

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



**“CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE COPIADORA
ELECTROMECAÁNICA 3D, PARA MOLDES DE YESO DE
AUTOPARTES DE PLÁSTICO”**

Proyecto de Grado presentado para obtener el título de Ingeniero Electromecánico

POR: WALTER MOISÉS QUISPE CHIRAPA

TUTOR: M.SC. ING. JOSÉ LUIS APAZA GUTIÉRREZ

La Paz – Bolivia

MARZO, 2021



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

A mis padres Hortensia y Gonzalo, gracias por sus consejos hacia el camino de la
superación, por su apoyo y cariño

A mi hermana Olivia que siempre me apoyó incondicionalmente.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este.

A mi tutor y tribunales, por su tiempo y dedicación en la elaboración de este documento

Tabla de contenido

RESUMEN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
ASPECTOS GENERALES	2
1.1. Introducción	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivos del proyecto	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación.....	4
1.4.1. Justificación técnica.....	5
1.5. Alcances y límites	5
1.6. Fundamento teórico.....	6
1.6.1. Paralelogramo	6
1.6.2. Escáner 3D.....	6
a) Funcionalidad	7
b) Esquema de funcionamiento.....	7
c) Tipos de escáneres 3D	8
d) Aplicaciones	9
1.6.3. Sensor Sharp	9
a) Esquema de montaje.....	12
1.6.4. Arduino	13

a)	Características Generales.....	14
b)	Arduino UNO	14
c)	Arduino Nano	15
1.6.5.	Fresadoras	17
a)	Estructura de una fresadora.	17
b)	Operaciones de fresado.....	18
c)	Parámetros de corte del fresado.....	19
d)	Tipos de herramientas.....	20
1.6.6.	Yeso	21
a)	Usos	22
b)	Tipos de yeso	22
1.6.7.	Servomotor.....	23
a)	Tipo de servomotores	24
b)	Funcionamiento de un servomotor	25
1.6.8.	Motor Paso a Paso.....	28
a)	Principio de Funcionamiento.....	30
b)	Tipos de Motores Paso a Paso.	30
c)	Control de Motores Paso a Paso.....	31
1.6.9.	Driver para motor Paso A Paso 1A – A4988.....	34
a)	Tamaño del paso y micropaso.	35
b)	Control.....	35
c)	Limitación de corriente.....	36

CAPÍTULO II	37
INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	37
2.1. Diseño de la fresadora.....	37
2.1.1. Pruebas preliminares para la fresadora.....	38
2.1.2. Volumen de trabajo para la fresadora.....	39
2.1.2. Mesa de trabajo.....	40
2.1.3. Diseño del sistema de transmisión de potencia	40
2.2. Análisis previo al diseño mecánico de la fresadora	41
2.2.1. Sistema de transmisión en eje X.....	41
a) Fuerzas gravitacionales:	41
b) Fuerzas de rozamiento.....	42
c) Fuerzas inerciales	43
d) Tornillo de potencia.....	43
e) Selección del material.....	45
f) Diagrama de cortante y momento flector para guías en el eje x	45
g) Potencia para motor paso a paso eje x.....	47
2.2.2. Sistema de transmisión eje Y.....	48
a) Fuerzas gravitacionales:	48
b) Fuerzas de rozamiento.....	49
c) Fuerzas inerciales	49
d) Tornillo de potencia.....	50
e) Selección del material.....	51

f)	Potencia para motor paso a paso eje Y.....	51
g)	Diagramas de cortante y momento flector para guías eje Y.....	52
2.2.3.	Sistema de transmisión en eje Z	60
a)	Fuerzas gravitacionales	60
b)	Fuerzas de rozamiento.....	61
c)	Fuerzas inerciales	61
d)	Tornillo de potencia.....	61
e)	Selección del material.....	62
f)	Potencia para motor paso a paso eje Z	62
2.3.	Diseño mecánico del scanner	63
2.3.1.	Volumen de trabajo.....	64
2.4.	Análisis electrónico del Scanner	64
2.4.1.	Control de los motores paso a paso para el Scanner.....	65
2.4.2.	Conexión entre Sensor Sharp y Arduino	67
2.4.3.	Lectura ADC del sensor SHARP.....	67
a)	Detección de obstáculos: Sensor de proximidad.....	70
2.5.	Análisis electrónico de la fresadora	72
CAPÍTULO III.....		73
MANUFACTURA.....		73
3.1.	Proceso de montaje para la fresadora.....	73
3.2.	Proceso de montaje del Scanner.....	78
CAPÍTULO IV.....		82

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	82
4.1. Operación	82
4.2. Mantenimiento	83
CAPÍTULO V	84
COSTOS	84
5.1. Costo de materiales	84
5.2. Costos de fabricación y montaje	87
5.3. Precio.....	90
CAPÍTULO VI.....	91
EVALUACIÓN.....	91
6.1. Evaluación técnica	91
6.2. Evaluación económica	94
CAPÍTULO VII	96
CONCLUSIONES Y	96
RECOMENDACIONES	96
7.1. Conclusiones	96
7.2. Recomendaciones.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXOS.....	100
1 Tabla de densidades.....	100
2 Tabla de coeficientes de rozamiento	101
4 Tabla de Pugsley.....	102

5 Sistemas de control.....	103
6 Ficha técnica.....	104
7 Hoja de procesos.....	105
8 Planos	119
9 Pruebas en modo simétrico.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplos de automóviles accidentados	2
Figura 2 Diseño simétrico longitudinal de un auto	4
Figura 3 Simetría de un auto	5
Figura 4 Primer pantógrafo	6
Figura 5 Principio de un sensor laser de triangulación	8
Figura 6 Método de triangulación	10
Figura 7 Salida del sensor Sharp	11
Figura 8 Rango adecuado para la medición	12
Figura 9 Montaje del sensor Sharp	12
Figura 10 Conexión al Arduino	13
Figura 11 Partes de una placa Arduino	15
Figura 12 Arduino Nano	16
Figura 13 Diagrama de pines Arduino Nano	16
Figura 14 Fresadora de Whitney	17
Figura 15 Diagrama de una fresadora horizontal	18
Figura 16 Operaciones básicas de fresado	18
Figura 17 Nomenclatura de una fresa	20
Figura 18 Descripción de las fresas para cada tipo de operación	21
Figura 19 Partes de un servomotor	23

