	Elementos principales  en la aleación	Temple y espesores  en pulgadas	Resistencia a la tracción				
			Final		Rango		
			mín.	Máx.	mín.	Máx.	
El más versátil de tratamiento térmico, toma una forma considerable en T4 buena resistencia a la corrosión, puede ser tratado térmicamente para lograr dureza.	Mg. 0,8 - 1,2 Si 0,40 - 0,8	-0	TODOS		22,0		16,0
		-T1	HASTA 0,625	26,0		14,0	
		-T4	TODOS	26,0		16,0	
		T4510 Y4511					
		T42	TODOS	26,0		12,0	
		T51	HASTA 0,625	35,0		30,0	
		T6 T62 T6510 T6511	HASTA 0,249 0,250 Y MAS	38,0 38,0		35,0 35,0	

Figura 19. Criterios para el uso del aluminio 6061.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otro	Otro
0,4-0,8	0,70	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	0,25	0,15	0,05	0,15

Figura 20. Composición química del aluminio 6061.

Esta aleación tratable en caliente provee buena resistencia a la corrosión, el terminado superficial y el tratamiento térmico son de fácil implementación, es fácilmente soldable, la aleación 6061 es tan fuerte como el acero medio, haciéndola una aleación de uso general.

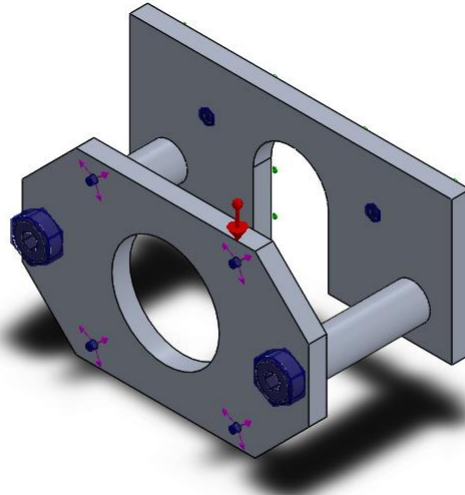
De fácil maquinado y al ser templada es muy trabajable, conservando sus cualidades si es tratada en caliente sin experimentar envejecimiento.

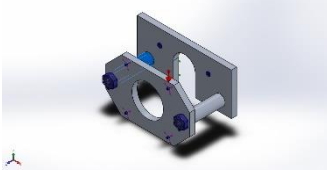
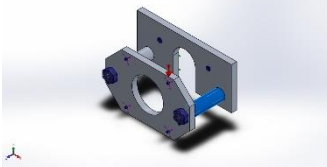
Los usos finales de esta aleación incluyen las pistas de aterrizaje de helipuertos, embarcaciones, componentes estructurales y arquitectónicos, tanques de almacenamiento, señales de carreteras y muchas aplicaciones en equipos de transporte.

### 3. 2. 5. Análisis de esfuerzos de las piezas las piezas de sujeción para los motores.

Para el desarrollo de los siguientes análisis se ocupó el software SOLIDWORKS Simulation parte de la paquetería del software de diseño de SOLIDWORKS y tomando en cuenta que es un estudio de análisis estático.

#### Información del modelo 1.



Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
Taladro roscado M7x1.02 	Sólido	Masa:0.00474317 kg Volumen:1.75673e-006 m <sup>3</sup> Densidad:2700 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.0464831 N
Taladro roscado M7x1.02 	Sólido	Masa:0.00474317 kg Volumen:1.75673e-006 m <sup>3</sup> Densidad:2700 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.0464831 N

<p>Simetría2</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0.0386231 kg Volumen:1.43049e-005 m<sup>3</sup> Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup> Peso:0.378506 N</p>
<p>Simetría1</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0.0373444 kg Volumen:1.38313e-005 m<sup>3</sup> Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup> Peso:0.365975 N</p>
<p>ThdSchPat</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0.00416614 kg Volumen:5.19016e-007 m<sup>3</sup> Densidad:8027 kg/m<sup>3</sup> Peso:0.0408282 N</p>

Figura 21. Información del modelo 1.

En las Figuras 21 a 55 se muestran tanto las simulaciones de esfuerzo y parámetros de simulación de las diferentes piezas, así como del soporte ensamblado para cada uno de los ejes (X y Y).



## Propiedades del estudio 1.

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Sam\Tesis)

Figura 22. Propiedades del estudio 1.

## Unidades a usar en el estudio 1.

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/s
Presión/Tensión	N/m <sup>2</sup>

Figura 23. Unidades del estudio 1.

### Cargas y sujeciones del modelo 1.

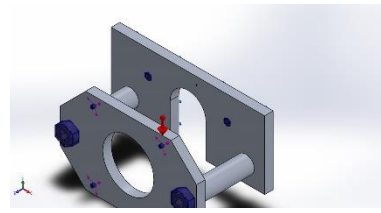
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija			
<b>Fuerzas resultantes</b>					
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>	
Fuerza de reacción(N)	-0.00338706	4.43721	-0.00012008	4.43721	

Figura 24. Cargas y sujeciones del estudio 1.

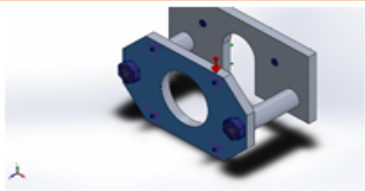
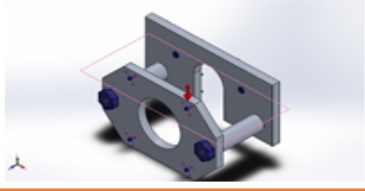
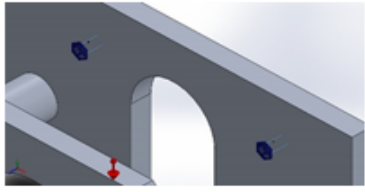
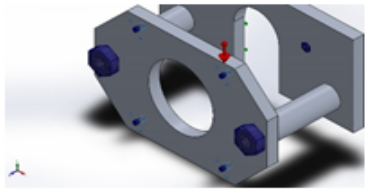
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Masa distribuida-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa) Sistema de coordenadas: Coordenadas cartesianas globales Masa remota: 0.35 kg			
Gravedad-1		Referencia: Planta Valores: 0 0 -9.81 Unidades: m/s <sup>2</sup>			
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: -5 N			
Fuerza-2		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: -3.432 N			

Figura 25. Destalles de las cargas del estudio 1.

### Información de malla del modelo 1.

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño máximo de elemento	6.46397 mm
Tamaño mínimo del elemento	1.29279 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Activar

Figura 26. Información de malla 1.

### Información de malla – Detalles del modelo 1.

Número total de nodos	198461
Número total de elementos	127437
Cociente máximo de aspecto	26.028
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98.3
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.141
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh; mm; ss):	00:00:32
Nombre de computadora:	SAMPER

Figura 27. Detalles de la malla 1.

Nombre del modelo: Ensamblaje placa 1  
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida

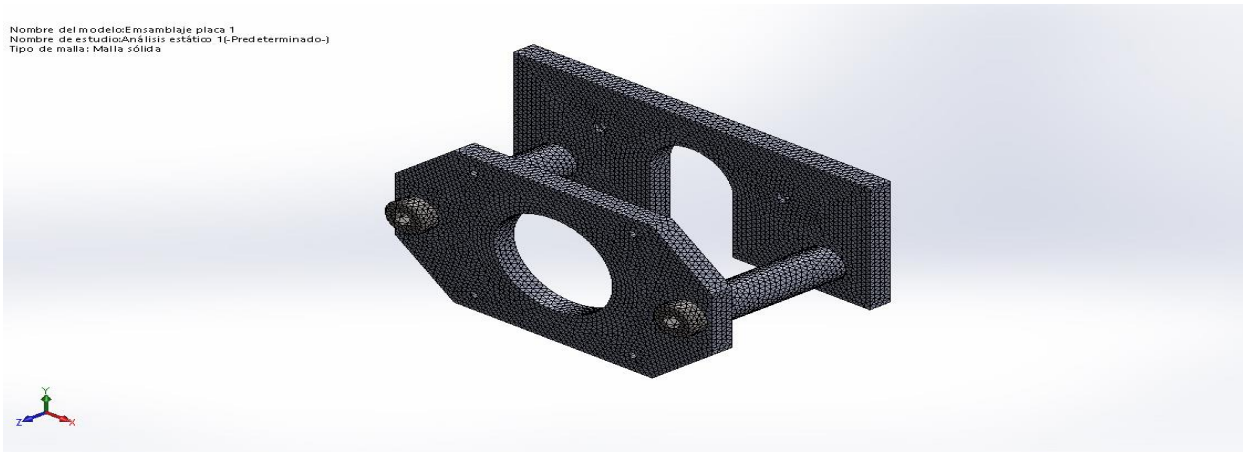


Figura 28. Malla del modelo 1.

## Resultados del estudio del modelo 1.

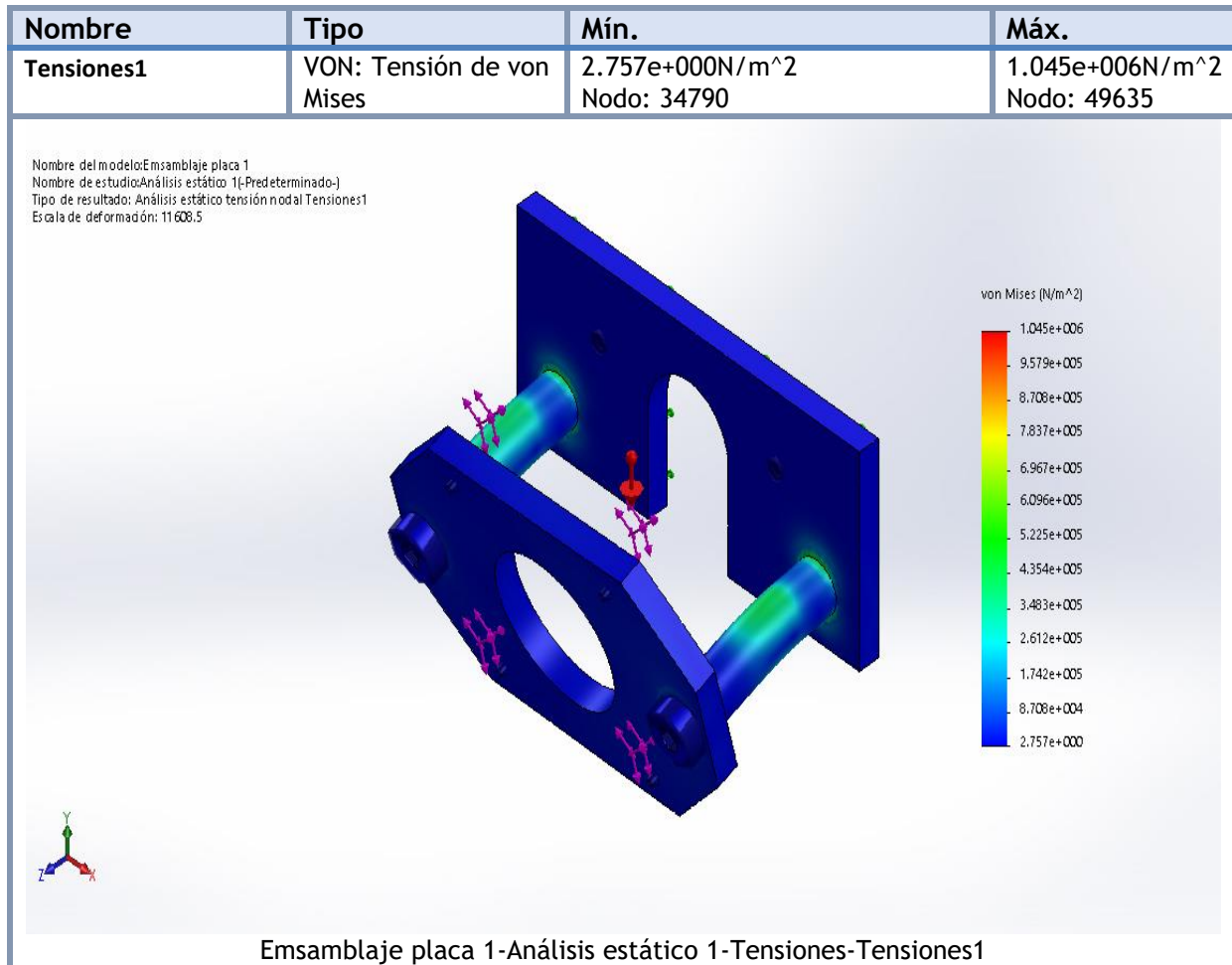


Figura 29. Resultado de tensiones del estudio 1.

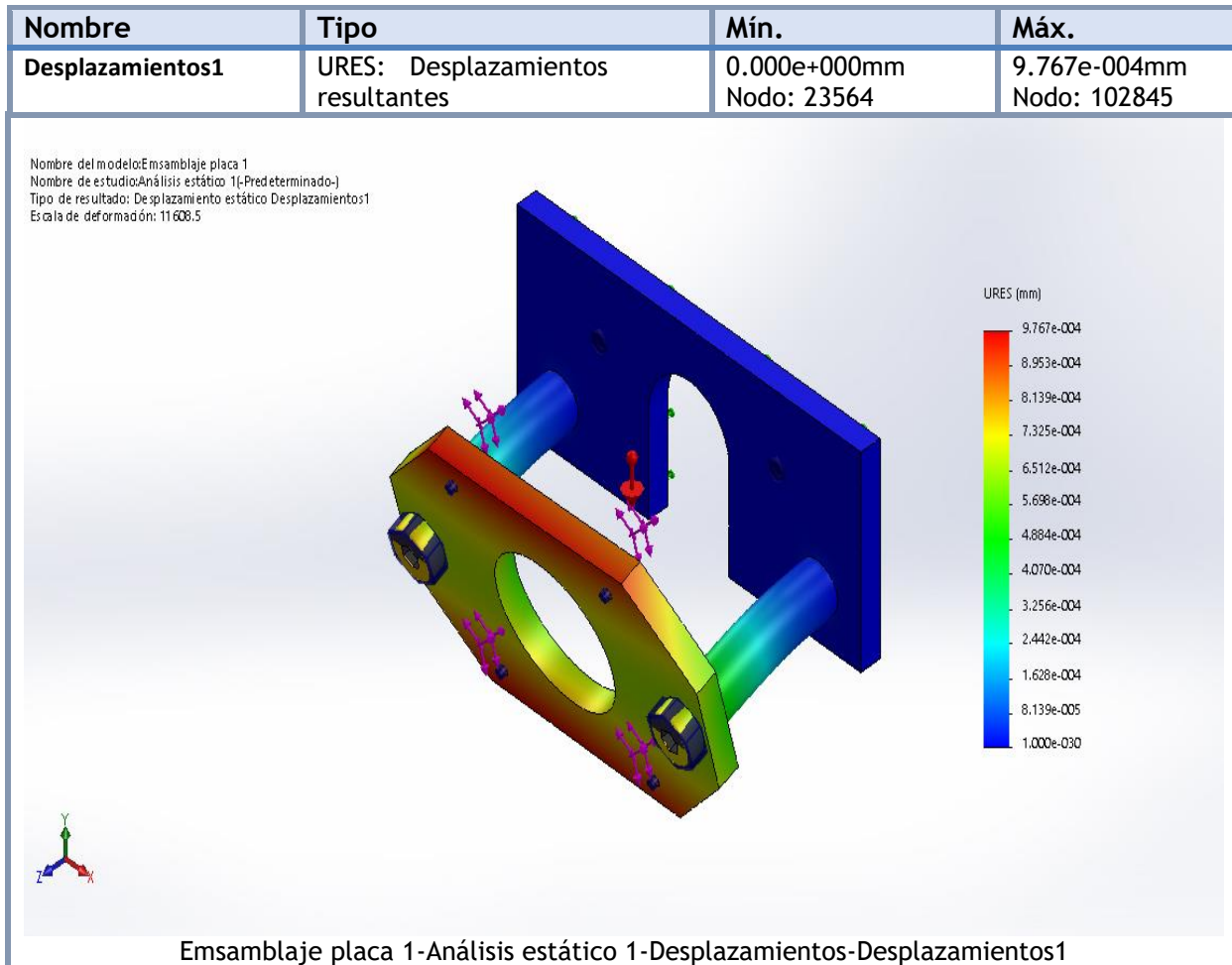


Figura 30. Resultados de desplazamientos del estudio 1.