Figura 20 Elementos internos del servomotor	24
Figura 21 Servomotores de tipo industrial	24
Figura 22 Servomotor de modelismo	25
Figura 23 Colores comunes de los cables de un servomotor	26
Figura 24 Diagrama de bloque del servomotor.....	26
Figura 25 Representación en diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado.....	27
Figura 26 Ancho de pulsos para lograr diferentes posiciones en un servomotor.....	27
Figura 27 Ejemplos de trenes de pulsos para las posiciones 180°, 90° y 0°	28
Figura 28 Motor paso a paso.....	29
Figura 29 Aspecto interior de un motor paso a paso bipolar: rotor y estator	29
Figura 30 Motor paso a paso unipolar.....	31
Figura 31 Motor paso a paso con sus dos bobinas que lo componen.	31
Figura 32 Alimentación del controlador para motor paso a paso	34
Figura 33 Diseño mecánico de la fresadora y scanner	37
Figura 34 Diseño preliminar del chasis de la fresadora	38
Figura 35 Volumen de trabajo de la fresadora	39
Figura 36 Mesa de trabajo.....	40
Figura 37 Paso y avance del sistema tornillo-tuerca	40
Figura 38 Diseño preliminar de un tornillo de potencia.	41
Figura 39 Diagrama de fuerzas que actúan sobre cada guía	42

Figura 40 Diagrama de fuerza cortante.....	46
Figura 41 Diagrama de fuerza cortante sobre la guía del eje x.....	46
Figura 42 Diagrama de momento flector para guía Eje x.....	47
Figura 43 Configuración de guías para el eje Y.....	52
Figura 44 Diagrama de cuerpo libre.....	53
Figura 45 Fuerzas en soportadas por la guía A en el eje Y.....	54
Figura 46 Fuerzas soportadas por la guía A,.....	55
Figura 47 Fuerzas soportadas por la guía A análisis horizontal.....	56
Figura 48 Fuerzas soportadas por la guía B del eje Y.....	58
Figura 49 Fuerzas soportadas por la guía B análisis vertical.....	58
Figura 50 Fuerzas soportadas por la guía B, análisis horizontal.....	59
Figura 51 Diseño mecánico del scanner.....	63
Figura 52 Volumen de trabajo en el scanner.....	64
Figura 53 Diagrama de conexión Arduino-Driver-motor paso a paso.....	65
Figura 54 Detalle del controlador A4988.....	65
Figura 55 Conexión Sensor Sharp- Arduino.....	67
Figura 56 Monitor serial con valores del ADC.....	68
Figura 57 Serial plotter de Arduino con variación de lectura por ruido.....	68
Figura 58 Lectura de serial con filtro de un promedio de 50 muestras.....	69
Figura 59 Lectura de serial al acercar un objeto.....	71

Figura 60 Conexión del servomotor al Arduino	72
Figura 61 Chasis de máquina fresadora y scanner	73
Figura 62 Ensamble del carro móvil eje Y.....	75
Figura 63 Montaje de motor paso a paso	75
Figura 64 Colocado asientos de guía y sujeción al chasis.	76
Figura 65 Ensamble de eje Z.....	76
Figura 66 Ensamble eje X.....	77
Figura 67 Ensamble terminado	77
Figura 68 Ensamble del carro móvil eje Y.....	79
Figura 69 Montaje de motor paso a paso	80
Figura 70 Colocado asientos de guía y sujeción al chasis.	80
Figura 71 Ensamblaje eje Y	81
Figura 72 Scanner terminado	81
Figura 73 Pieza de prueba.....	91
Figura 74 Molde de yeso.....	91
Figura 75 Guiñador lateral escaneado.....	92
Figura 76 Proceso de copiado	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Modelos de sensores Sharp	11
Tabla 2 Secuencia para controlar motores paso a paso bipolares.	32
Tabla 3 Secuencia normal para motores paso a paso unipolares	32
Tabla 4 Secuencia tipo wave drive para motores paso a paso unipolares.....	33
Tabla 5 Secuencia tipo medio paso para motores paso a paso unipolares	33
Tabla 6 Tamaños de paso.....	35
Tabla 7 Costo de material en bruto para la Fresadora.....	84
Tabla 8 Costo de material bruto para scanner	85
Tabla 9 Costo de componentes especificados para fresadora	85
Tabla 10 Costos de componentes especificados para Scanner.....	86
Tabla 11 Costo de mano de obra para Fabricación y montaje del prototipo.....	87
Tabla 12 Costo de herramientas para Fresadora y Scanner	87
Tabla 13 Costo de Fabricación de piezas Fresadora y scanner	88
Tabla 14 Costo de montaje del prototipo	89
Tabla 15 Resumen de costos	90
Tabla 16 Moldes de la pieza escaneada resultantes de las pruebas.....	93
Tabla 17 Lista de escáneres e impresoras 3D cotizadas en el mercado internacional	94
Tabla 18 Especificaciones de la máquina fabricada	95

RESUMEN

Este Proyecto expone las bases teóricas y conceptuales utilizadas para la construcción del prototipo de copiadora electromecánica 3D. Para una mejor comprensión del trabajo realizado, se ha dividido el documento en cinco capítulos:

En el primer capítulo se consideran las generalidades del Proyecto, la gran utilidad que puede significar el copiado de una pieza por medio de una interfaz electrónica que se enfocará en la reconstrucción de autopartes de plástico como: retrovisores, stops, faroles, molduras y otros. También se otorga la base teórica y conceptual que fue utilizada para llevar a cabo el Proyecto.

El segundo capítulo abarca las bases para el diseño mecánico, eléctrico y electrónico del prototipo; los cálculos previos al diseño mecánico desarrollados de forma clara y concisa. Así también se detallan los pormenores de la selección de los componentes electrónicos a utilizar en la parte del control del prototipo.

El tercer capítulo expone los detalles de la fabricación de la máquina. En el cuarto capítulo se realiza un análisis de costos para definir el precio total de la misma, que en cuestión asciende a Bs 10.873.- Y finalmente en el sexto y séptimo capítulos con las evaluaciones técnicas y económicas se concluye que el prototipo satisface los objetivos mecánicos y electrónicos planteados, además de ser económicamente factible.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

El presente documento surge de la necesidad de contar con una alternativa más sencilla y práctica de reconstrucción para autopartes; en este caso en particular se construye el prototipo de una máquina capaz de realizar un copiado 3D igual o simétrico de partes de automóvil fundamentándose en el diseño simétrico longitudinal de los automóviles.

El prototipo consta de dos partes: la primera dedicada a la recolección de datos o escaneo de la pieza a copiar, y la segunda replica dicha pieza de forma igual o simétrica en un molde de yeso para su posterior acabado en plástico.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad los accidentes automovilísticos han aumentado considerablemente. Muchos de los accidentes dentro del área urbana no son de gravedad, siendo la parte más afectada el parachoques o defensa del automóvil, retrovisores, guiñadores, entre otros. Como se observa en la Figura 1:

Figura 1 Ejemplos de automóviles accidentados



Fuente: google imágenes XCBqOV

Hoy en día la parte delantera de los automóviles no está diseñada para resistir al impacto del choque, por el contrario, está diseñada para destruirse y así absorber la mayor energía del impacto, protegiéndose de esta manera, la integridad de los pasajeros.

La parte metálica del vehículo se puede reparar sin mucha dificultad con un trabajo de chapería, para lo cual hay muchos talleres de chapa y pintura en la ciudad, pero no sucede lo mismo con la parte de las defensas de plástico, retrovisores, guñadores, stops y otros. Muchos mecánicos no recomiendan que se repare sobre la pieza original, ya que la diferencia del material a emplear en repararlo, y la flexibilidad del mismo, no auguran mucha calidad ni duración del trabajo.

Lo que se recomiendan en caso de daños considerables es conseguir la pieza original, que en muchos casos es difícil. También recomiendan reconstruir todo el elemento en una sola pieza; en el medio existen algunos talleres encargados de ese trabajo, con el inconveniente de que no tienen moldes de parachoques, guñadores, stops, retrovisores, etc. para todos los modelos de automóviles; simplemente disponen de un reducido número de unidades, que se limita a los modelos más comerciales.

1.3. Objetivos del proyecto

1.3.1. Objetivo general

- Diseñar y construir una máquina capaz de replicar en yeso una pieza de automóvil, para un copiado 3D igual o simétrico.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los alcances del Proyecto y establecer el fundamento teórico.

- Diseñar los elementos mecánicos y electromecánicos necesarios para que la máquina sea capaz de recolectar datos de cualquier pieza y realizar una copia similar o simétrica a ella.
- Elaborar las hojas de procesos correspondientes.
- Realizar una guía de ensamblaje, operación y mantenimiento para el adecuado armado de la máquina, su correcto funcionamiento y a fin de evitar un deterioro prematuro de la misma.
- Realizar el montaje del prototipo y las pruebas de copiado.
- Determinar los costos que implican la fabricación del prototipo en cuestión.
- Evaluar si el prototipo es técnica y económicamente factible.

1.4. Justificación

Los automóviles parten de un diseño simétrico longitudinal, como se observa en la Figura 2. Sobre esa base, si la parte afectada no pasa el eje de simetría, siempre se tendrá el par simétrico de las piezas afectadas. Con esta máquina es posible reconstruir un molde de dichas piezas del vehículo, recolectando información desde el par simétrico del elemento, y así, hacer una copia simétrica del mismo. De esa manera, se pueden reconstruir distintas piezas afectadas.

Figura 2 Diseño simétrico longitudinal de un auto



Fuente: www.llantipros.com

1.4.1. Justificación técnica

El prototipo realiza un copiado de una pieza por medio de una interfaz electrónica y se enfoca en la reconstrucción de autopartes de plástico siendo los más comunes: retrovisores, stops, faroles, molduras y otros.

Es también posible reconstruir el tablero de los automóviles que vienen de fábrica con el volante al lado derecho, haciendo una copia simétrica del mismo tal como se muestra en la Figura 3, que se vería como si fuera de diseño original, y no cortado y forzado a usarse del lado contrario.

Figura 3 Simetría de un auto



Fuente: www.debatescoches.net

De esta manera se da una alternativa de solución al problema que muchos conductores tienen al momento de sufrir algún accidente de su vehículo.

1.5. Alcances y límites

El prototipo está conformado por la fresadora y el scanner 3D, adecuadas a las dimensiones de 30x30x15 cm. El copiado es en yeso, ya que es el material usado comúnmente para moldes; también puede maquinar madera y plástico, pero no así metales.

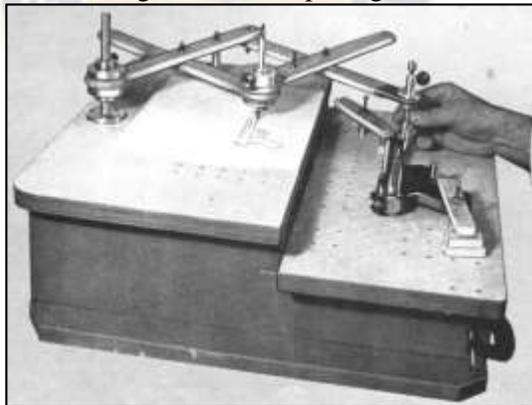
La máquina está diseñada para realizar copias iguales o simétricas de autopartes plásticas que no sobrepasen la dimensión dada (30x30x15). No obstante, el prototipo es la base para la construcción de piezas más grandes de un automóvil.

1.6. Fundamento teórico

1.6.1. Paralelogramo

Las máquinas copiadoras son un instrumento mecánico basado en un paralelogramo, conectado de tal manera que se mueve en un modo relacionado a un punto base que en un principio sólo servían para hacer copias similares. El primer paralelogramo (Figura 4) fue inventado en año 1603 por el germano Christopher Scheiner, y pudo aplicarse a muchos campos de la mecánica, como el pantógrafo de oxicotiva, herramientas de dibujo y otros.

Figura 4 Primer pantógrafo



Fuente: diegoyvane.weebly.com/pantografo

1.6.2. Escáner 3D

El presente trabajo aplica conceptos de la tecnología de escaneo 3D, dicha tecnología fue desarrollándose desde 1960 con el primer escáner que utilizaba luces, cámaras y proyectores para realizar esta operación. Debido a las limitaciones del equipo que a menudo tomó mucho tiempo y esfuerzo para escanear objetos con precisión, después de

1985 han sido sustituidos por los escáneres que utilizan la luz blanca, láser y sombra para capturar una superficie dada [3].

Un escáner 3D es un dispositivo que analiza un objeto o una escena para reunir datos de su forma y ocasionalmente su color. La información obtenida se puede usar para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una variedad de aplicaciones.

a) Funcionalidad

El propósito de un escáner 3D es, generalmente, el de crear una nube de puntos a partir de muestras geométricas en la superficie del objeto. Estos puntos se pueden usar entonces para extrapolar la forma del objeto (un proceso llamado reconstrucción). Si la información de color se incluye en cada uno de los puntos, entonces los colores en la superficie del objeto se pueden determinar también.

b) Esquema de funcionamiento

- Mediante un haz láser, el escáner calcula la distancia, desde el emisor hasta un punto de un objeto al alcance de su trayectoria.
- Mediante un espejo o varios espejos giratorios, barriendo en (x,y) o (φ,θ) , el escáner hace incidir dicho haz láser, en una gran cantidad de puntos dentro de una zona del espacio, proporcionando así la distancia a todos esos puntos.
- La nube de puntos así generada, contiene también información sobre la distancia entre sí de los distintos puntos del objeto
- Dependiendo de la distancia al objeto, la precisión deseada y el objeto en cuestión, suelen ser necesarias varias tomas.
- Para producir un modelo 3D, se emplean aplicaciones software que permite orientar las distintas tomas.

c) Tipos de escáneres 3D

Hay dos tipos de escáneres 3D en función de si hay contacto con el objeto o no:

- **Contacto:** Los escáneres 3D examinan el objeto apoyando el elemento de medida sobre la superficie del mismo, típicamente una punta de acero duro o zafiro. Su desventaja es que requiere de contacto físico con el objeto para ser escaneado, por lo que el acto de escanear el objeto quizás lo dañe y son lentos.