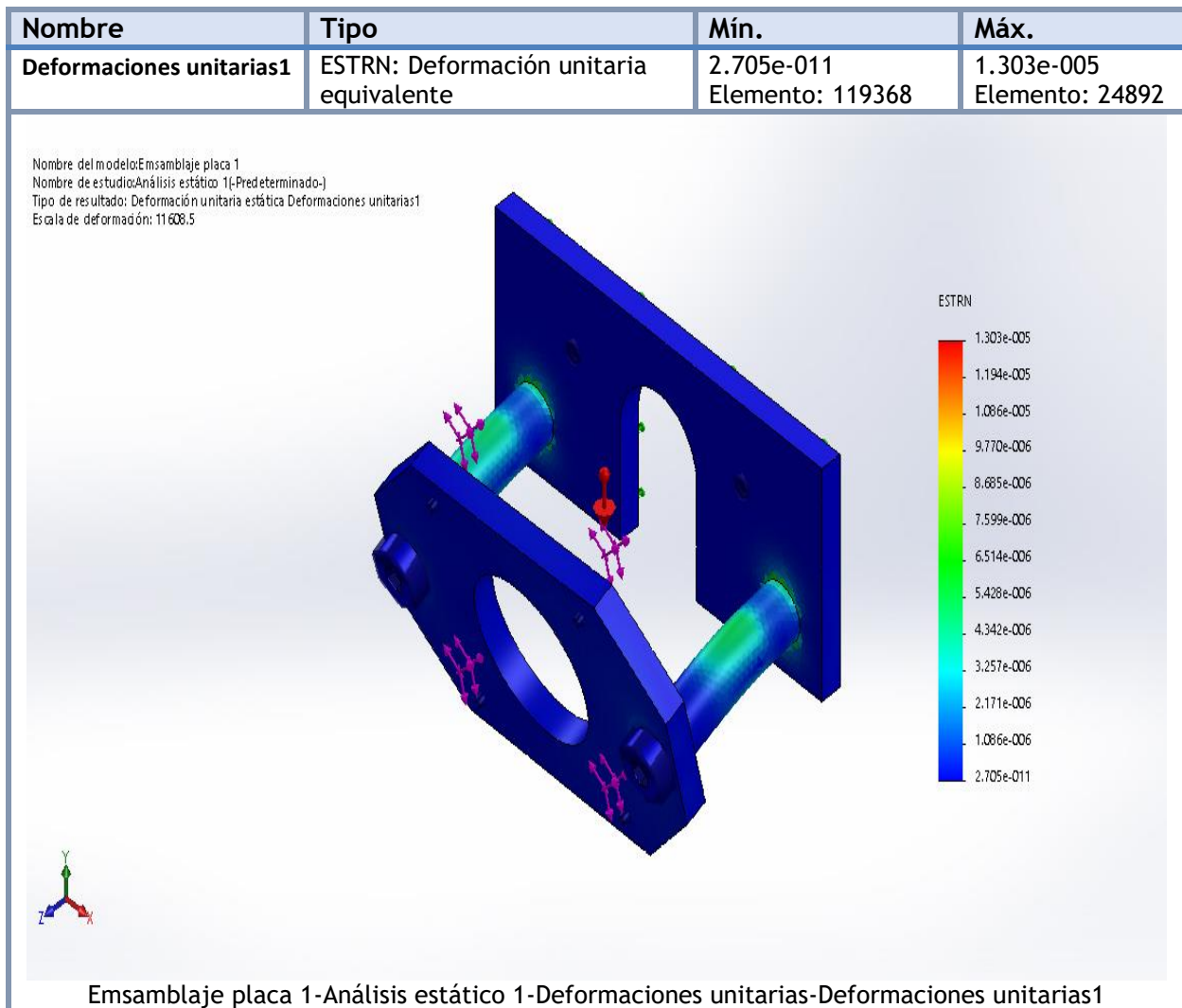


Figura 31. Resultados de deformaciones del estudio 1.

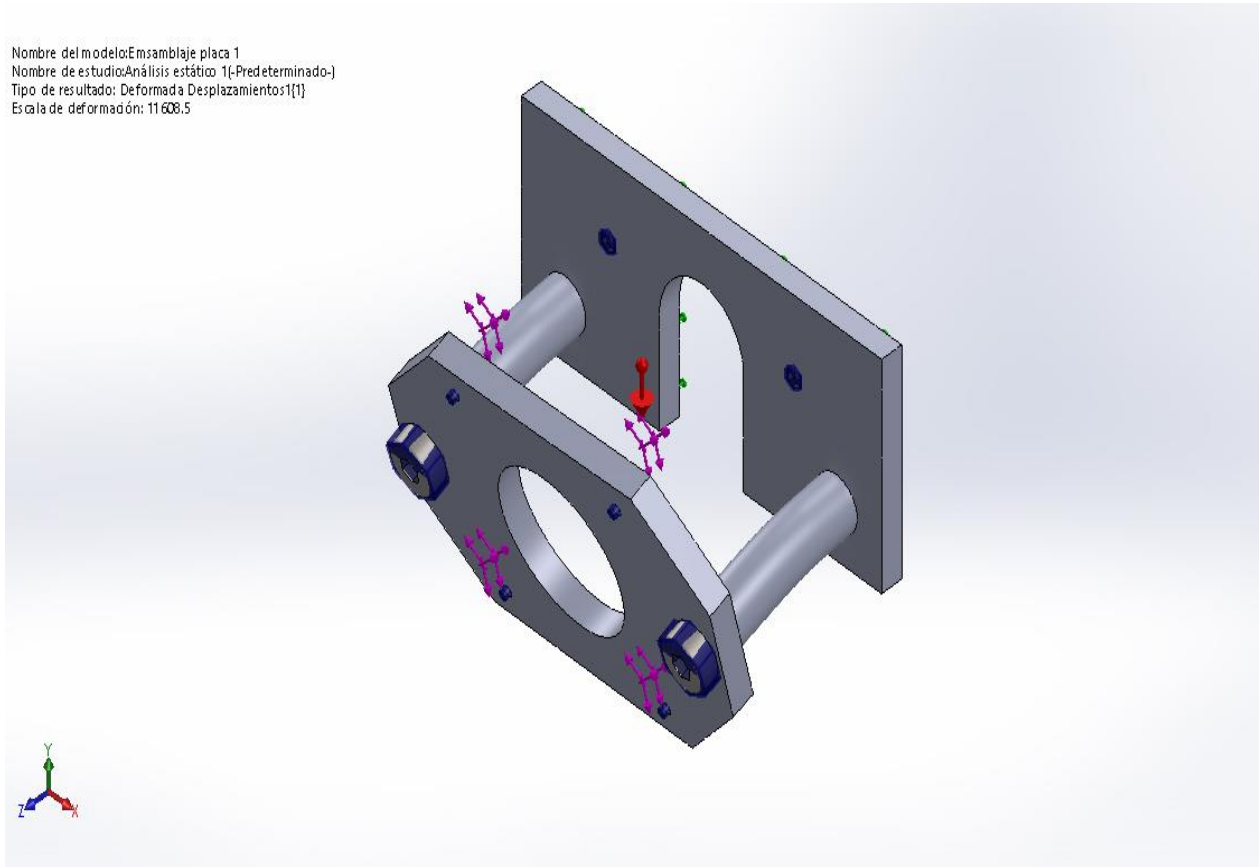
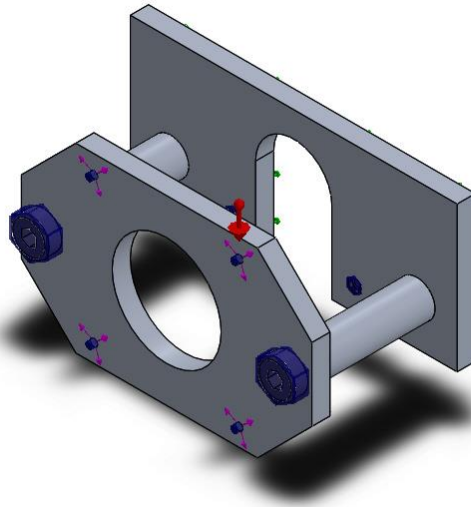


Figura 32. Ejemplo de deformacion del modelo 1.

Conforme a los resultados arrojados por el estudio se concluye que las piezas son adecuadas ya que presentan una muy leve tensión, desplazamiento y deformación en la estructura de las piezas, dando así paso a su elaboración y maquinado.

## Información del modelo 2.



Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
<p>Taladro roscado M7x1.02</p> 	Sólido	<p>Masa:0.00474317 kg  Volumen:1.75673e-006 m<sup>3</sup>  Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup>  Peso:0.0464831 N</p>
<p>Taladro roscado M7x1.02</p> 	Sólido	<p>Masa:0.00474317 kg  Volumen:1.75673e-006 m<sup>3</sup>  Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup>  Peso:0.0464831 N</p>
<p>Simetría3</p> 	Sólido	<p>Masa:0.0379144 kg  Volumen:1.40424e-005 m<sup>3</sup>  Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup>  Peso:0.371561 N</p>



<p>Simetría1</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0.0373444 kg Volumen:1.38313e-005 m<sup>3</sup> Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup> Peso:0.365975 N</p>
<p>ThdSchPat</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:0.00416614 kg Volumen:5.19016e-007 m<sup>3</sup> Densidad:8027 kg/m<sup>3</sup> Peso:0.0408282 N</p>

Figura 33. Información del modelo 2.

### Propiedades del estudio del modelo 2.

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Sam\Tesis)

Figura 34. Propiedades del estudio 2.

## Unidades para el estudio del modelo 2.

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/s
Presión/Tensión	N/m <sup>2</sup>

Figura 35. Unidades del estudio 2.

## Cargas y sujeciones del modelo 2.

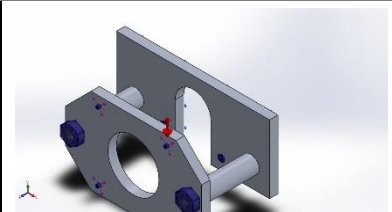
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-0.101434	4.44153	0.101137	4.44384	

Figura 36. Cargas y sujeciones del estudio 2.

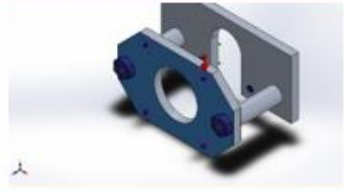
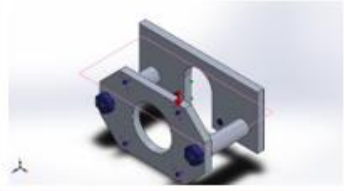
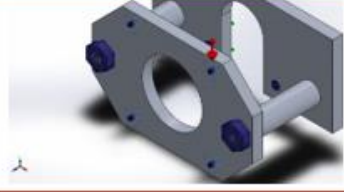
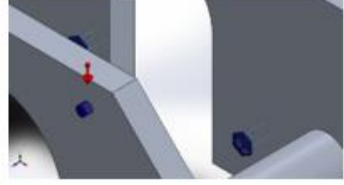
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Masa distribuida-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Desplazamiento (Transferencia directa) Sistema de coordenadas: Coordenadas cartesianas globales Masa remota: 0.35 kg
Gravedad-1		Referencia: Planta Valores: 0 0 -9.81 Unidades: m/s <sup>2</sup>
Fuerza-1		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: -3.5 N
Fuerza-2		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: -5 N

Figura 37. Detalles de cargas del estudio 2.

### Información de malla del modelo 2.

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño máximo de elemento	6.44715 mm
Tamaño mínimo del elemento	1.28943 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Activar

Figura 38. Información de la malla del estudio 2.

**Información de malla – Detalles del modelo 2.**

Número total de nodos	75715
Número total de elementos	46058
Cociente máximo de aspecto	38.783
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	94.6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	1.18
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh; mm; ss):	00:00:25
Nombre de computadora:	SAMPER

Figura 39. Detalles de la malla del estudio 2.

Nombre del modelo: Ensamblaje placa 2  
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida

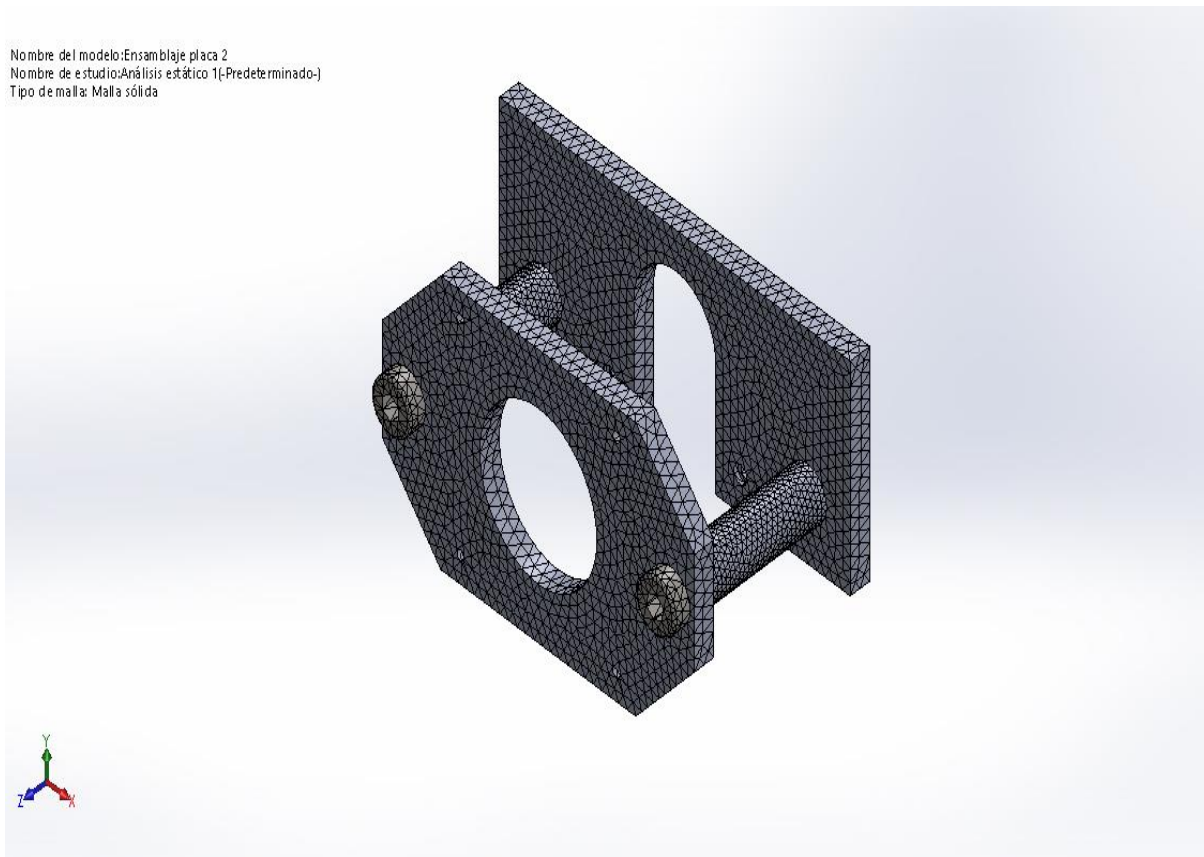


Figura 40. Malla del modelo 2.

## Resultados del estudio del modelo 2.

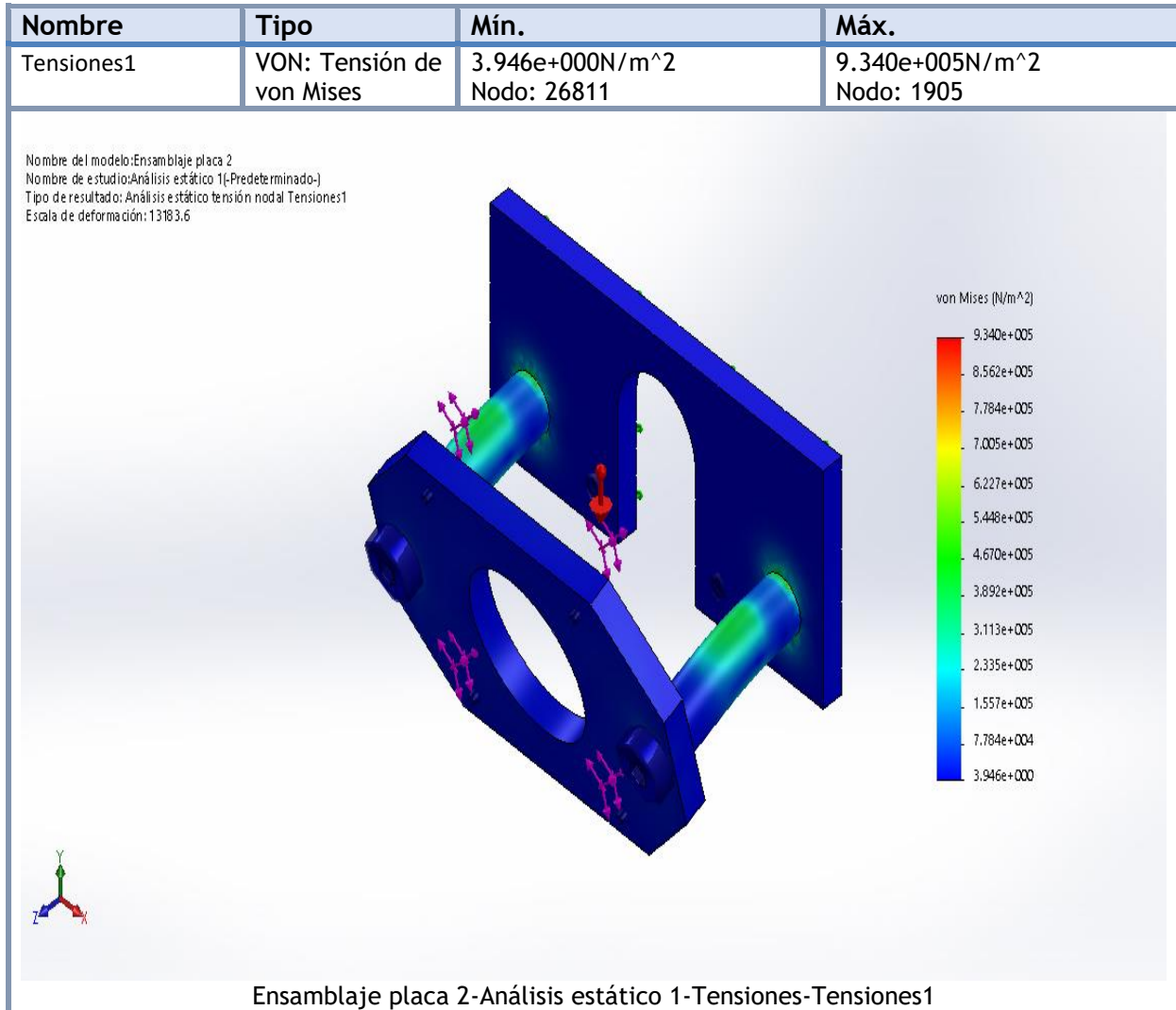


Figura 41. Resultados de tensiones del estudio 2.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+000mm Nodo: 23846	8.574e-004mm Nodo: 43819