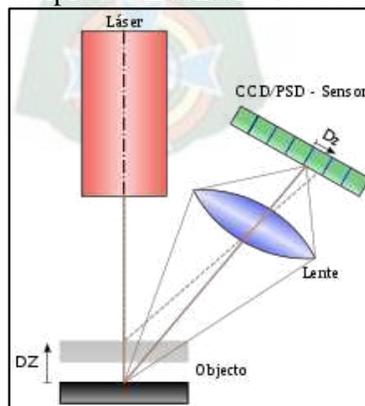
- **Sin contacto:**

Activos: Los escáneres activos emiten alguna clase de señal y analizan su retorno para capturar la geometría de un objeto o una escena. Se utilizan radiaciones electromagnéticas o ultrasónicas.

Time of flight (Tiempo de vuelo): Determina la distancia a la escena cronometrando el tiempo del viaje de ida y vuelta de un pulso de luz.

Triangulación: Usa la luz del láser para examinar el entorno. El haz de luz láser incide en el objeto y se usa una cámara para buscar la ubicación del punto del láser. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara (Figura5).

Figura 5 Principio de un sensor laser de triangulación



Fuente: Wikipedia enciclopedia libre, escáner 3D

Esta técnica se llama triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo. La longitud de un lado del triángulo definido por la cámara y el emisor del láser es conocida. El ángulo del vértice del emisor de láser se sabe también. El ángulo del vértice de la cámara puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara. Estos tres valores permiten determinar el resto de las dimensiones del triángulo, y por tanto, la posición de cada punto en el espacio.

d) Aplicaciones

- **Industria:** En el control dimensional de fabricación de componentes que requieren tolerancias muy estrictas, como álabes de turbina, mecanizados de alta precisión, estampación y matricería.
- **Ingeniería inversa:** Requiere un modelo digital preciso de los objetos a ser reproducidos. Antes que un conjunto de los puntos que un modelo digital preciso es representado típicamente por un conjunto de superficies tal como superficies curvas de NURBS¹. Un escáner 3D se puede usar para digitalizar formas libres o componentes formados gradualmente cambiantes de geometrías así como también prismáticas.

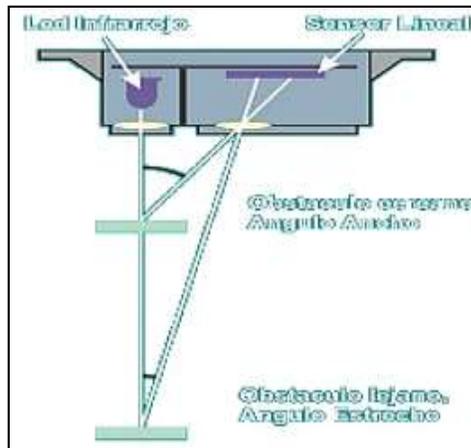
1.6.3. Sensor Sharp

Un sensor Sharp es un sensor óptico capaz de medir la distancia entre él y un objeto, para esto el sensor con la ayuda de un emisor infrarrojo y un receptor miden la distancia usando triangulación.

¹ NURBS: Acrónimo inglés de non-uniform rational B-spline, un modelo matemático utilizado en la computadora gráfica para generar y representar curvas y superficies.

El método de triangulación, como se observa en la Figura 6, consiste en medir uno de los ángulos que forma el triángulo emisor-objeto-receptor, el Receptor es un PSD² que detecta el punto de incidencia el cual depende del ángulo y a su vez de la distancia del objeto [10].

Figura 6 Método de triangulación



Fuente: www.naylampmechatronics.com

La geometría del sensor y de su óptica es el que limita el rango del sensor. El termino SHARP (Agudo) es porque tiene un rango de visión muy reducido, esto porque la luz que emite es puntual, lo que permite usar el sensor para escanear o mapear áreas, pero teniendo en cuenta que objetos pequeños serán difíciles de detectar.

SHARP usa una luz infrarroja intermitente con una frecuencia determinada, que en el receptor es filtrada y elimina otras fuente de luz diferente a la frecuencia emitida [13].

² PSD: Siglas de las palabras en inglés Position Sensitive Detector (Detector Sensible a la Posición)

Existen varios fabricantes y modelos de sensores SHARP, para escoger un sensor SHARP hay que tener en cuenta el rango, como se muestra en la tabla 1:

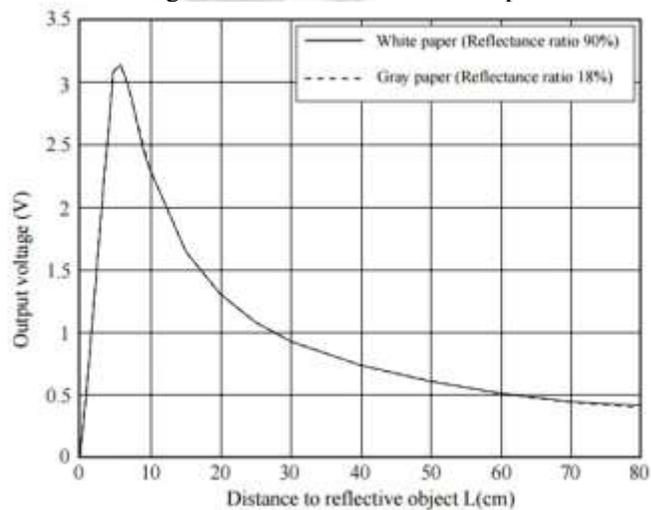
Tabla 1 Modelos de sensores Sharp

SHARP	MODELO	RANGO
	GP2Y0A21	10 a 80cm
	GP2Y0A02	20 a 150cm
	GP2Y0A710	100 a 550cm

Fuente: Fuente: Naylamp mechatronics, sensor Sharp

La salida del sensor Sharp no es lineal sino tiene una forma potencial negativa, pero a partir del rango mínimo como se muestra en la imagen de la figura 7.

Figura 7 Salida del sensor Sharp



Fuente: Naylamp mechatronics, sensor Sharp

Notar que, para distancias pequeñas, la lectura del sensor podría confundirse con una distancia grande. Es por esto que es recomendable que el objeto no se acerque demasiado al sensor con el fin de evitar una lectura incorrecta. Una buena opción es ubicar el sensor cm atrás de la posición que inicialmente se quiere medir, ver figura 8.