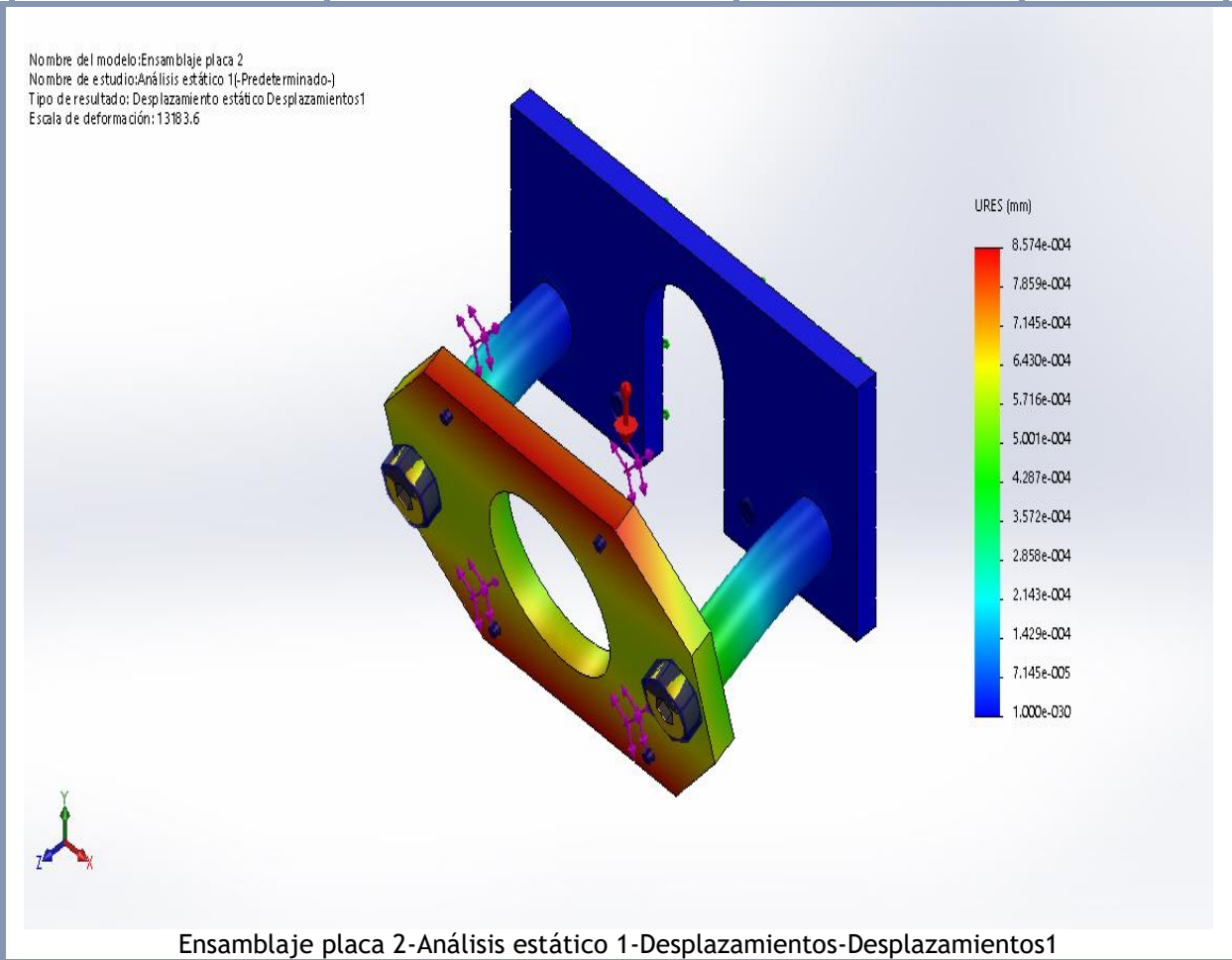


Figura 42. Resultados de desplazamientos del estudio 2.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.021e-010 Elemento: 19120	9.170e-006 Elemento: 21515

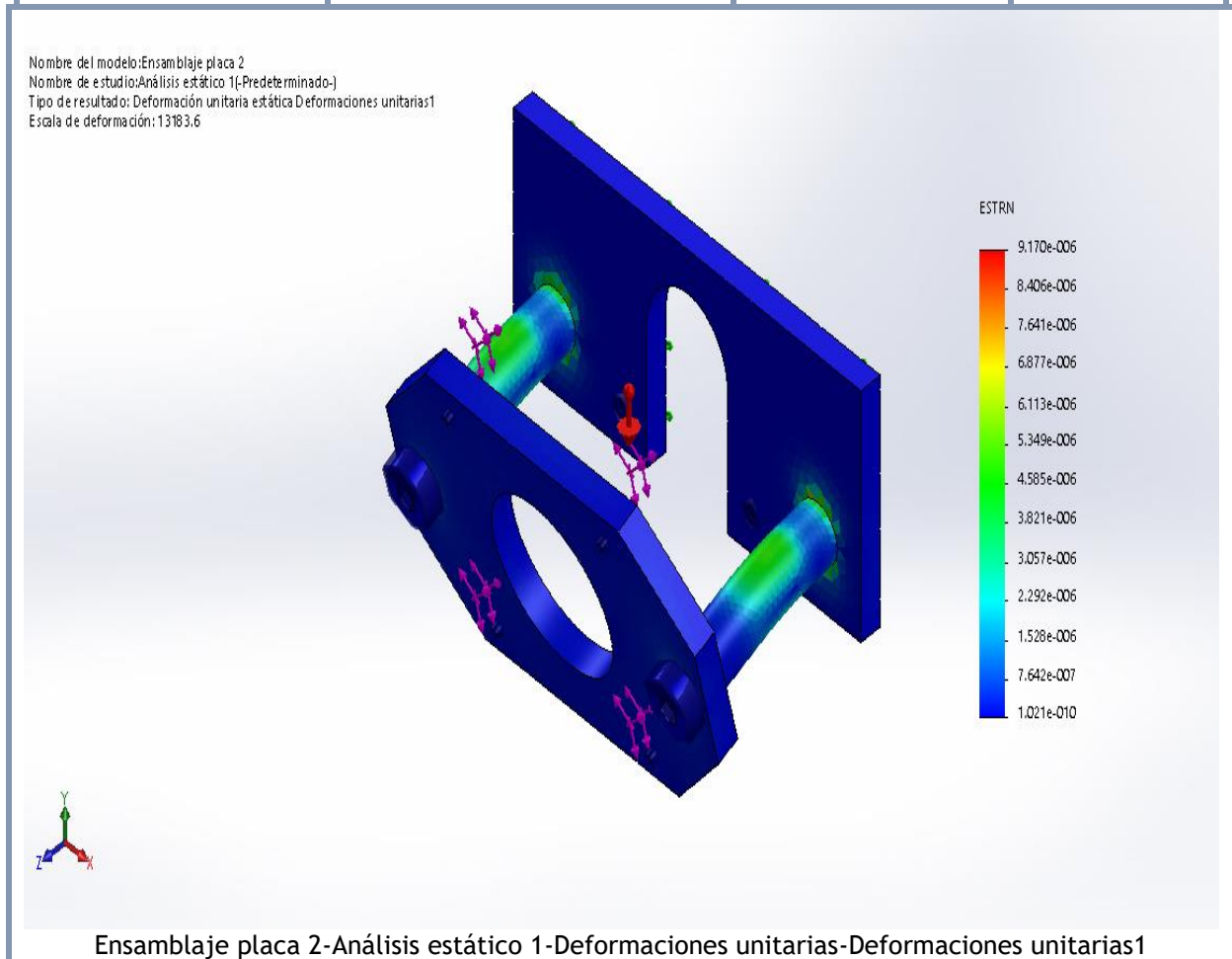


Figura 43. Resultados de deformaciones del estudio 2.

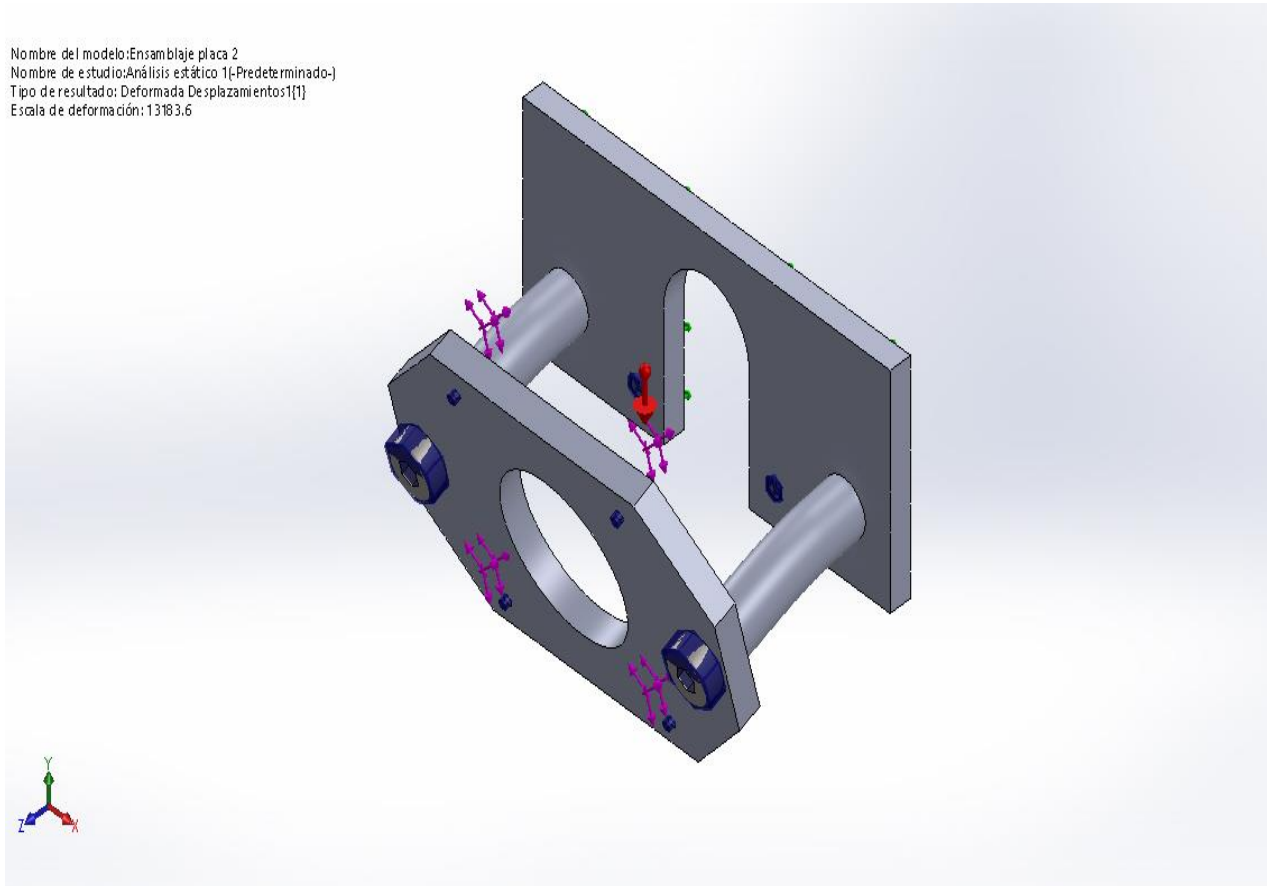
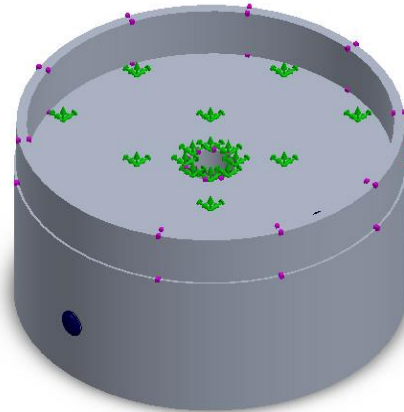


Figura 44. Ejemplo de deformacion del modelo 2.

Igualmente, que la pieza anterior, conforme a los resultados arrojados por el estudio se concluye que las piezas son adecuadas ya que presentan una muy leve tensión, desplazamiento y deformación en la estructura de las piezas, dando así paso a su elaboración y maquinado.



### Información del modelo 3.



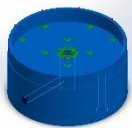
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
<p>Taladro roscado M2.5x0.451</p> 	Sólido	<p>Masa:0.0514369 kg  Volumen:1.90507e-005 m<sup>3</sup>  Densidad:2700 kg/m<sup>3</sup>  Peso:0.504081 N</p>

Figura 45. Información del modelo 3.

### Propiedades de estudio del modelo 3.

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Sam\Tesis)

Figura 46. Propiedades del estudio 3.

### Unidades para el estudio del modelo 3.

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/s
Presión/Tensión	N/m <sup>2</sup>

Figura 47. Unidades del estudio 3.

### Cargas y sujeciones del modelo 3.

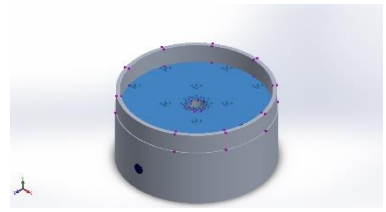
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
Fuerza de reacción(N)	-0.000591961	-0.000442933	0.286118	0.286119

Figura 48. Cargas y sujeciones del estudio 3.

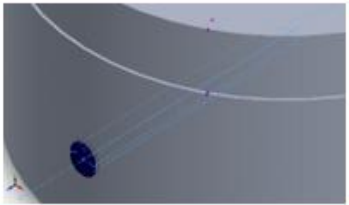
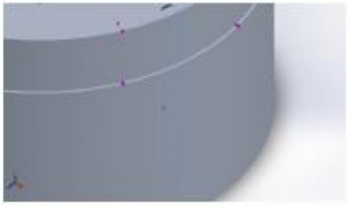
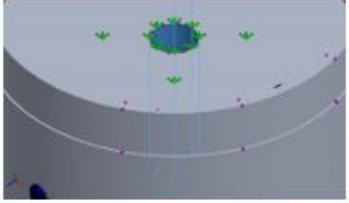
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 5 N
Fuerza-2		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 3 N
Fuerza-3		<b>Entidades:</b> 1 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 20 N

Figura 49. Detalles de las cargas del estudio 3.

### Información de malla del modelo 3.

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño máximo de elemento	5.34348 mm
Tamaño mínimo del elemento	1.0687 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Figura 50. Información de la malla del estudio 3.

### Información de malla – Detalles del modelo 3.

Número total de nodos	125579
Número total de elementos	86655
Cociente máximo de aspecto	7.1461
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh; mm; ss):	00:00:16
Nombre de computadora:	SAMPER

Figura 51. Detalles de la malla del estudio 3.

Trazados de calidad de malla del modelo 3.

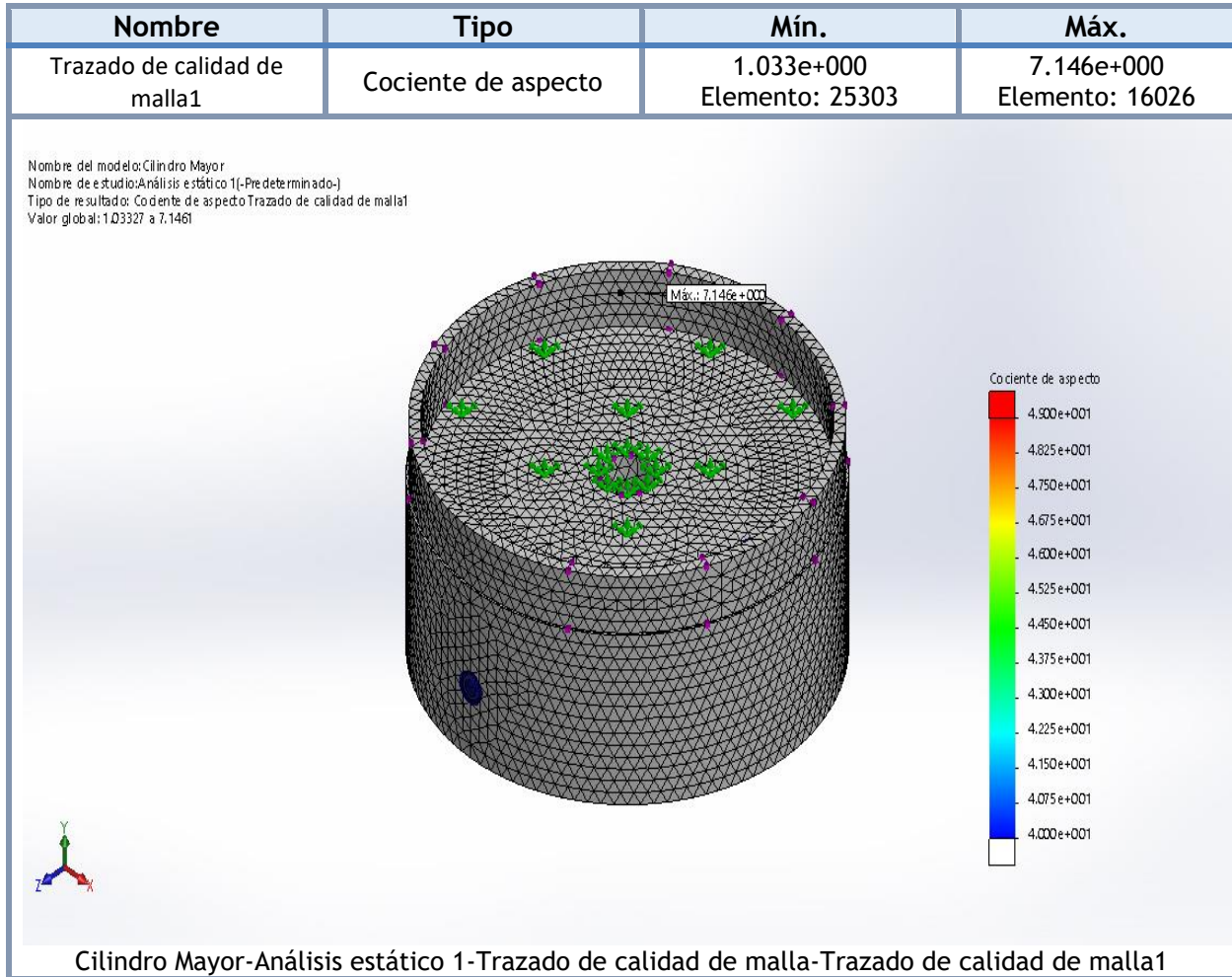


Figura 52. Trazados de calidad de la malla del estudio 3.

### Resultados del estudio del modelo 3.

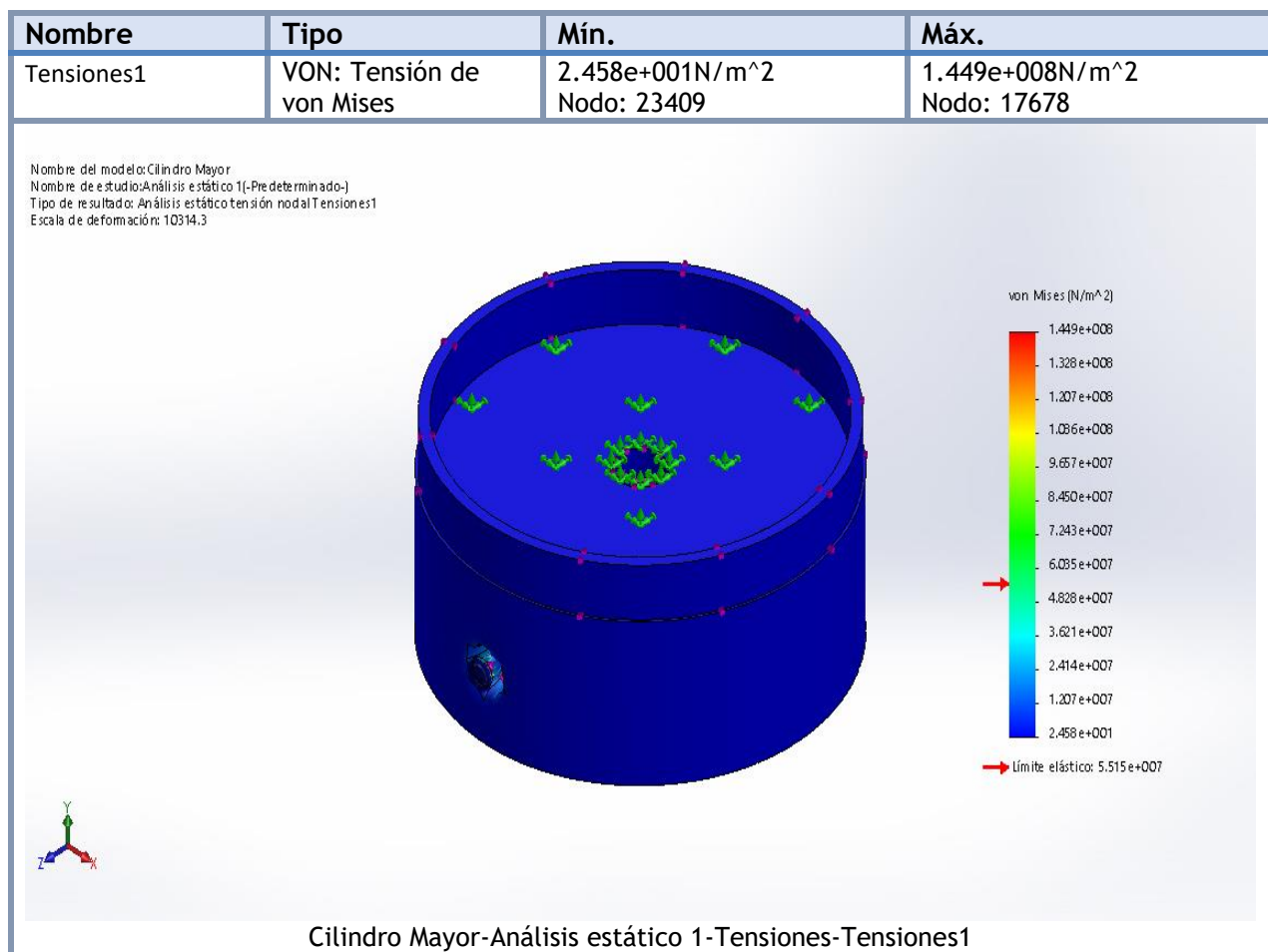


Figura 53. Resultados de tensiones del estudio 3.

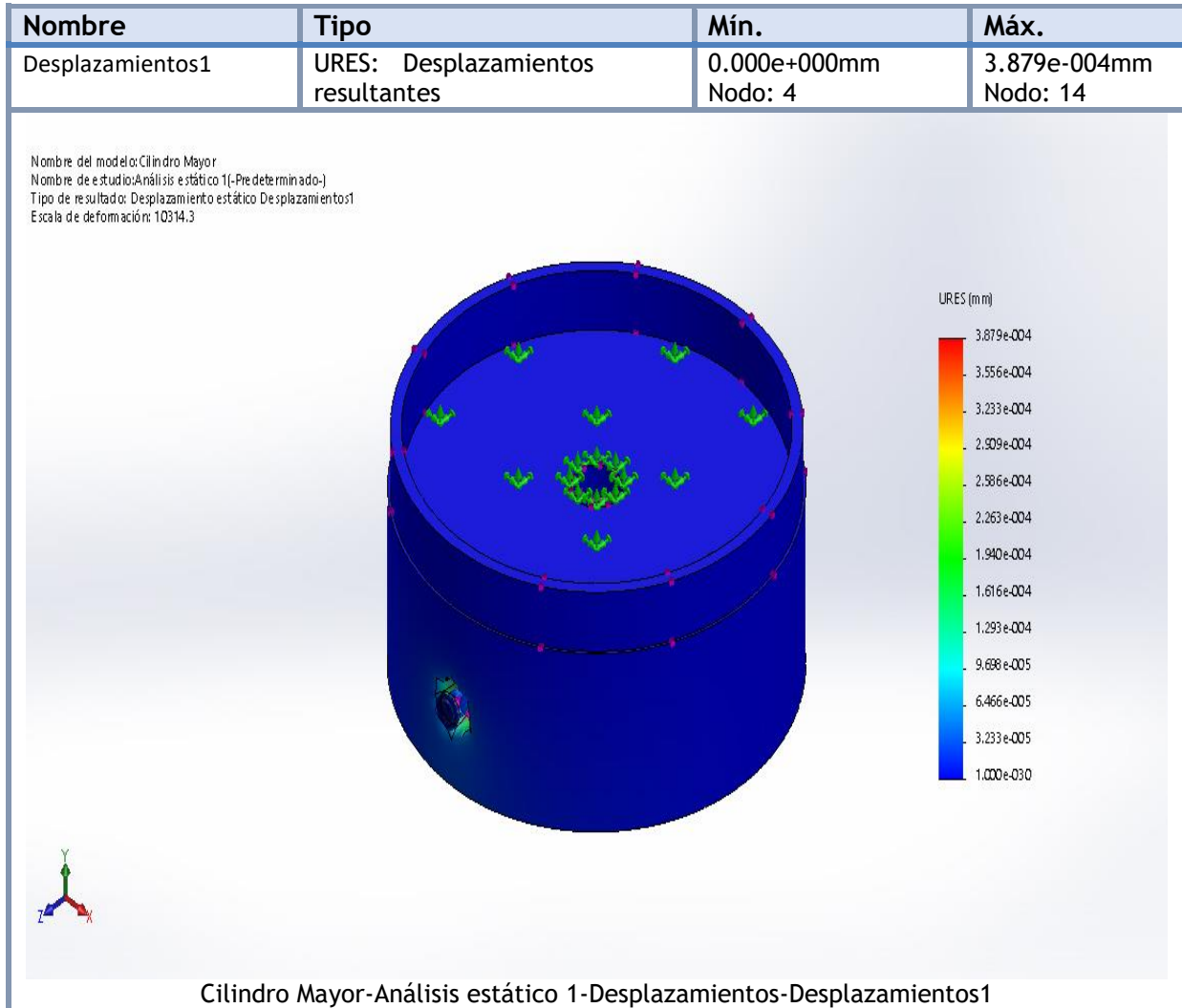


Figura 54. Resultados de desplazamientos del estudio 3.

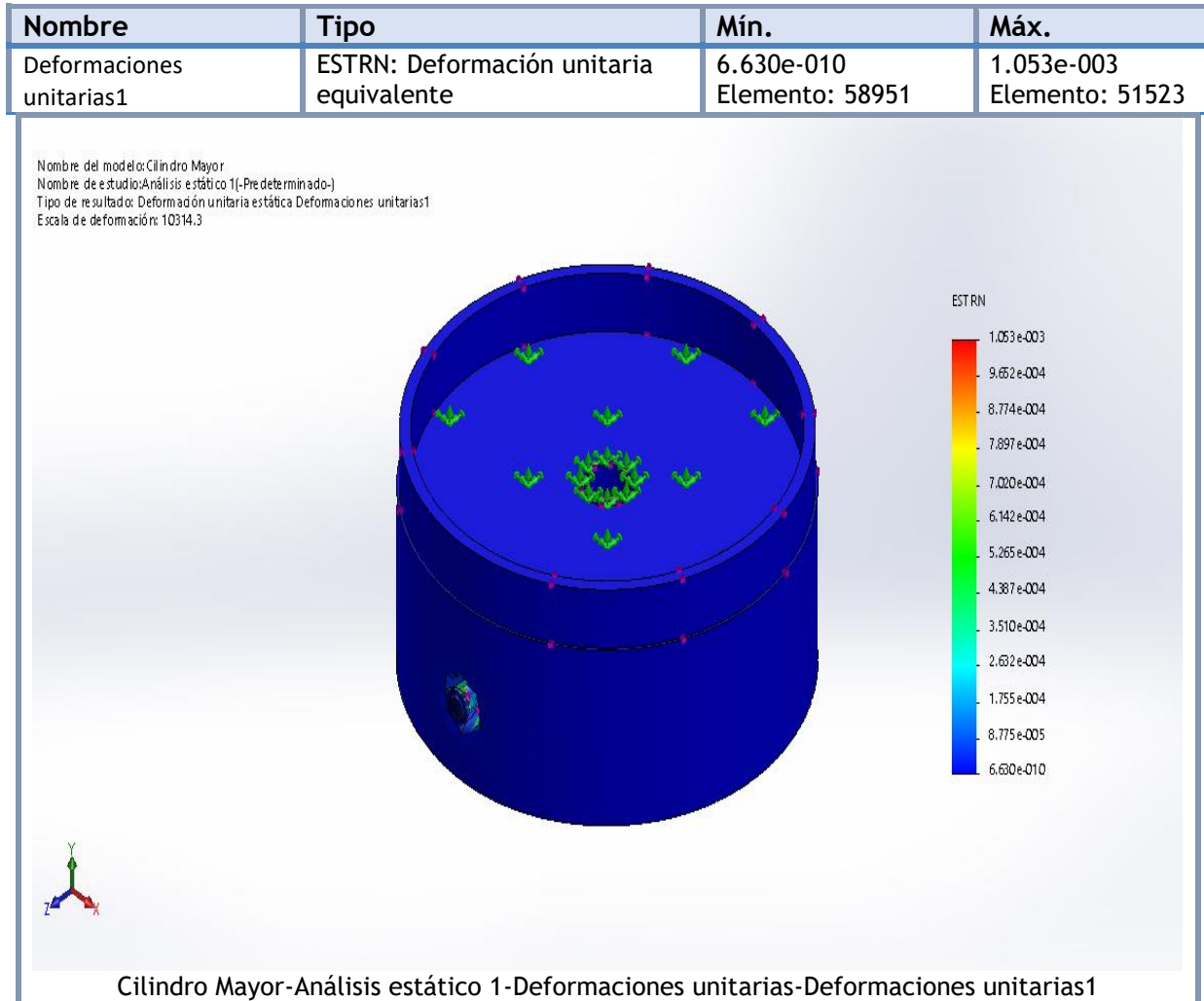


Figura 55. Resultados de deformaciones del estudio 3.

Al igual que las piezas anteriores, los resultados arrojados por el estudio se concluye que la pieza es adecuada ya que presentan una muy leve tensión, desplazamiento y deformación en su estructura, dando así paso a su elaboración y maquinado.



### 3. 2. 6. Diseño electrónico.

En el caso del diseño electrónico se tomó en cuenta el gran desempeño de los motores de paso a paso NEMA 17, con una placa controladora de motores paso a paso tipo USB CNC de 4 ejes 4 Axis, Mod. TB6560T4V3 (ver Figura 56). Los motores a pasos son alimentados por una fuente transformadora de alimentación de AC/CD, Mod. S-180-12, ver Figura 57.

### 3. 2. 7. Características de la placa controladora.

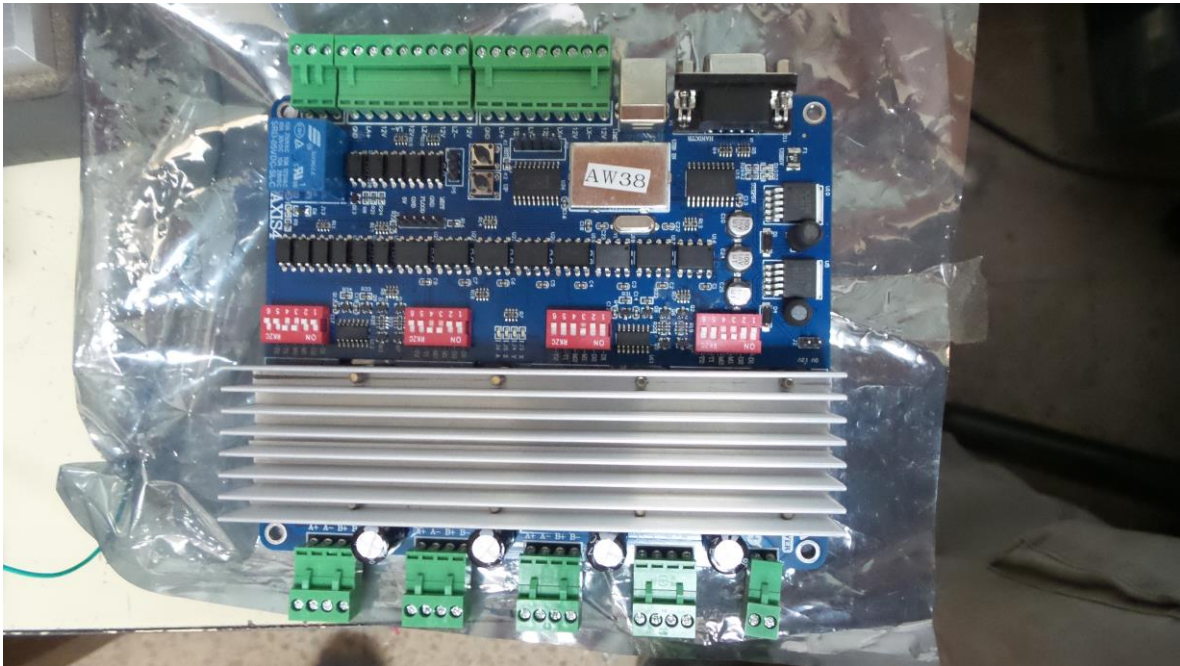


Figura 56. Placa controladora seleccionada,

La placa controladora de los motores paso a paso USB CNC de 4 ejes 4 Axis es apta para motores pequeños de 3 A y 2 fases.

- Fuente de alimentación de 12 V DC.
- 4 ajustes posibles:  
0.75 / 1.5 / 2.25 / 3 A
- Control actuador para los ejes X, Y, Z.

### 3. 2. 8. Características de la fuente transformadora.



Figura 57. Fuente de alimentación para la placa y los motores NEMA 17.

Esta fuente cuenta rango de voltaje de entrada de 110V o 220V haciéndola muy versátil y el voltaje de salida es en corriente directa haciéndolo muy estable y preciso, que es entregado por su gran transformador de potencia.

- Voltaje de entrada:  
Dual 110 / 220 V
- Protección:  
Protección contra sobretensión 115% - 135%
- Cumplimiento de Seguridad CE y RoHS, alta eficiencia y rendimiento estable.
- Voltaje de salida:  
12 V – 15 A
- Potencia de salida:  
180 W
- Frecuencia:  
50 / 60 Hz

## CAPITULO IV

### Resultados y discusión.

#### 4. 1. Introducción.

En este capítulo se desarrolla la información de resultados, también una descripción del pre-ensamblaje rápido de las piezas y la discusión de las pruebas del armado de las mismas y la colocación de la mesa de trabajo.

#### 4. 2. Ensamblado de componentes mecánicos.

En la Figura 58 se muestran las piezas maquinadas de los soportes X, Y y Z aun cuando este último no es posible montarlo por la diferencia del sistema de control, pues al ser de tipo de palanca mecánica y no de tipo de tornillo no es posible su montaje. En la Figura 59 se muestra un pre-ensamble de las mismas.

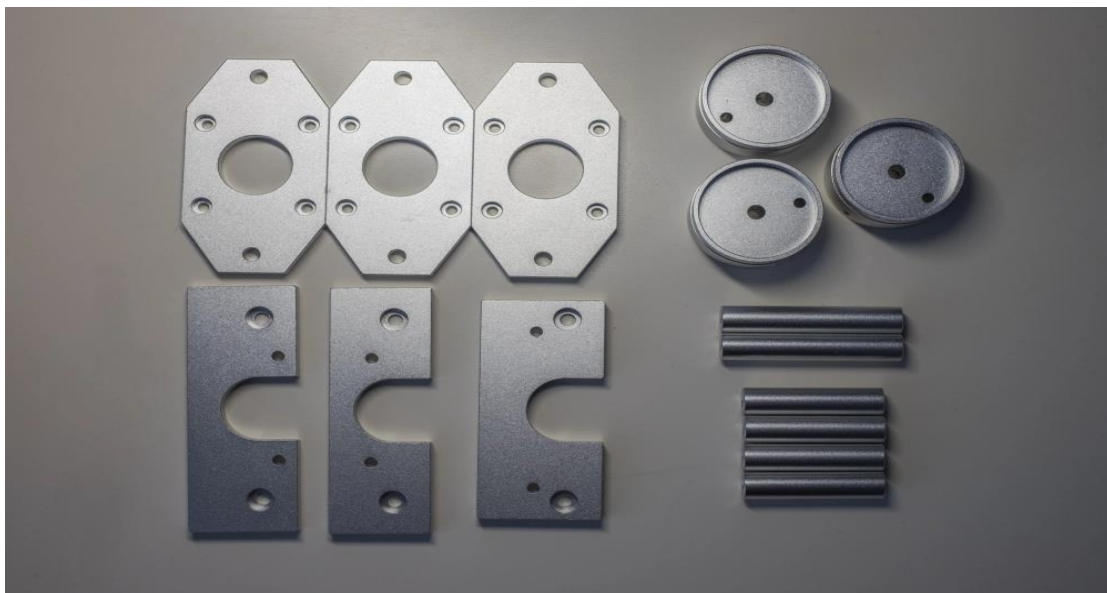


Figura 58. Piezas de los soportes.