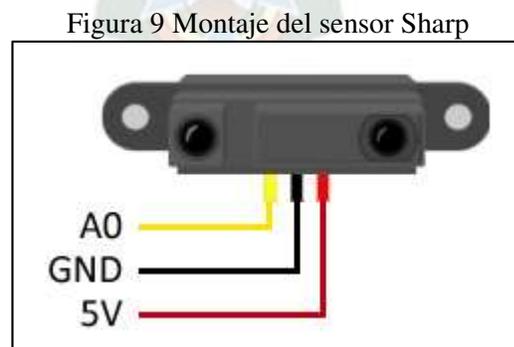


Fuente: Naylamp mechatronics, sensor Sharp

Por ejemplo, si el sensor es el GP2Y0A21 es necesario restringir mecánicamente los 10 cm en donde el sensor se comporta de forma inestable.

a) Esquema de montaje

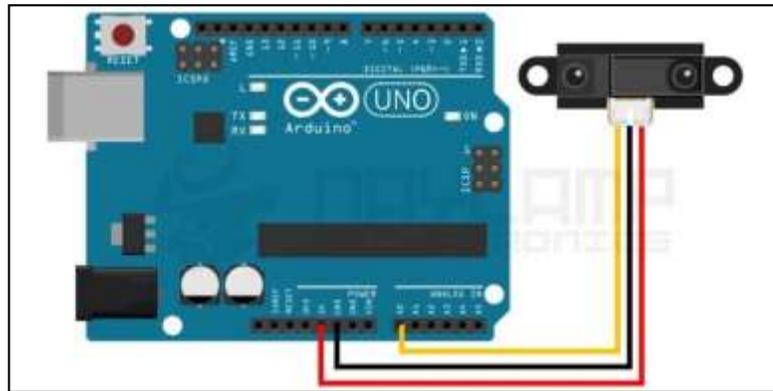
Se alimenta el sensor mediante Vcc y GND conectándolos, respectivamente, a 5V y GND de Arduino como se muestra en la Figura 9.



Fuente: Naylamp mechatronics, sensor Sharp

Finalmente, se conecta el pin de señal a una de las entradas analógicas de Arduino, Figura 10.

Figura 10 Conexión al Arduino



Fuente: Naylamp mechatronics, sensor Sharp

1.6.4. Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar.

Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing) [6]. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo, con Flash, Processing, MaxMSP, etc.). Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarse pre ensambladas; el software se puede descargar gratuitamente [14].

a) Características Generales

Costo: Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas microcontroladoras. La versión menos cara del módulo Arduino puede ser ensamblada a mano, e incluso los módulos de Arduino pre ensamblados valen menos de Bs 50.

Multiplataforma: El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. La mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows [4].

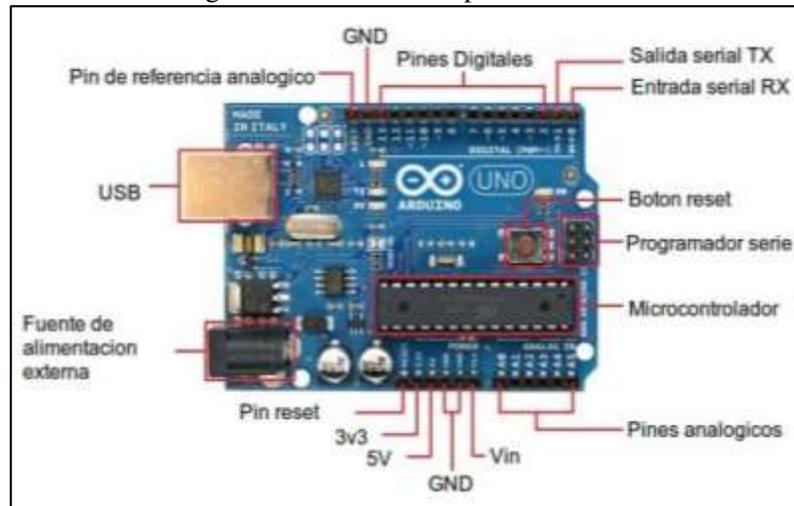
Entorno de programación simple y clara: El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo.

Código abierto y hardware extensible: El Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel.

b) Arduino UNO

Es la plataforma más extendida y la primera que salió al mercado, por ello todas las características de esta placa estarán implementadas en las restantes. Se basa en un microcontrolador Atmel ATmega320 de 8 bits a 16Mhz que funciona a 5v. 32KB son correspondientes a la memoria flash (0,5KB reservados para el bootloader), 2KB de SRAM y 1KB de EEPROM. En cuanto a memoria es una de las placas más limitadas. Las salidas pueden trabajar a voltajes superiores, de entre 6 y 20 V, pero se recomienda una tensión de trabajo de entre 7 y 12 v [11], ver Figura 11.

Figura 11 Partes de una placa Arduino



Fuente: arquitecturaplacasarduinomeza.blogspot.com

c) Arduino Nano

El Arduino Nano es una pequeña y completa placa basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.0) o el ATmega168 en sus versiones anteriores (Arduino Nano 2.x) que se usa conectándola a una protoboard. Tiene más o menos la misma funcionalidad que el Arduino Duemilanove, pero con una presentación diferente. Como se observa en la Figura 12, no posee conector para alimentación externa, y funciona con un cable USB Mini-B.

El Arduino Nano posee selección automática de la fuente de alimentación y puede ser alimentado a través de una conexión Mini-B USB, fuente de alimentación no regulada de 6-20V (pin 30), fuente de alimentación regulada de 5V (pin 27) [7].

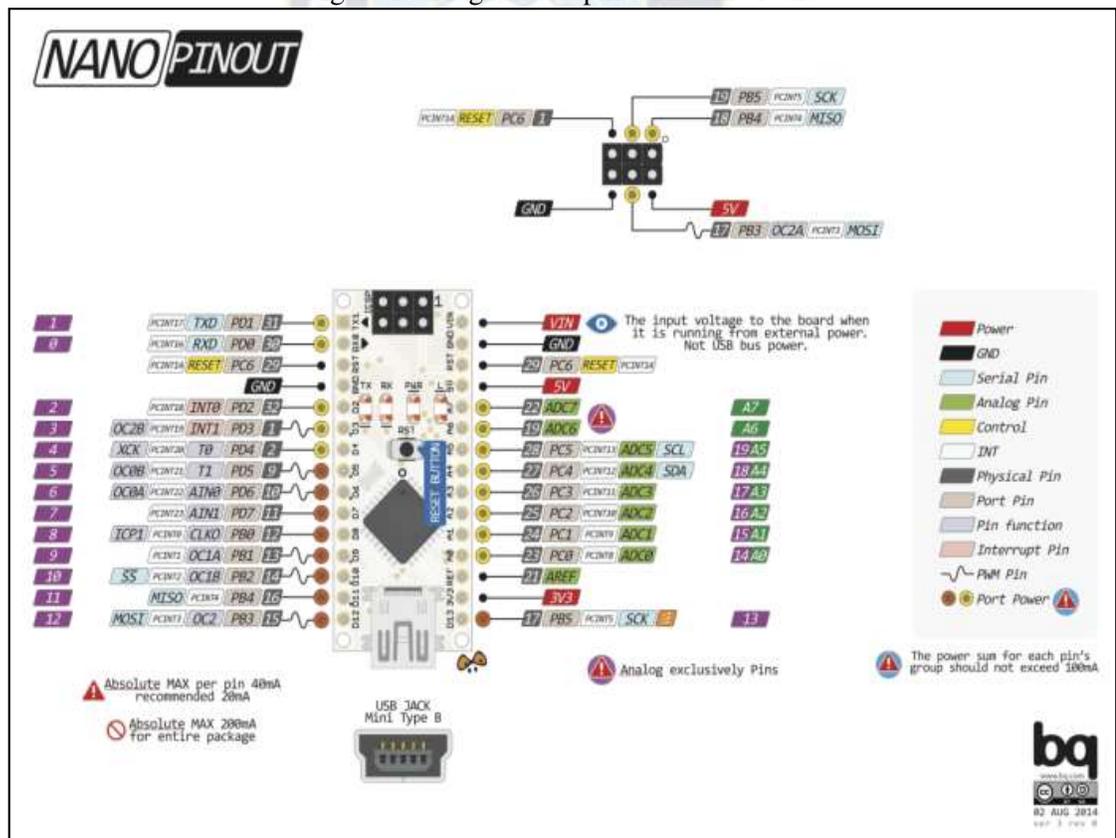
Figura 12 Arduino Nano



Fuente: Wikipedia enciclopedia libre, Arduino Nano

A continuación, en la figura 13 se muestra el diagrama de pines:

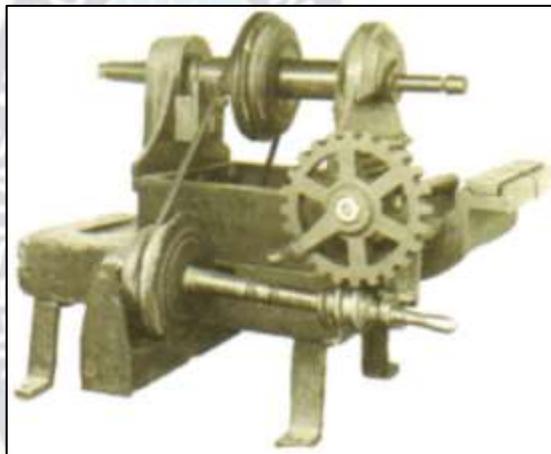
Figura 13 Diagrama de pines Arduino Nano



1.6.5. Fresadoras

El prototipo también incursiona en funciones similares a una fresadora. La primera máquina de fresar (Figura 14) se construyó en 1818 y fue diseñada por el estadounidense Eli Whitney con el fin de agilizar la construcción de fusiles en el estado de Connecticut. Esta máquina se conserva en el Museo de Ingeniería Mecánica de Yale [20].

Figura 14 Fresadora de Whitney



Fuente: Wikipedia, fresadoras

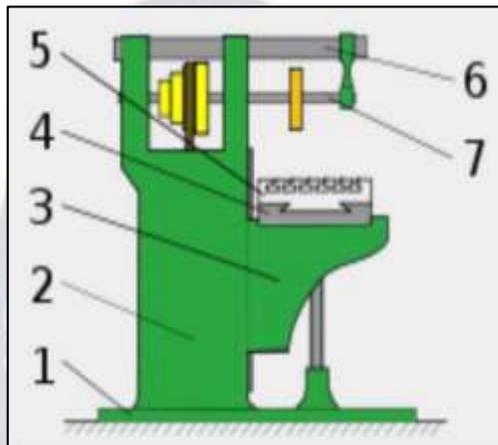
Una fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. Mediante el fresado es posible mecanizar los más diversos materiales como madera, acero, fundición de hierro, metales no férricos y materiales sintéticos, superficies planas o curvas, de entalladura, de ranuras, de dentado y otras [19].

a) Estructura de una fresadora.

Los componentes principales de una fresadora, según la Figura 15 son: la base, el cuerpo, la consola, el carro, la mesa, el puente y el eje de la herramienta. La base permite un apoyo correcto de la fresadora en el suelo. El cuerpo o bastidor tiene forma de columna y se

apoya sobre la base o ambas forman parte de la misma pieza. Habitualmente, la base y la columna son de fundición aleada y estabilizada. La columna tiene en la parte frontal unas guías templadas y rectificadas para el movimiento de la consola y unos mandos para el accionamiento y control de la máquina.

Figura 15 Diagrama de una fresadora horizontal



1: base. 2: columna. 3: consola. 4: carro transversal. 5: mesa. 6: puente. 7: eje portaherramientas.
Fuente: Wikipedia, estructura de una Fresadora horizontal.

b) Operaciones de fresado.

Las tres operaciones básicas de fresado se muestran en la Figura 16:

Figura 16 Operaciones básicas de fresado



A) Fresado cilíndrico, (B) fresado frontal, (C) fresado de acabado
Fuente: Wikipedia, operaciones de fresado

- **Fresado cilíndrico.**

El eje de rotación de las fresas es paralelo a la superficie de la pieza de trabajo a mecanizar. La fresa está rodeada de dientes a lo largo de su circunferencia, cada diente actúa como un punto de corte de la herramienta. Las fresas usadas para el fresado cilíndrico pueden tener estrías rectas o helicoidales, generando una sección de corte ortogonal u oblicua.

- **Fresado frontal.**

La fresa se monta en el husillo de la máquina o en un portaherramientas, esta fresa tiene un eje de rotación perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo. Las fresas frontales, tienen los filos de corte localizados en la periferia de la fresa y en la parte frontal.

- **Fresado de acabado.**

Las fresas generalmente rotan sobre un eje vertical a la pieza de trabajo. La fresa también puede estar inclinada respecto a la pieza de trabajo en caso que se quieran realizar superficies cónicas. Los dientes de corte están localizados en la periferia de la fresa y en la parte frontal.

c) Parámetros de corte del fresado.

Los parámetros tecnológicos fundamentales que se debe considerar en el proceso de fresado son los siguientes:

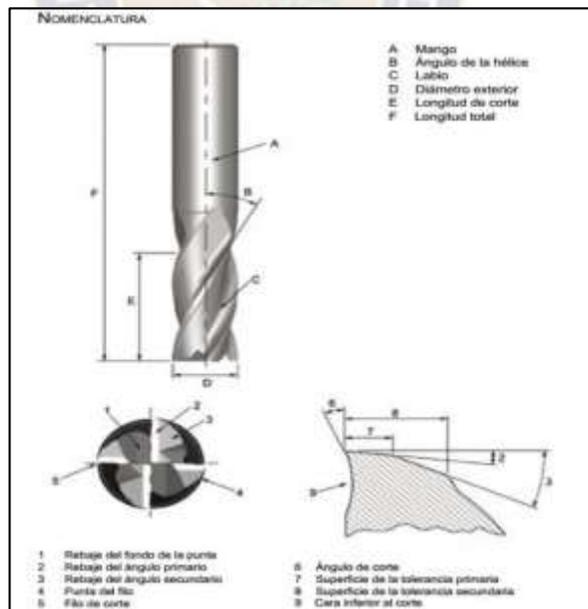
- Elección del tipo de máquina, accesorios y sistemas de fijación de pieza y herramienta más adecuados.
- Elección del tipo de fresado: frontal, tangencial en concordancia o tangencial en oposición.

- Elección de los parámetros de corte: velocidad de corte (V_c), velocidad de giro de la herramienta (n), velocidad de avance (V_a), profundidad de pasada (p), anchura de corte (A_c) y otros.

d) Tipos de herramientas.