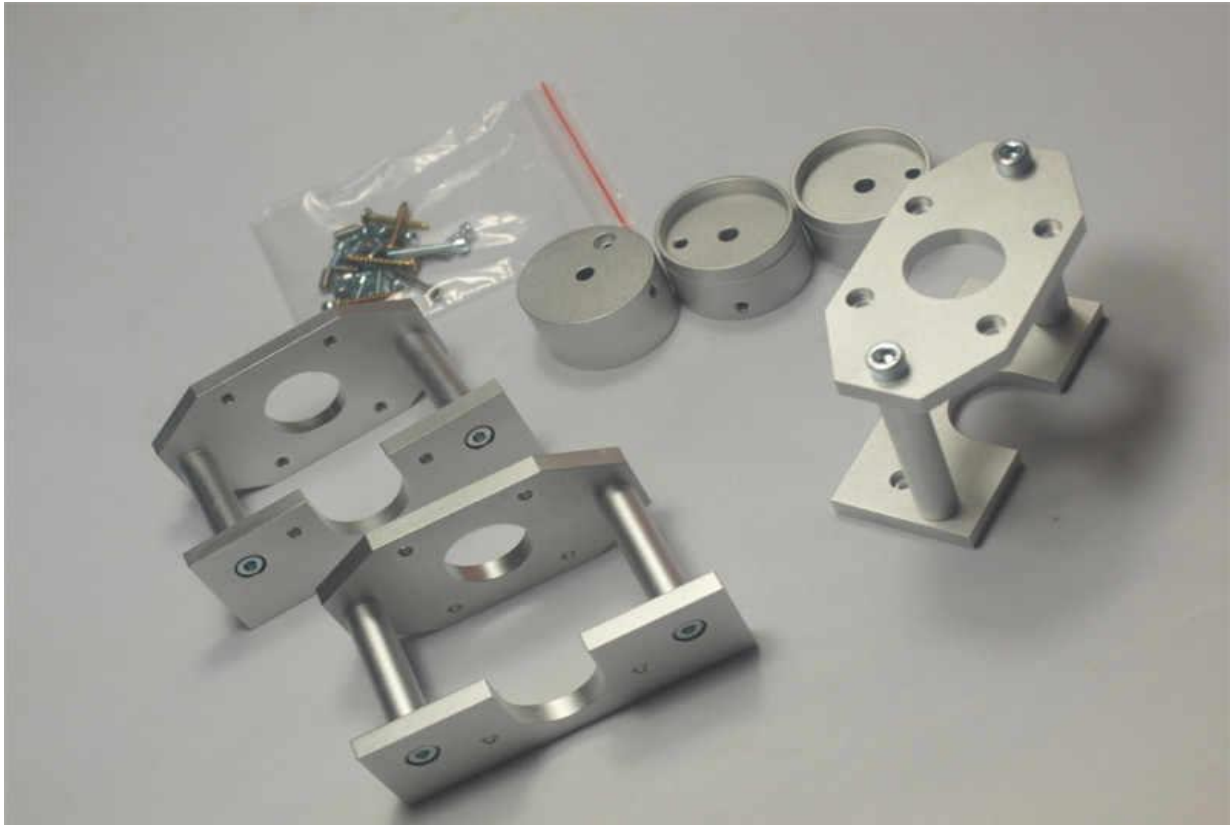


Figura 59. Piezas de los soportes y pre-ensamble de las mismas.

En la figura anterior se observa el pre-ensamblaje de las piezas de los soportes de los motores NEMA 17, las piezas pueden e identificarse por las siguientes características.

Para el eje X, las piezas correspondientes son, la placa que tiene dos perforaciones en la parte superior donde pasa el eje para mover la mesa, las demás piezas son indiferentes ya que pueden colocarse en ambos sentidos, siempre respetando las perforaciones para el roscado de los tornillos y una vez armado, poder proseguir al montaje en la mesa de trabajo. (Ver Figuras 60 y 61)

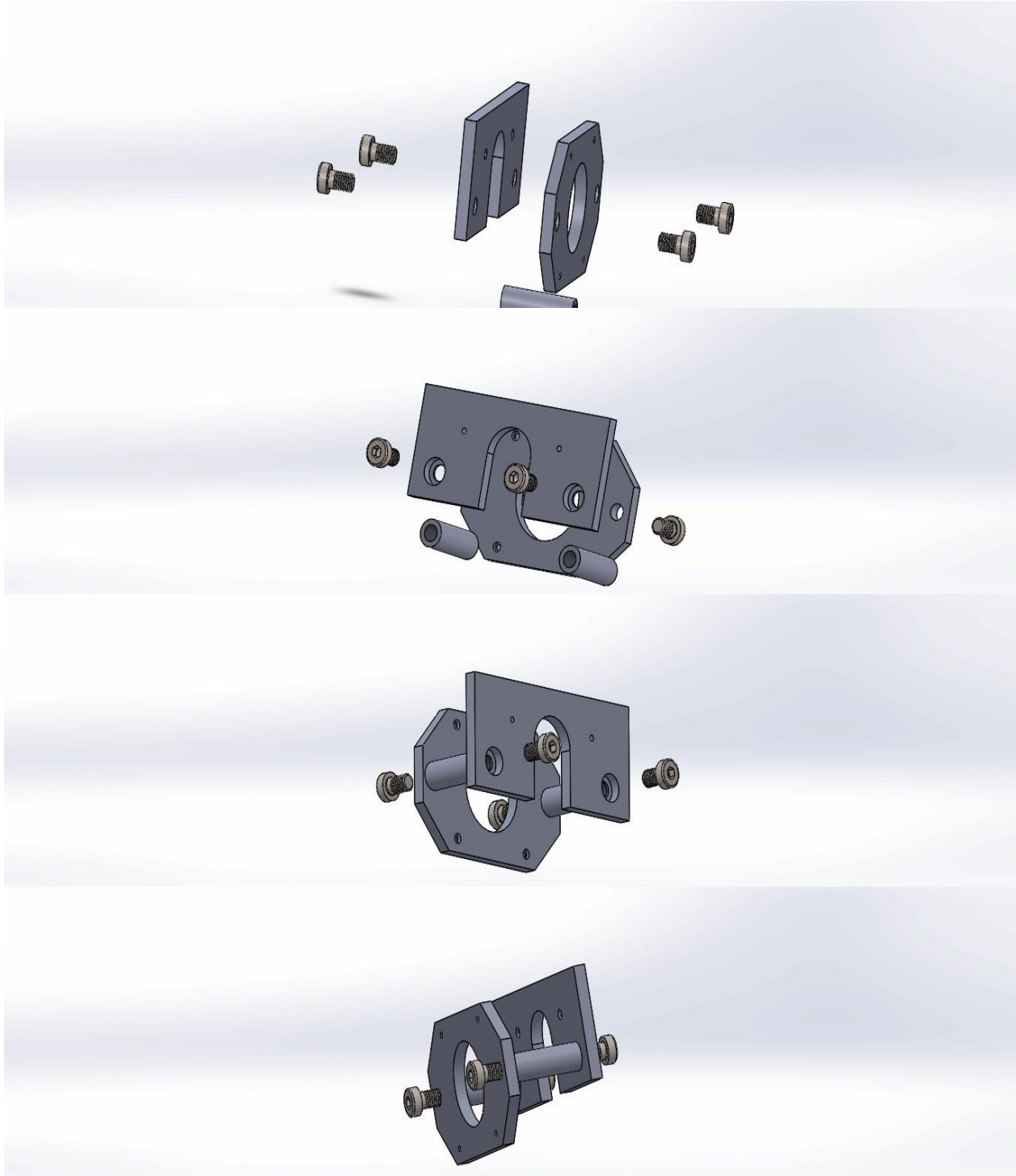


Figura 60. Ensamblaje del sostén para el eje X.

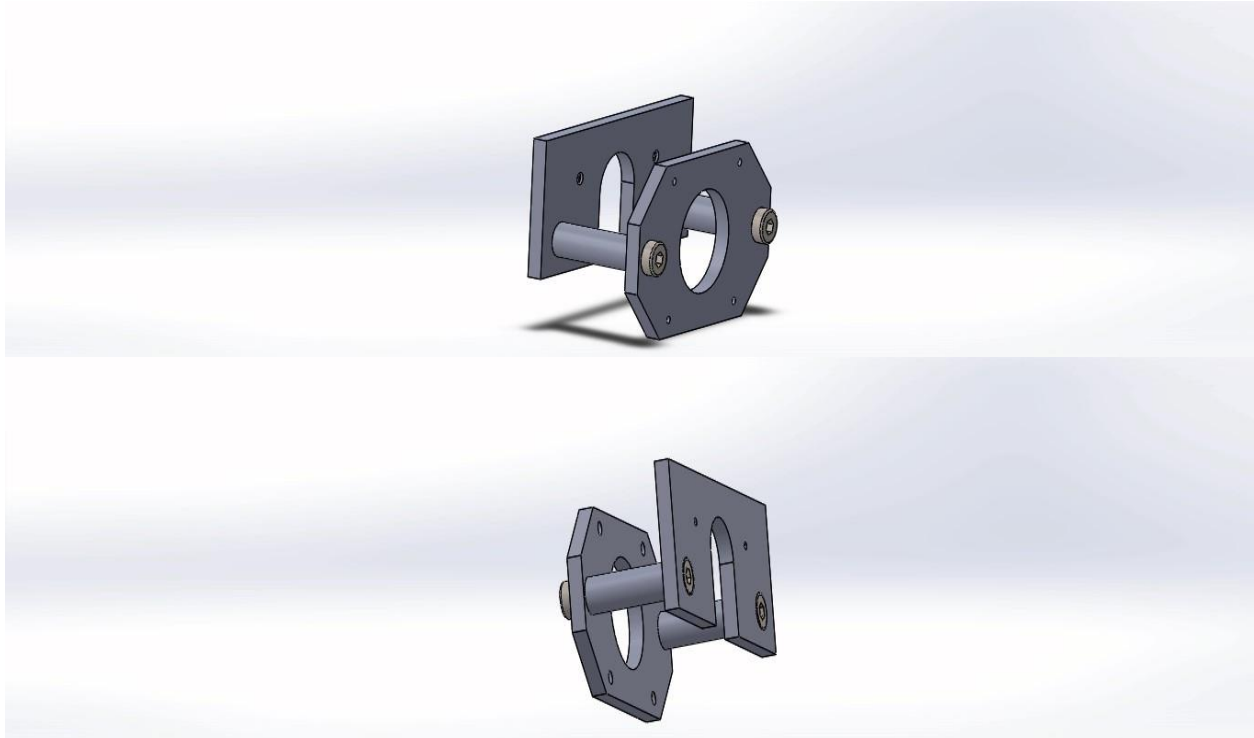


Figura 61. Ensamblaje concluido del sostén para el eje X.

Para el eje Y, las piezas correspondientes son, la placa que tiene dos perforaciones en la parte inferior donde pasa el eje para mover la mesa, las demás piezas son indiferentes ya que pueden colocarse en ambos sentidos, siempre respetando las perforaciones para el enroscado de los tornillos y una vez armado, poder proseguir al montado en la mesa de trabajo. (Ver figuras 62 y 63)

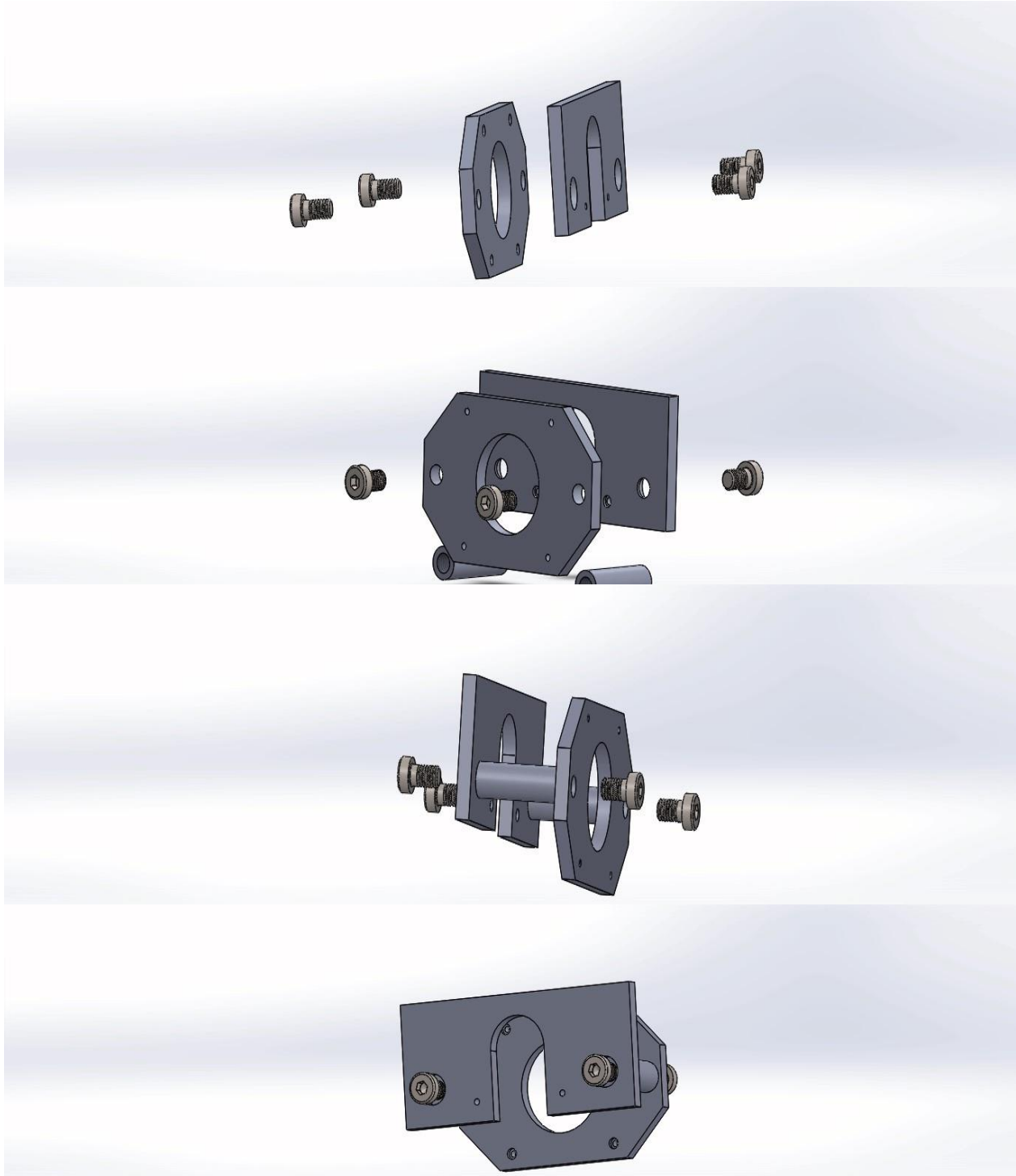


Figura 62. Ensamblaje del sostén para el eje Y.



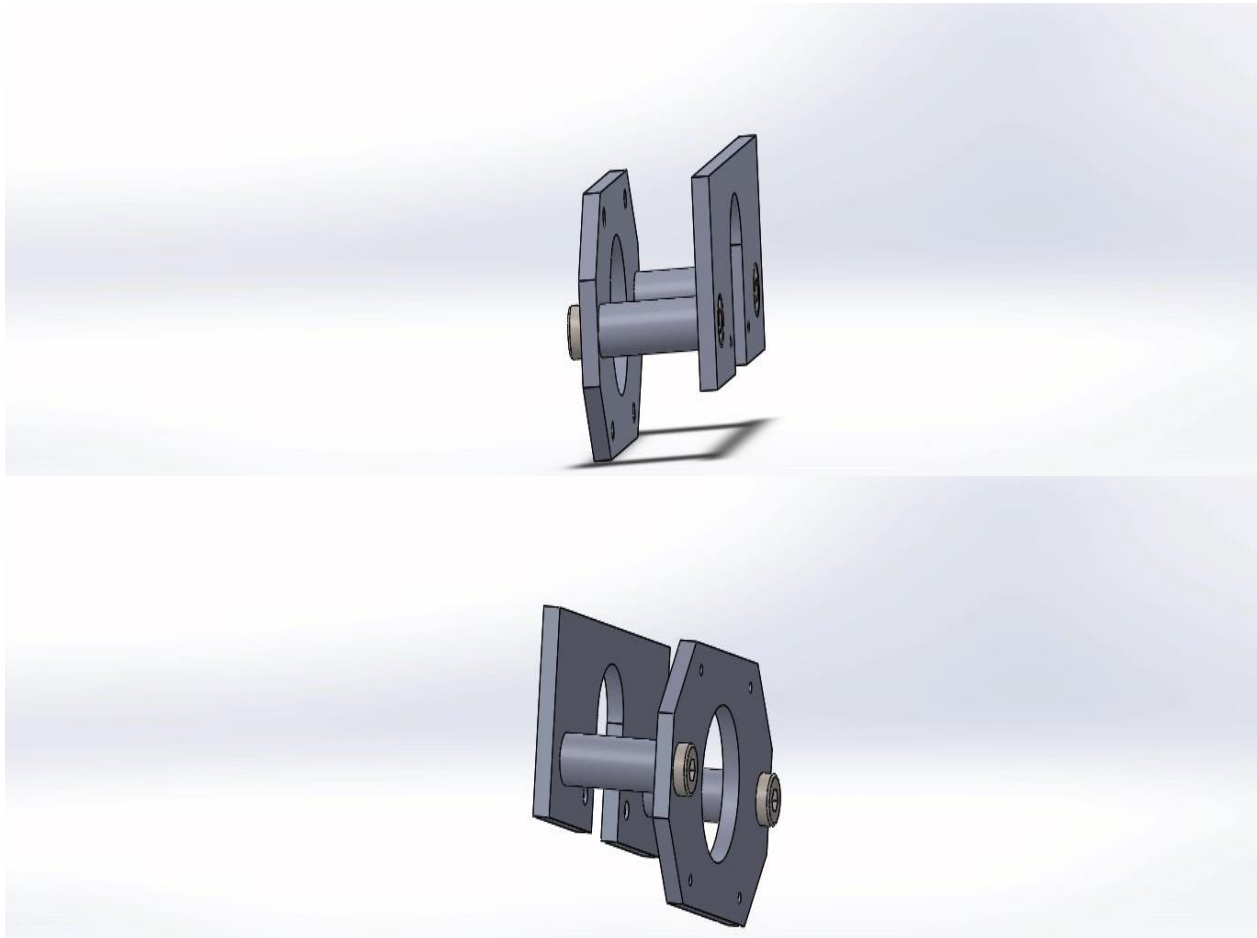


Figura 63. Ensamblaje concluido del sostén para el eje Y.

### 4. 3. Prueba de ensamblaje de la mesa de trabajo.

Para ensamblar la masa de trabajo la base de la maquina nos ayudó, porque tiene dos perforaciones que se acoplan a las de la mesa. En la Figura 64 y Figura 65 se muestran las pruebas de ensamblado de los motores en la mesa XY.



Figura 64. Prueba de montaje de los motores en la mesa X, Y. (Continúa en la siguiente página)



Figura 65. Prueba de montaje de los motores en la mesa XY. (Continúa de la página anterior)

#### **4. 2. Ensamblado de componentes electrónicos.**

En las siguientes Figuras (66 – 75) se muestra el ensamblado final de todos los componentes electrónicos si como de la fuente de alimentación.



Figura 66. Ensamblado final de los componentes electrónicos.



Figura 67. Ensamblado final de los componentes electrónicos a los motores.



Figura 68. Ensamblado final de los componentes electrónicos tarjeta, fuente de poder y motores.



Figura 69. Armado de una caja para montar y proteger la tarjeta de control.



Figura 70. Ranuras para los conectores de control de los motores y alimentación.

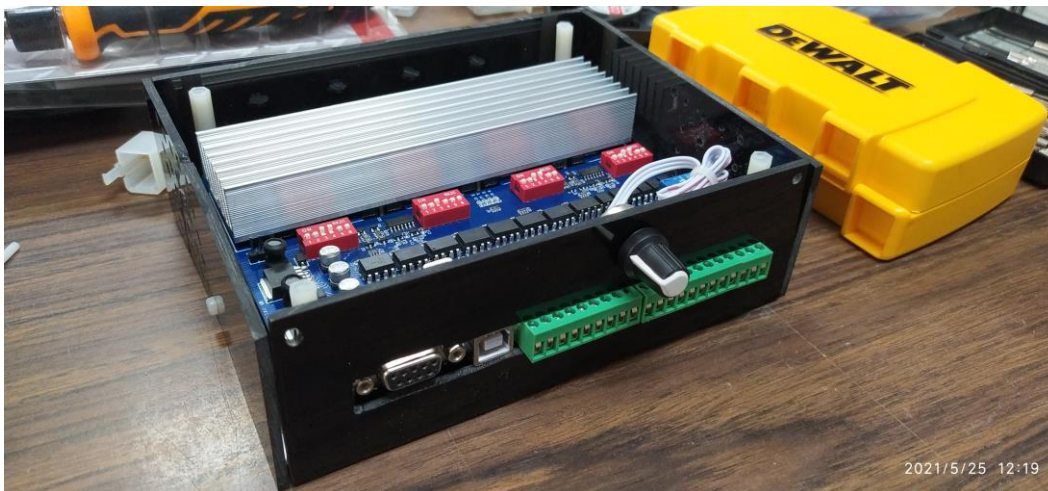


Figura 71. Ranuras para los conectores de sensores, entrada USB y potenciómetro para el control de velocidad de los motores.

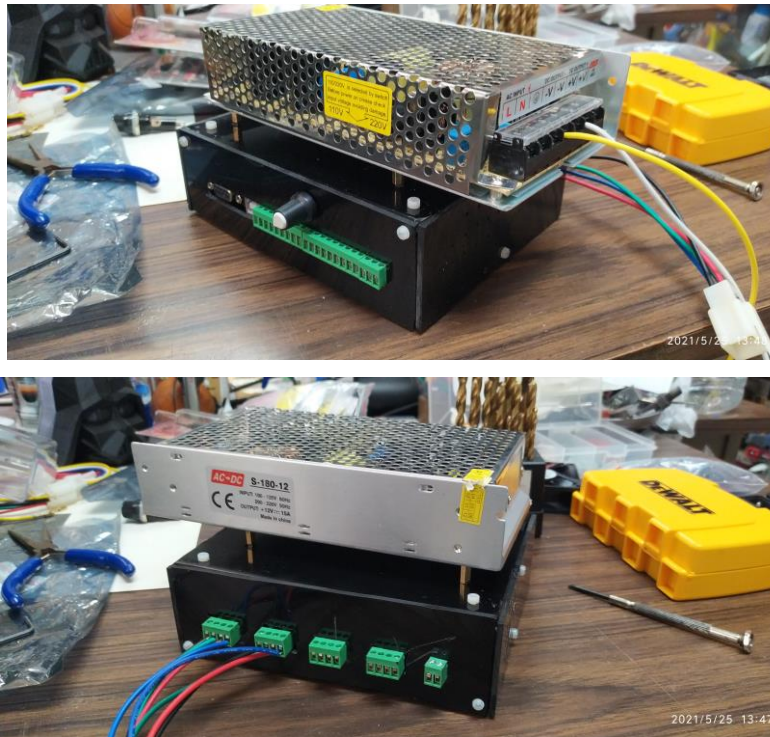


Figura 72. Ensamblaje de la fuente de poder a la caja de la tarjeta de control.



Figura 73. Ensamblado de los componentes electrónicos con sus modificaciones correspondientes para su cuidado y traslado.

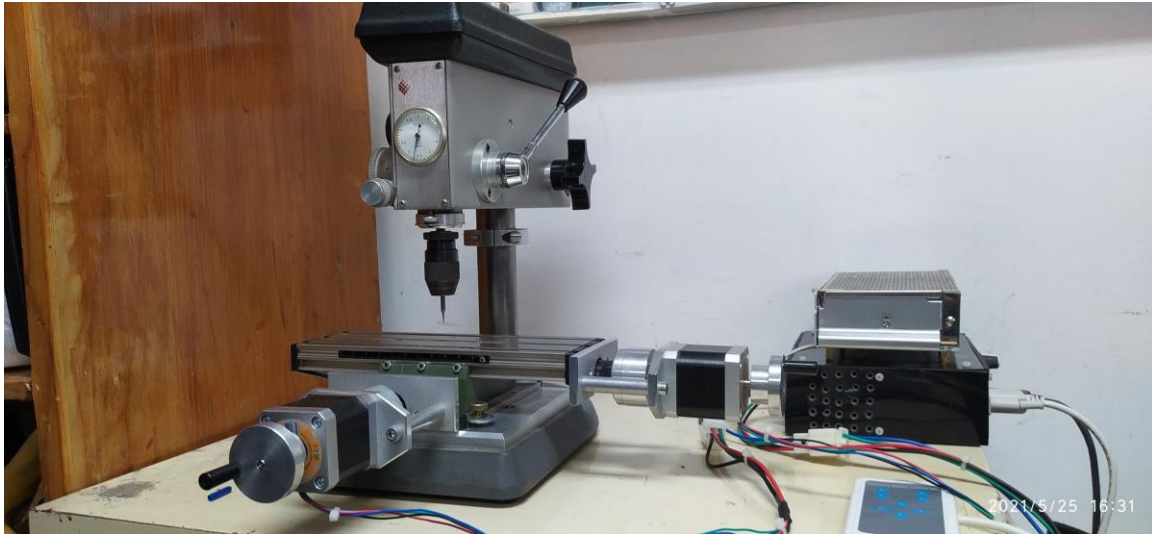


Figura 74. Ensamblado final.

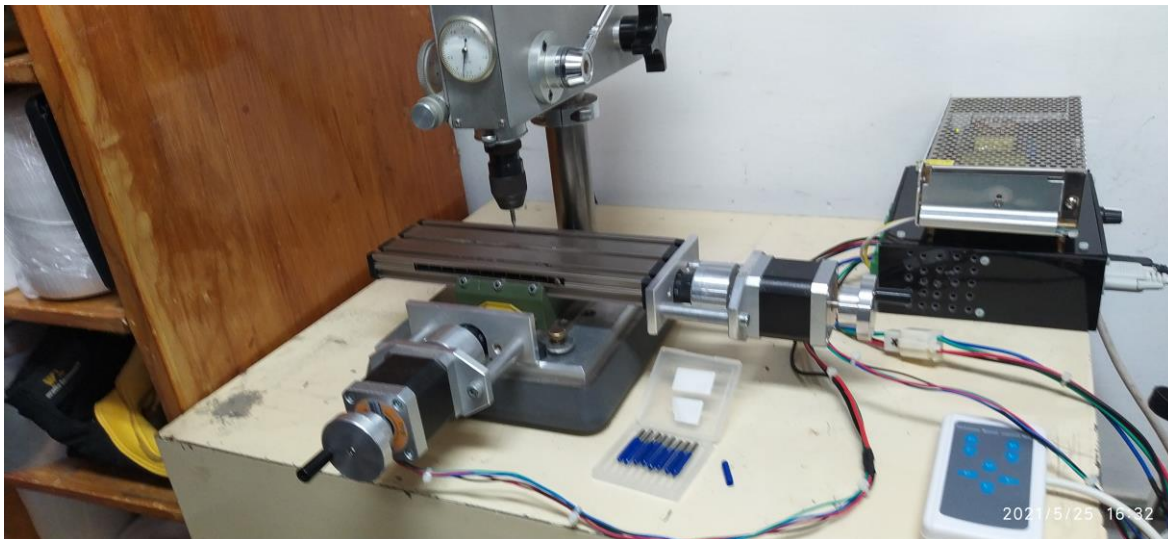


Figura 75. Ensamblado final de todos los componentes tanto mecánicos y electrónicos.



#### 4. 2. Diseño y maquinado de una tarjeta electrónica.

Para probar el sistema CNC de la fresa, se diseña y se maquina una tarjeta electrónica, para lo cual se realiza el diseño y se realiza el grabado mecánico empleando el sistema armado. Se requiere preparar el diseño y obtener el archivo de tipo STL, para posteriormente convertirlo a código G que es el empleado por la tarjeta de control CNC.

Montar el código G generado y realizar el grabado correspondiente en la fresa CNC ajustando la profundidad en el eje Z de manera manual ayudándonos del límite mecánico del eje Z. Observar las Figuras 76-80.

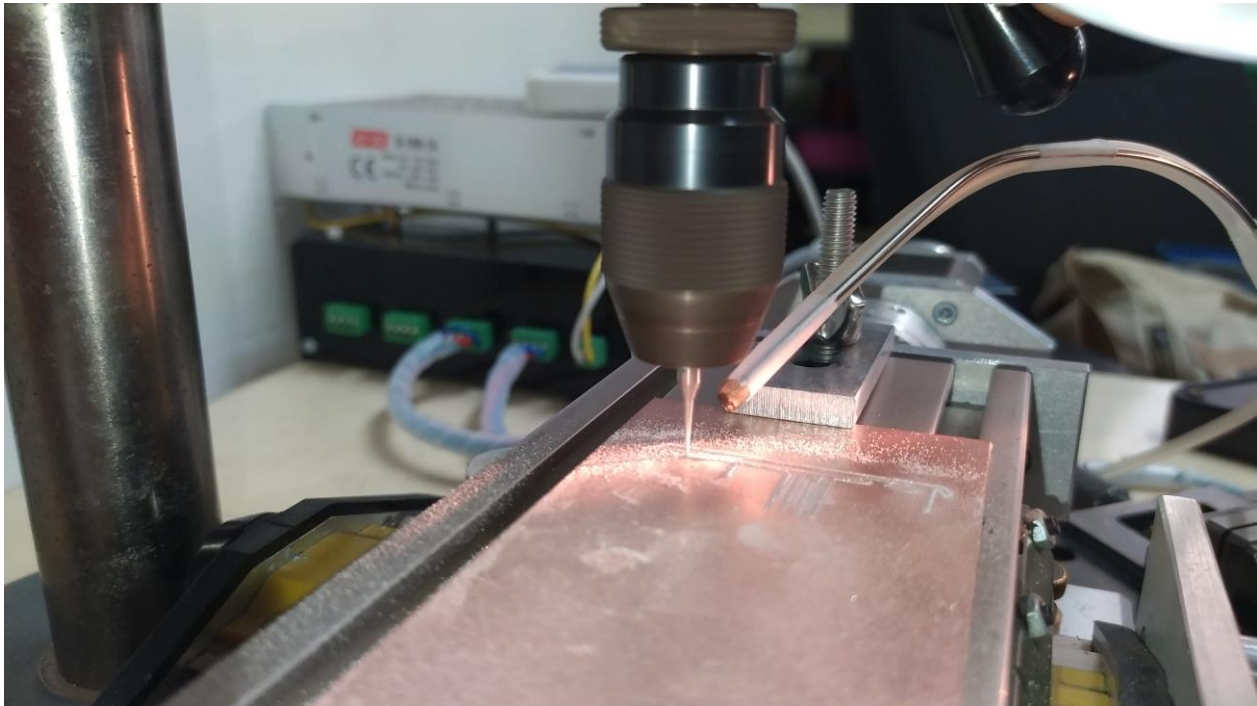


Figura 76. Maquinado de una tarjeta electrónica.

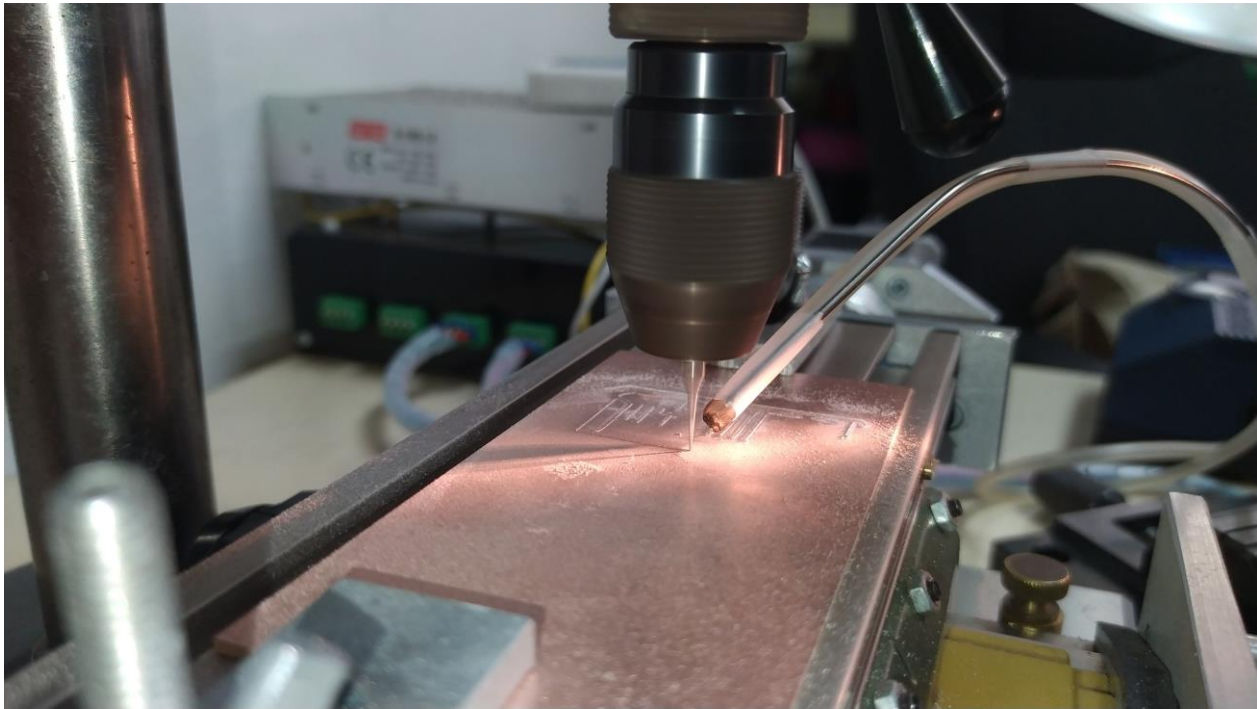


Figura 77. Proceso del maquinado de una tarjeta electrónica.

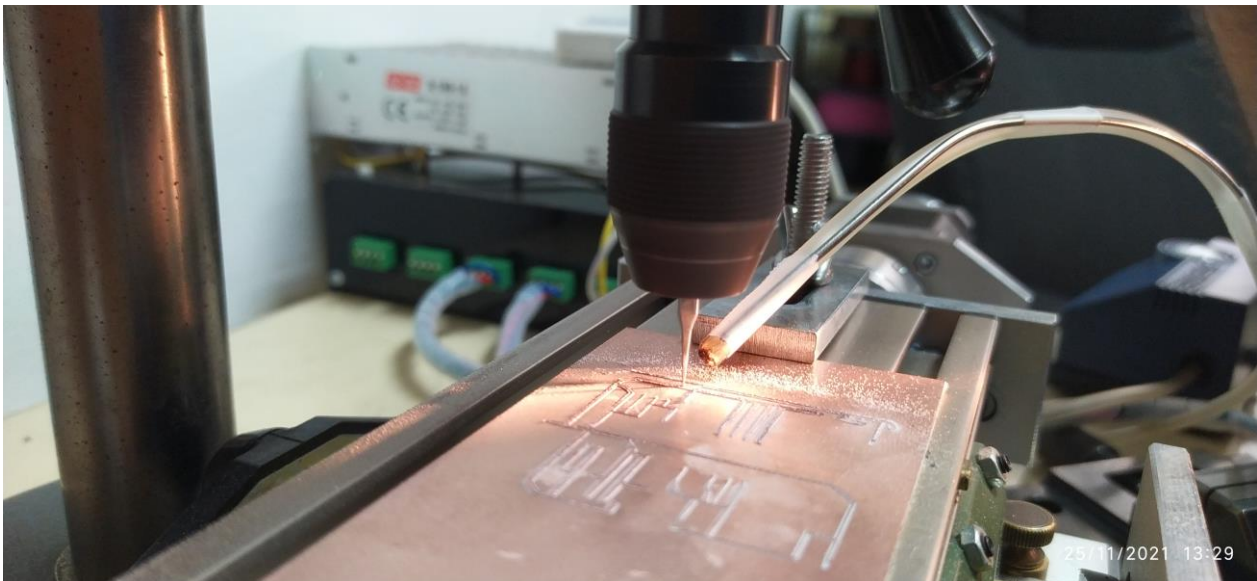


Figura 78. Fin del maquinado de una tarjeta electrónica.