Las herramientas de corte más utilizadas en una fresadora se denominan fresas. Las fresas son herramientas de corte de forma, material y dimensiones muy variadas de acuerdo con el tipo de fresado que se quiera realizar. Una fresa está determinada por su diámetro, su forma, material constituyente, números de labios o dientes que tenga y el sistema de sujeción a la máquina como se puede ver en la Figura 17 [21].

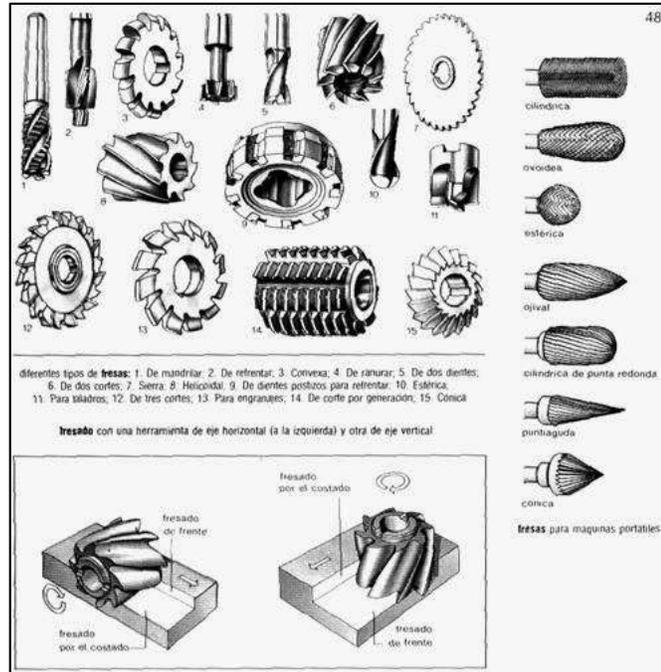
Figura 17 Nomenclatura de una fresa



Fuente: shapeoko.wordpress.com

Los tipos de fresas más usuales para las operaciones básicas de fresado se muestran en la Figura 18:

Figura 18 Descripción de las fresas para cada tipo de operación



Fuente: fresadorauniversaltiposdefresas.blogspot

1.6.6. Yeso

El yeso es un producto elaborado a partir de un mineral natural denominado igualmente yeso o aljez³ mediante deshidratación, que una vez amasado con agua, puede ser utilizado directamente. Se le puede añadir otras sustancias químicas para modificar sus características de fraguado, resistencia, adherencia, retención de agua y densidad.

Una variedad de yeso, denominada alabastro, se utiliza profusamente, por su facilidad de tallado, para elaborar pequeñas vasijas, estatuillas y otros utensilios.

³ Aljez: roca natural de la cual se elabora el yeso, compuesta por sulfato de calcio dihidrato: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

a) Usos

El yeso se utiliza en construcción como aislante térmico, pues el yeso es mal conductor del calor y la electricidad, para confeccionar moldes de dentaduras, en Odontología para usos quirúrgicos en forma de férula para inmovilizar un hueso y facilitar la regeneración ósea en una fractura, en los moldes utilizados para preparación y reproducción de esculturas y otro.

b) Tipos de yeso

- Yeso Corriente o Tipo I

Es el más débil de los yesos, debido al tamaño y forma de sus partículas. Se genera calentando en horno abierto a más de 100 °C. Es el que necesita más cantidad de agua, y por lo mismo es más poroso y débil. Este yeso se utiliza principalmente como impresión final (impresión de lavado) para la fabricación de prótesis completas.

- Yeso París o Tipo II

Es un poco más compacto y duro que el Tipo I. Se genera horneando en autoclave cerrado a 128 °C. Sus partículas son más pequeñas y regulares que el tipo I, por lo mismo, menos poroso y frágil.

- Tipo III o Piedra

Es aún más duro que el tipo II, con partículas más regulares y finas, por lo que necesita menos agua para fraguar. Es mucho menos poroso que los otros dos, menos frágil, por lo que se usa para modelos preliminares de estudio. También es llamado Hemihidrato Alfa.

- Tipo IV o Densita

Es igual al yeso tipo III, pero se le agregan algunas resinas que le mejoran características como porosidad, porcentaje de absorción de agua, etc. Se utiliza para trabajar directamente

en él y para la realización de troqueles. Sus partículas más finas le otorgan una mejor precisión en el copiado de superficies.

- **Tipo V o Sintético**

Es el más duro de todos con un porcentaje resinoso alto, sus características son óptimas, es decir, altamente duro y resistente, no es poroso y no absorbe mucha agua. Es el más resistente de todos, pero su alto costo limita su uso a la realización de modelos de exhibición [18].

1.6.7. Servomotor

Un servomotor (o servo) es un tipo especial de motor con características especiales de control de posición, ver figura 19. Al hablar de un servomotor se hace referencia a un sistema compuesto por componentes electromecánicos y electrónicos.

Figura 19 Partes de un servomotor

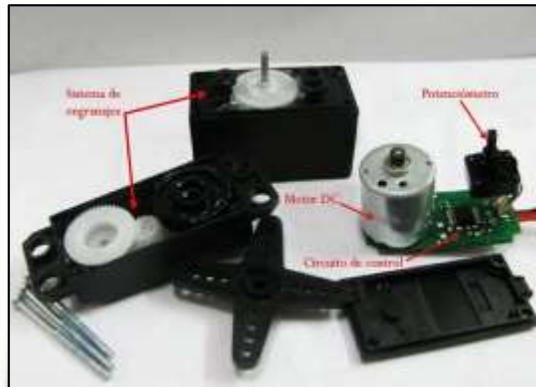


Fuente: panamahitek.com

El motor en el interior de un servomotor es un motor DC común y corriente. El eje del motor se acopla a una caja de engranajes similar a una transmisión. Esto se hace para potenciar el torque del motor y permitir mantener una posición fija cuando se requiera. De

forma similar a un automóvil, a menor mayor velocidad, menor torque. El circuito electrónico es el encargado de manejar el movimiento y la posición del motor.

Figura 20 Elementos internos del servomotor



Fuente: panamahitek.com

En las Figuras 19 y 20 se puede observar que un servo no es un motor como tal, sino un conjunto de partes (incluyendo un motor) que forman un sistema.

a) Tipo de servomotores

Existen servomotores para todo tipo de usos. En la industria, la robótica, en el interior de las impresoras, máquinas CNC y otros como se observa en las Figuras 21 y 22.

Figura 21 Servomotores de tipo industrial



Fuente: panamahitek.com

Figura 22 Servomotor de modelismo



Fuente: panamahitek.com

Los servomotores de modelismo operan a voltajes bajos en corriente directa, típicamente entre 4 y 6 voltios. Los servomotores industriales operan tanto en DC como en AC (monofásico o trifásico).

Se debe resaltar que, dentro de los diferentes tipos de servomotores, éstos se pueden clasificar según sus características de rotación.