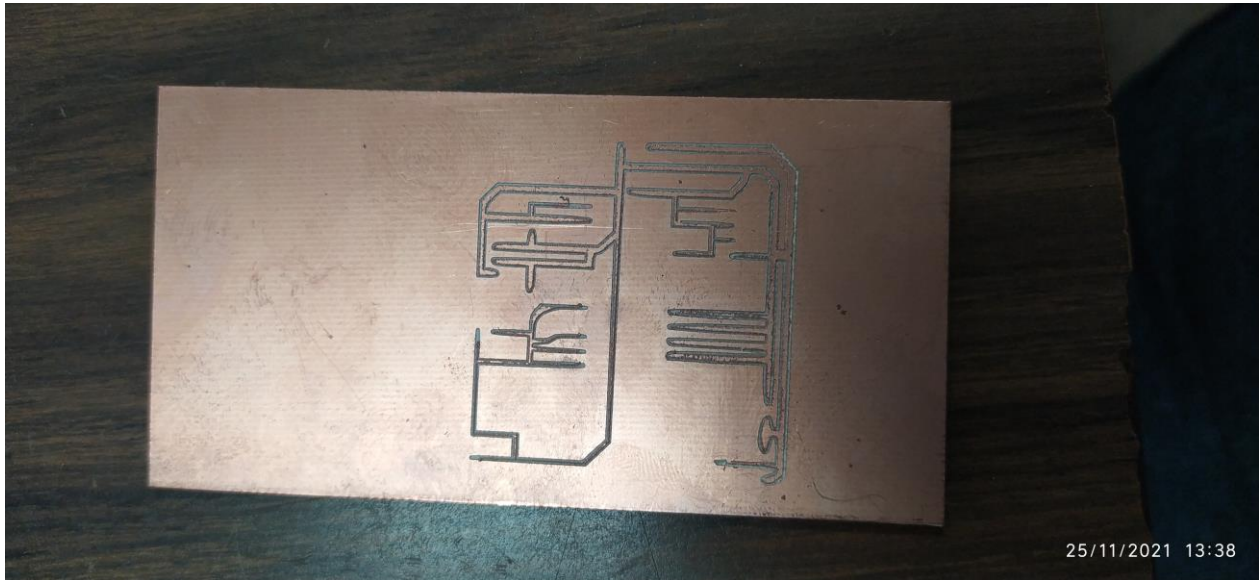


Figura 79. Tarjeta electrónica maquinada.

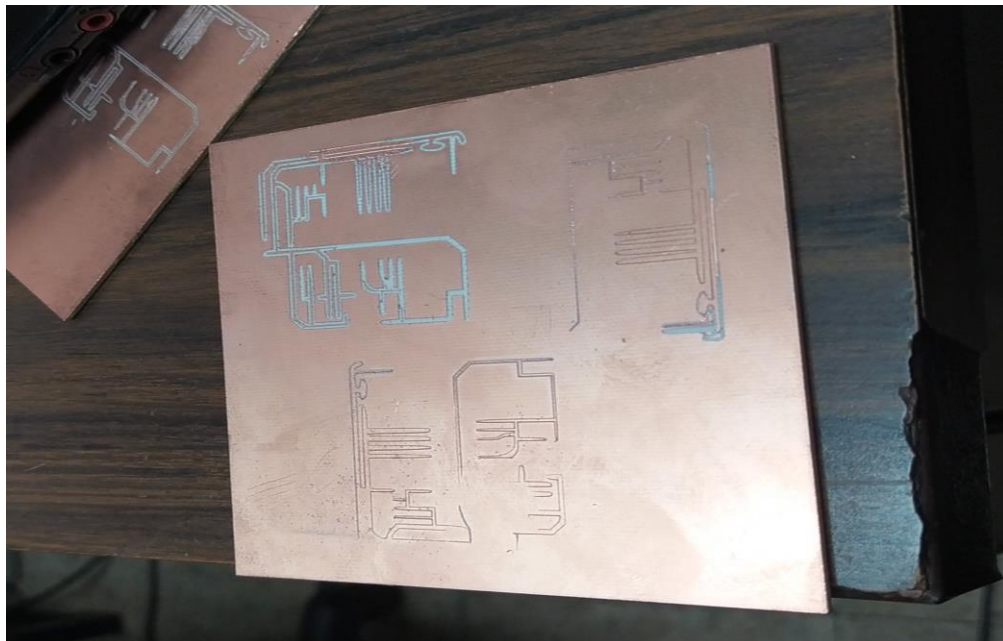


Figura 80. Pruebas del maquinado de varias tarjetas electrónicas.

## Conclusiones.

- La elaboración de proyectos de este grado permite ampliar los conocimientos adquiridos durante la formación universitaria.
- La conversión de la mini fresadora de un sistema de control manual a uno de tipo CNC ofrece ventajas en la operación y en la precisión de los productos maquinados.
- También ofrece la ventaja, en este caso particular, de generar un dispositivo CNC en el que los estudiantes pueden realizar prácticas de tipo “manos a la obra” en un sistema CNC relativamente barato.
- Por la forma de ensamblaje de los componentes electrónicos, la tarjeta de control se colocó en una caja protectora, con conectores de un desprendimiento fácil asía los motores y el empotramiento de la fuente de poder a la misma caja, que se puede trasportar muy fácil y es compatible con alguna otra máquina que tenga un funcionamiento similar con los respectivos ejes.
- El sistema CNC implementado a las maquinas herramientas mejora los tiempos de producción, establece un nivel más eficaz la configuración geométrica de las piezas mecanizadas y controla más eficientemente las dimensiones de las mismas. A la vez eleva los ingresos económicos de los talleres de maquinado mejorando la relación laboral y calidad de desempeño en el operador.
- El sistema CNC es aplicable para toda máquina herramienta que este en un estado funcional, aumentando su vida útil de trabajo en un 30% más. También es

aplicable para maquinas nuevas de diseño especifico como router, talladoras de bustos, cortadoras de láser o plasmas.

- Al establecer que la mini fresadora trabaja en modo manual y modo automático CNC independientemente se aumenta la utilidad de la máquina, en vista que puede ser manipulada por personal en modo manual cuando este no esté capacitado en sistemas CAD/CAM u operación de máquinas CNC.
- Gracias a la presión en el avance del a mesa de trabajo y los motores a pasos se pueden obtener trabajos de gran calidad y precisión. Ya que sus movimientos son muy finos porque son a una 1 revolución de la manivela = 1 mm, 1 división = 0.05mm.
- La aplicación de un software de fácil operación como es el CNC USB controller en el sistema CNC aumenta la versatilidad de la maquina al disponer de auto ayudas para maquinados, teniendo un buen control en la precisión del movimiento de los motores, haciendo una gran eficiencia en el trabajo y su fácil programación a código G es de gran ayuda, sin disminuir la complejidad de mecanizados cuando lo requiera.

## Recomendaciones para trabajos posteriores.

- Explorar la posibilidad de implementar el control del eje Z mediante un motor servo-mecánico.
- Para mayor información en el manejo del Software es recomendable ponerse en contacto con la compañía CNC USB motion controller o visitar la página electrónica <http://planet-cnc.com>, para tener un mejor conocimiento sobre el manual de operación.
- En cuanto al poner en operación la fresadora se tiene que tener en consideración el punto de inicio ya que en la mesa de trabajo se requiere definir el punto cero, cero en los ejes X, Y, ya sea al centro de la mesa o en alguna esquina.
- La colocación de sensores Endstop o fin de carrera, en la mesa de trabajo para tener una mayor referencia en la ubicación de los ejes X, Y en el momento de operar el software.

## Bibliografía

- [1] Porcel, F. (2009). Desarrollo tecnológico en la historia de la humanidad: Inventores e inventos. Whitney y la fresadora. Revista Innovación y experiencias educativas. N°21, Agosto ISSN.
- [2] Nadreau. (1979). El torno y la fresadora. 4° Edición. Barcelona. Gustavo Gili.
- [3] Mejía, Pacheco, Serrano. (2013). Procesos de mecanizado en fresadora universal. Éxodo.
- [4] Trilnick. (17 Agosto 2020). IDIS. <https://proyectoidis.org/telar-de-jacquard/>.
- [5] Centro de Documentación Musical de Andalucía. (07 Septiembre 2020). Música Mecánica. Los inicios de la fonografía. Centro de Documentación Musical de Andalucía. <http://www.centrodedocumentacionmusicaldeandalucia.es/opencms/musica-mecanica/piano-neumatico.html#pianola-a%C3%B1adida>.
- [6] Camprubi, A. (2007). Electro-erosión. Fundamentos de la física y la técnica. Marcombo. España. SBN.
- [7] DFM. (16 Septiembre 2020). Forestal Madero. <https://www.forestmaderero.com/articulos/item/la-historia-del-cnc-control-numerico-por-computadora.html>.
- [8] BBC News Mundo (25 de Octubre 2020). BBC. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47393964>.
- [9] Gómez, Muñoz. (2006). Control numérico computarizado. México. UAM Azcapotzalco.

ANEXO A. Diagramas de las piezas maquinadas.

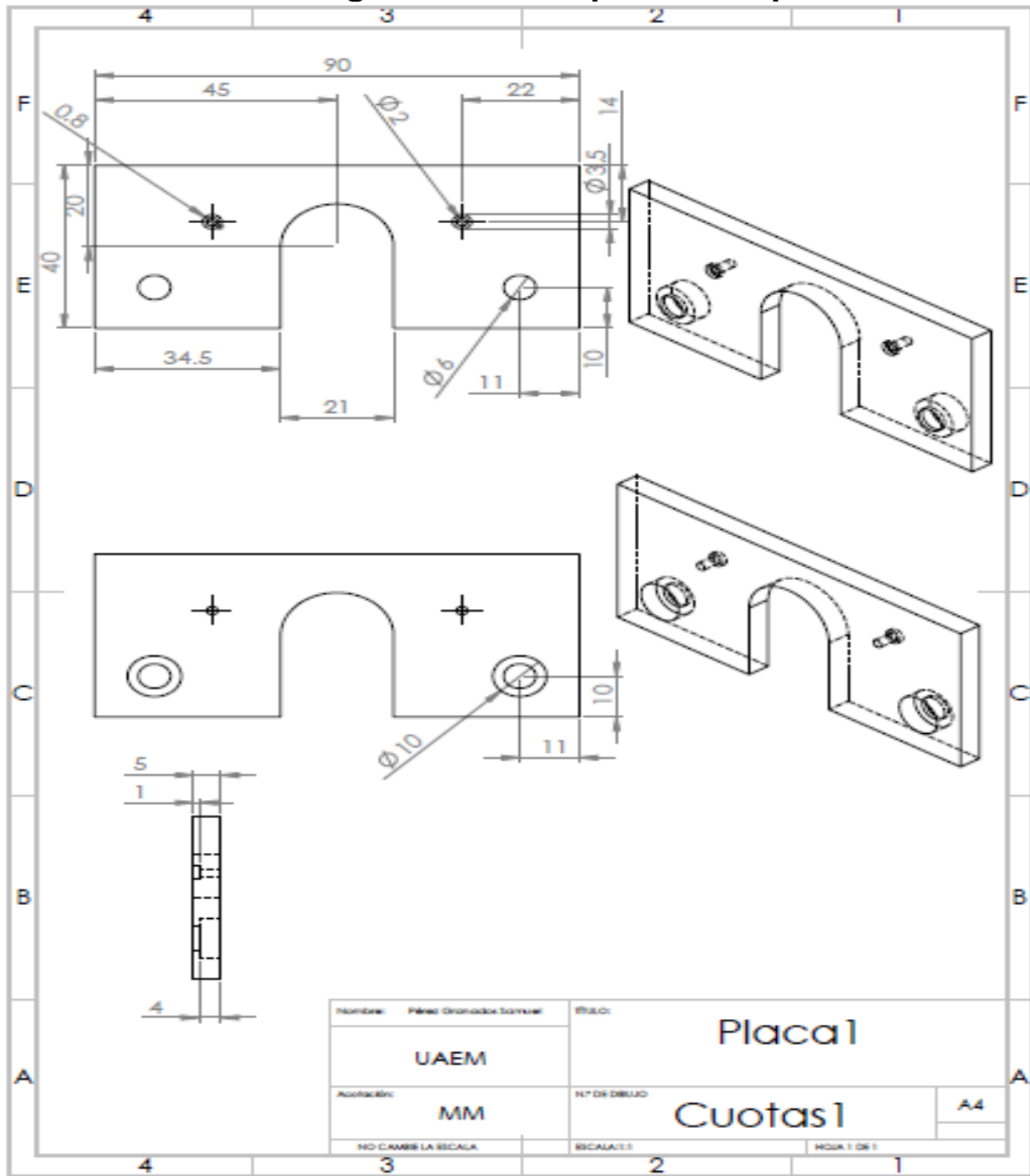


Figura 77. Diagramas para un sostén de los motores NEMA en el eje X.



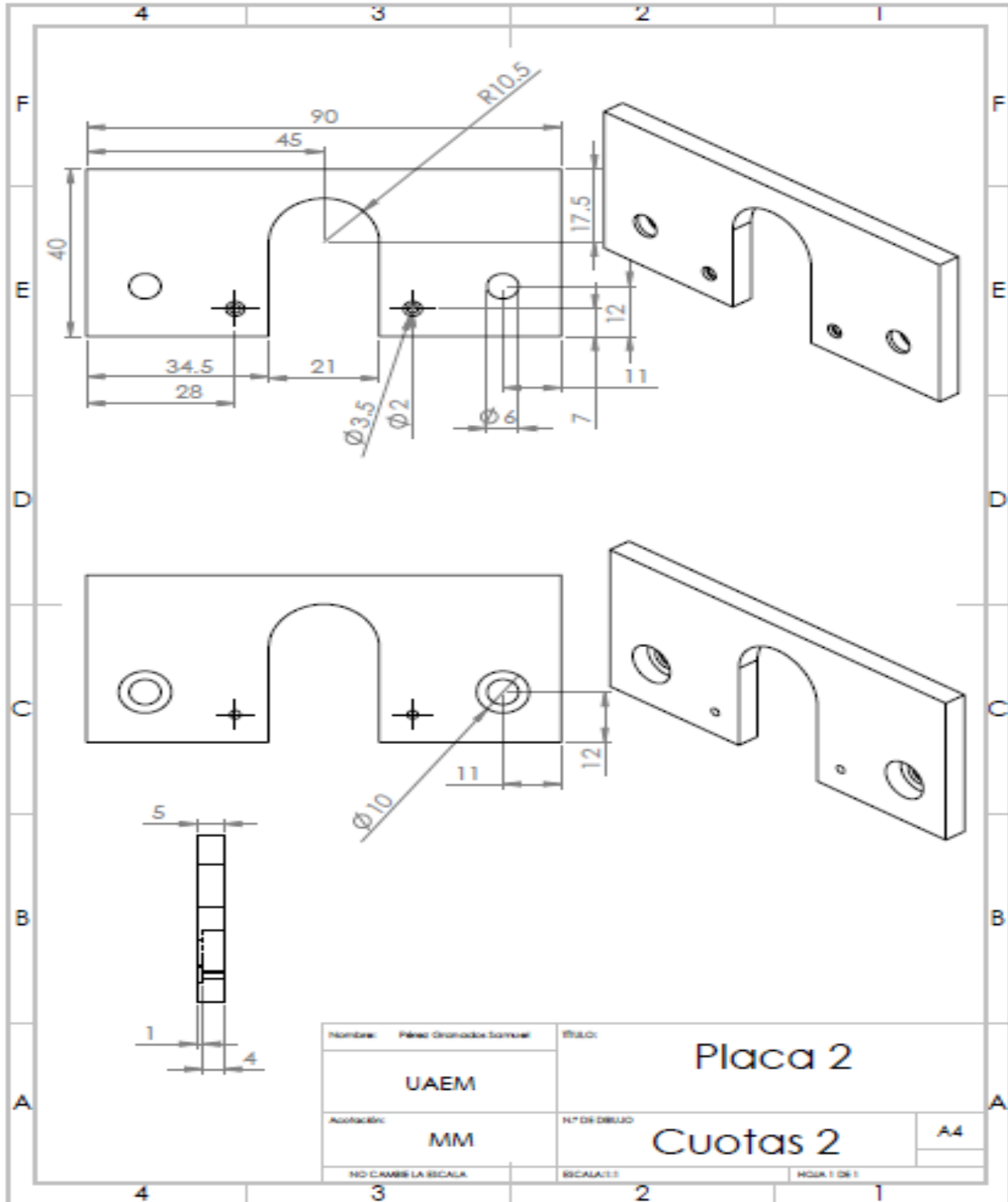


Figura 78. Diagramas de un sostén para uno de los motores NEMA en el eje Y.

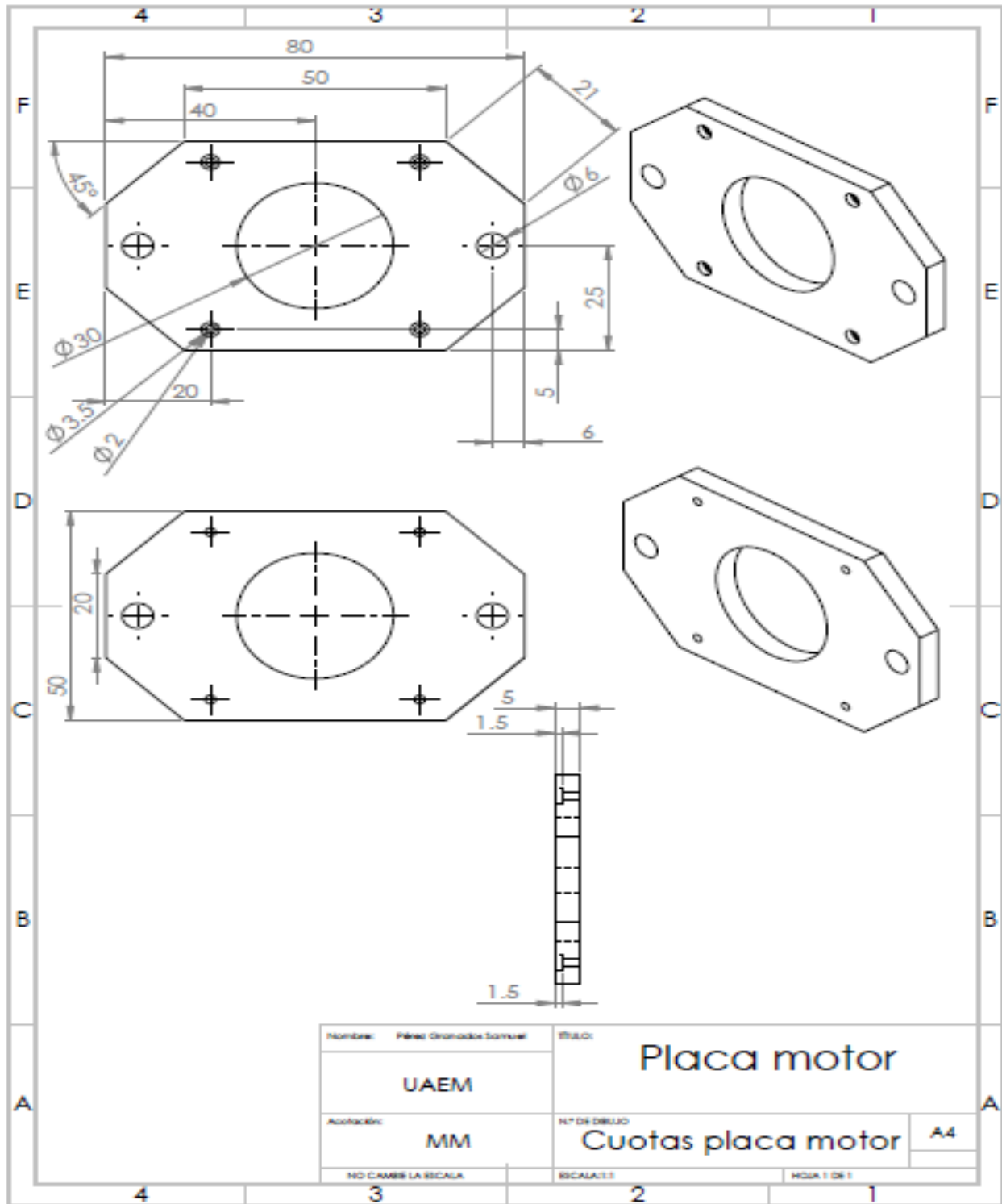


Figura 79. Diagramas para el soporte de los motores NEMA.

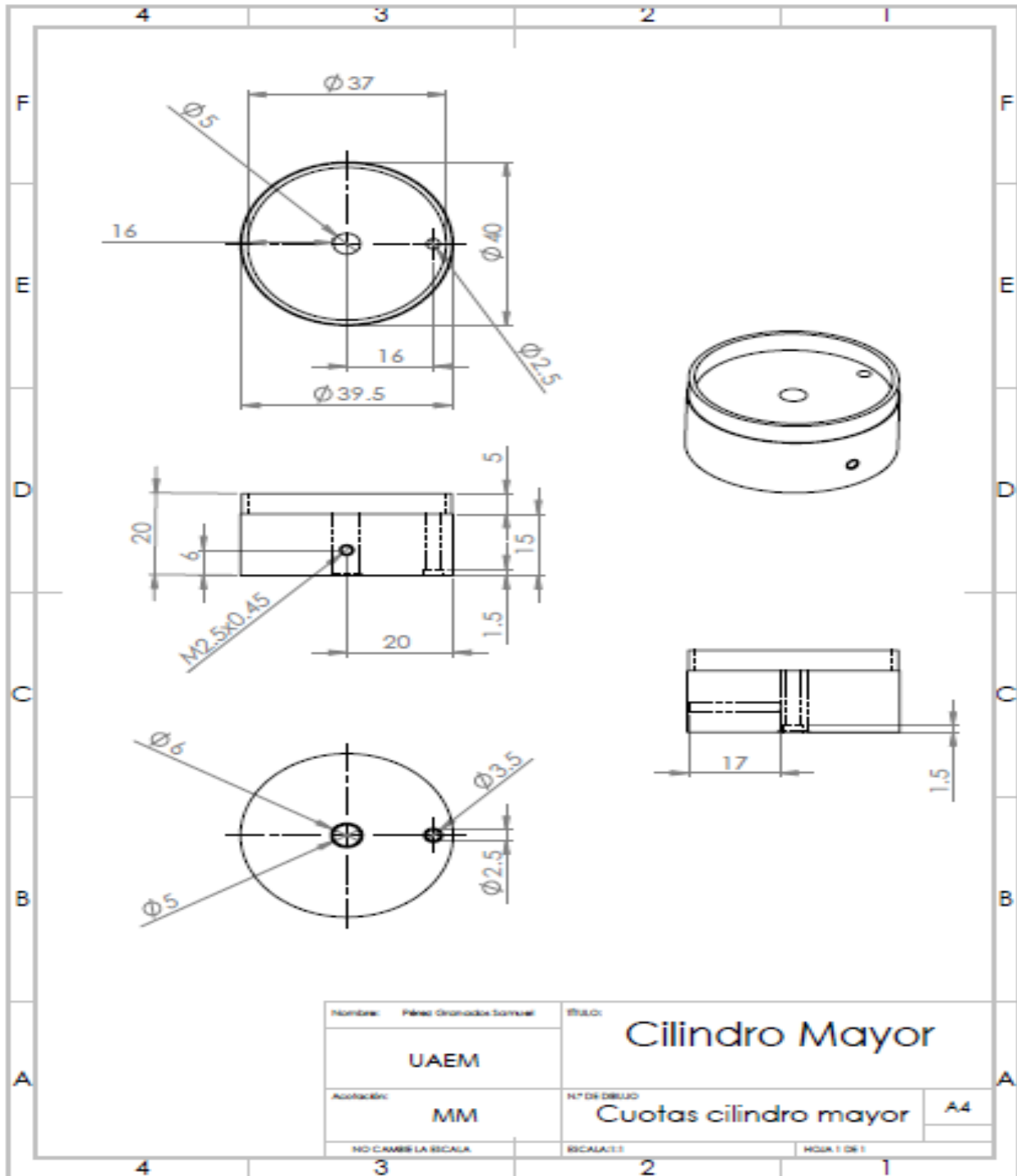


Figura 80. Diagramas del cilindro para el usillo de la mesa de trabajo XY y montar el eje de los motores NEMA.

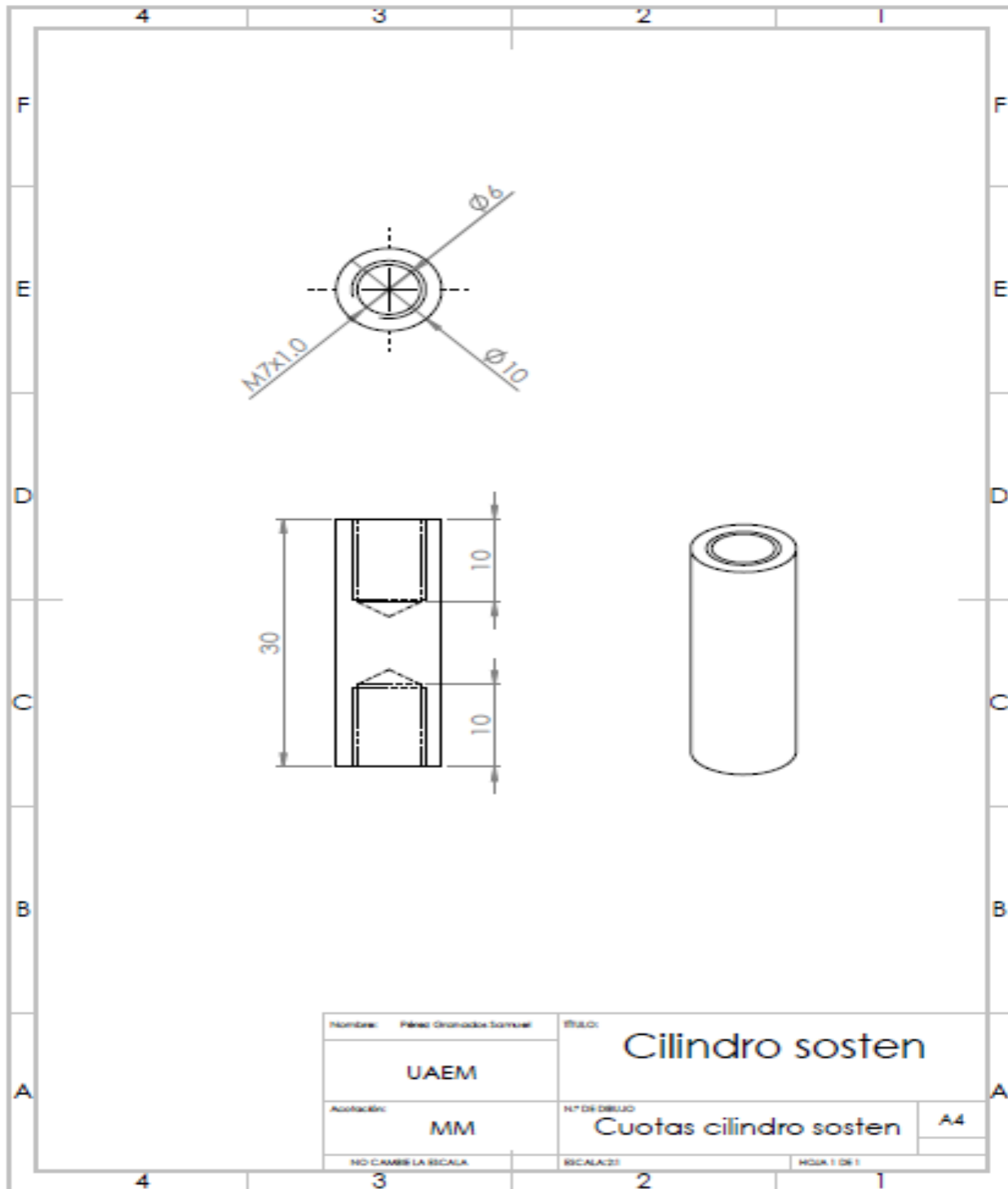


Figura 81. Diagramas de los cilindros para montar las placas y los motores NEMA.



Cuernavaca, Mor., a 01 de JUNIO del 2021.

**FORMA T-4A  
NOMBRAMIENTO COMITÉ REVISOR**

**DR. ARTURO MOLINA OCAMPO  
DR. HORACIO MARTINEZ VALENCIA  
ING. JAVIER MACEDONIO ANDRES  
MTRO. ANDRES AGUILAR NEGRETE  
DR. OSVALDO FLORES CEDILLO  
P R E S E N T E S**

Me permito comunicarles que han sido designados integrantes del **COMITÉ REVISOR** del trabajo de:

**TESIS**

Titulado:

**CONVERSIÓN DE UNA FRESADORA MANUAL A AUTOMÁTICA PARA USO  
DIDÁCTICO**

Que presenta el **C. PÉREZ GRANADOS SAMUEL**

Del programa educativo de: **INGENIERÍA MECÁNICA**

**A T E N T A M E N T E**  
*Por una humanidad culta*

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ  
DIRECTORA**

*(SE ANEXA FIRMA ELECTRÓNICA)*

**D I C T A M E N**

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**

**DIRECTORA DE LA FCQeI**

**P R E S E N T E**

En respuesta a su amable solicitud para emitir DICTAMEN sobre el trabajo que se menciona, me permito informarle que nuestro voto es:

VOTO	NOMBRE	FIRMA
APROBATORIO	DR. ARTURO MOLINA OCAMPO	
APROBATORIO	DR. HORACIO MARTINEZ VALENCIA	
APROBATORIO	ING. JAVIER MACEDONIO ANDRES	
APROBATORIO	MTRO. ANDRES AGUILAR NEGRETE	
APROBATORIO	DR. OSVALDO FLORES CEDILLO	

*Se anexan firmas electrónicas*

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2021-06-02 17:29:38 | Firmante**

alL3+Xopy9cjakA+dIjCqR801UhxB7WPmCYCOLuO4/mX9uipw92+6EeCb2xIDv9ZNIr4PKeg0AmyMrHy2G7azP2mcHHQs3S8WQWkF0AagEFaeYCV/e40Nu21JW+udu6vjOvebksQsCnMV2p2i3i0dZfoSq/RDa22rTkazUZYNtwP9Xyie7ZXV11xLzRm9PLbNs93H02WgqajiYBstDx/mf5gsOl3yHO2eGZtvhVfDc8CSm3wou9H9eSyCZYhmbVqg4yhbBwDJJyI90sjqF91nrflu9RI7Lug1yzxeTPMGBmM6lwRC4VIT8Oaxqg6Ks1ChL0Xr+S1cGBRAjpCdszfW2Q==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



eSGOyV

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/38gyqGRz9Hevl3df8K9LMDokhSdXUxy5>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**OSVALDO FLORES CEDILLO** | Fecha:2021-06-04 22:49:45 | Firmante

GRa0vuj5wOoVAKSr0LYdzsMeyomdC0L9hapL36++V4PNp/Ri3/hJ6+GzLfZ7vakgVvuKdFAHjEofqIL3LKy2ahqFd73gBAAvtc/qWlPhGQZHNzNf9ZMHrrODzCq52IY9Oli1sZ9Nwbp  
iysfSHD6kEggFoXbfmGrwiqe2wonXteKFef6NnbddNX3HfotPLu5URnnPx8ylbidvygFFp5baS4muHEZFBhHe5wCpPC/fbY68vLFzH3k97qkfMb+7dMgoGDqjHh06KhdEFaTxZ5s364  
7pto1RP++FEsA+B8iHOEa27KbdbQ/4sJvlefhxydBf+kRfJjs7E3FJBIAPBVYsw==

**ANDRES AGUILAR NEGRETE** | Fecha:2021-06-05 10:58:04 | Firmante

eK3PSVym0OfgjlIU5TNJCnmb1Zr72gxdQYe7MybWhby/bDsXwP7q2wCM+wPdh7ZBLF2fTug4BgFtAve8V0V7TBx80hQKixwhgVjZtOohMiRqf166BaC9vsNtjyKnTRtoRfDFD+iU8  
7cfZwhlp50F4Q9TBPkRoN4LaQcUq8uYk+N7ilbwwyYd7Ongc9U0a7chXltoX3+ybLgGkUWtL+CN6Nt1yb1U9jpphLTUl/sF9v1v6MR2sJtW6/fnLLOz8XccBc4+iOSgfGpv3LufMkrQR  
1Fk7HePjW2Wp2AHSi2wnwAwqFBIV0U+XFR0sH5Tz2rmiJ11DfIDGRhgVlW4iWSA==

**JAVIER MACEDONIO ANDRES** | Fecha:2021-06-06 14:52:21 | Firmante

zKH1o0g9KKsriqDrf2ujVOF3z6WVeyORU4eZGzUE/iklSX2FB8VMHy0d/uGWRUtgMXOQOpceJ6pwsnQGIH3Que09hzDpdptvIWDv0LcCZU9Mt9oXggOWwQnowtyJNZtSwerfZjz  
a0xDSAHYV484dkZovVxSLTb1v4hIhrTsPw3PhBHTOx7YMaXASUlrrpe1qQDaZy2TB/zYIZF1qJSKh00eiPO+p/8lnaijuO3p6qduTds2wZGkhr37hOa+ROKtoYPddSSpqvoXgaaVZ  
eaXilwAcTtJE6NVVQnRkkw4rg8SOo0mQfVYrYJFMzCTWwDDG9egy8CzNQXF4FiIPJw/+g==

**ARTURO MOLINA OCAMPO** | Fecha:2021-09-09 09:11:53 | Firmante

loCSfJtDWYNNrRuJ82b0vWjBpdWYWWgDaoUjVde5jO8u/FuM5IMle0voJ03fP0pcMTEZe2+/gw4nwKSJk/P0n/xSh5KIQBURxjPrpcQbVy8FslMnHTBXtaEjDC6jwVbDIgOrRPTxn+  
Od0UpTW4tGxxlLaDLauNpDF6oKlJ07fMDxJcpAFHzenKpSslid+zbVj5y5DzV3l3ib5vPW41RZ/OieGbtgme5DdoTUntQca6OnOzTxnR2ZK0z158utbIYYh/GbNa0xDuJohhF31gt  
OFJclubwLoF/T8L/GIE5KNXjBTU6tiWM6SLbgFH2iOf/12L+6Xe91aV5Wb3mhPA==

**HORACIO MARTINEZ VALENCIA** | Fecha:2021-12-06 21:01:01 | Firmante

pn2INjZZBjZKBNmKst7TfredxLNov988SKmSSOIfA7oEl3MRlWErqNqgVIH2C7CzBtqbjZ/LAN1i6jbl0NErWnHtOOwdo90pyyTzofyD4qRP6h4HnKYdVGysTdlzMb4pPHmhodDW2e  
ebVTIm715gGnpjjmGBcPB6XxBx77oGKevWP51E0X24NunMOfTJsykMuAzGlls1oJMp5RphT/JpKdw06NAGwVkpUcWuzCraIT2XECTfQVW5EZUhxNharMKCZhcXgOuLvSH8i7  
hHEcpsGPMzhFFoEBfjQm1zJHEW1btJAbfY+36yLLZtyh/6MRELatSk3cbG3izo9LHtZOQyQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o  
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



**FBMJesHPK**

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/wTkV6WMUxZoS7Rb3BDQedomwOvpvW11>