-Servomotores de rango de giro limitado: Permiten una rotación de 180 grados, por lo cual son incapaces de completar una vuelta completa.

-Servomotores de rotación continua: se caracterizan por ser capaces de girar 360 grados, es decir. Se puede controlar su posición y velocidad de giro en un momento dado.

b) Funcionamiento de un servomotor

Los servomotores poseen tres cables, a diferencia de los motores comunes que sólo tienen dos. Estos tres cables casi siempre tienen los mismos colores, por lo que son fácilmente reconocibles (Ver Figura 23).

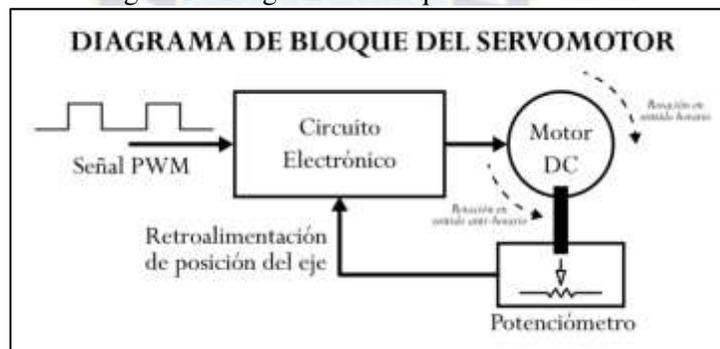
Figura 23 Colores comunes de los cables de un servomotor

Voltaje positivo	Tierra (ground)	Señal de control
		   

Fuente: panamahitek.com

La necesidad de una señal de control para el funcionamiento de este tipo de motores hace que sea imposible utilizarlos sin un circuito de control adecuado. Esto se debe a que para que el circuito de control interno funcione, es necesaria una señal de control modulada. Para esto se utiliza modulación por ancho de pulsos, es decir, PWM⁴.

Figura 24 Diagrama de bloque del servomotor



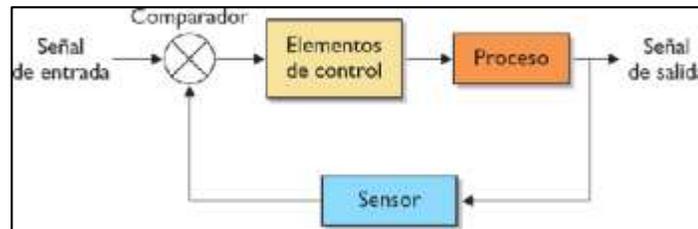
Fuente: panamahitek.com

El diagrama de bloque del servomotor (Figura 24) representa de forma visual el servomotor como un sistema. El circuito electrónico es el encargado de recibir la señal PWM y traducirla en movimiento del Motor DC. El eje del motor DC está acoplado a un potenciómetro. El potenciómetro permite que el circuito de control electrónico pueda

⁴ PWM: siglas en inglés de pulse-width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica

retroalimentarse con la posición del motor en un momento dado. Esto, en Teoría de Control se conoce como un sistema de lazo cerrado (Figura 25).

Figura 25 Representación en diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado

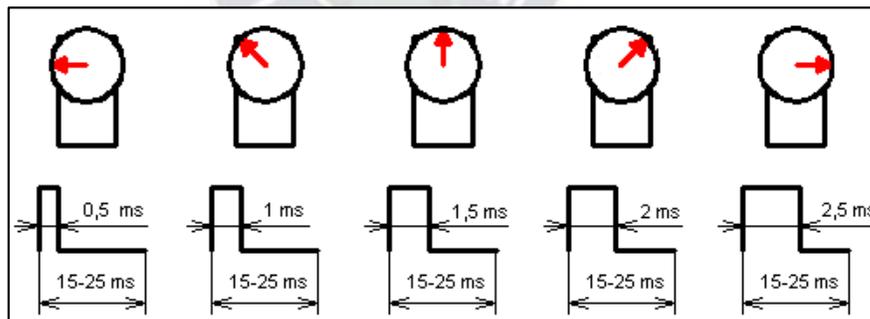


Fuente: panamahitek.com

Las señales de PWM requeridas para que los circuitos de control electrónico sean similares para la mayoría de los modelos de servo tiene la forma de una onda cuadrada. Dependiendo del ancho del pulso, el motor adoptará una posición fija (Ver Figura 26).

Figura 26 Ancho de pulsos para lograr diferentes posiciones en un servomotor

(180°, 135°, 90°, 45° y 0°)

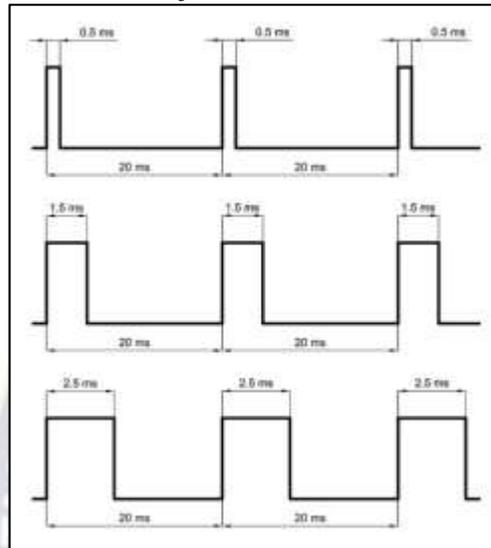


Fuente: panamahitek.com

Las señales que se ven en la Figura 27 son las que permiten que el eje del motor adquiera determinada posición. Estas señales deben repetirse en el tiempo para que el motor mantenga una posición fija.

Figura 27 Ejemplos de trenes de pulsos para las posiciones 180°, 90° y 0°

en el eje de un servomotor



Fuente: panamahitek.com

La duración del ciclo de trabajo varía entre 15 y 25 milisegundos. Las ondas mostradas en la imagen anterior representan ejemplos de trenes de pulsos con los que se puede mover un servomotor, utilizando un ciclo de trabajo de 20 milisegundos.

Este tren de pulsos puede ser generado por un circuito oscilador (como un 555⁵) o por un microcontrolador. Es decir, Arduino puede controlar fácilmente un servomotor [15].

1.6.8. Motor Paso a Paso.

Un motor paso a paso (Figura 28) es en esencia un convertidor electromecánico, que transforma energía eléctrica en mecánica. Mientras que un motor convencional gira libremente al aplicarle una tensión, el motor paso a paso gira un determinado ángulo de

⁵ 555: es un circuito integrado muy estable cuya función primordial es la de producir pulsos de temporización con una gran precisión y que, además, puede funcionar como oscilador

forma incremental (transforma impulsos eléctricos en movimientos de giro controlados), lo que le permite realizar desplazamientos angulares fijos muy precisos [12].

Figura 28 Motor paso a paso.



Fuente: BricoGeek.com

Este tipo de motores son ideales cuando lo que se quiere es el posicionamiento con un elevado grado de exactitud y/o una muy buena regulación de la velocidad.

Están constituidos esencialmente por dos partes que se pueden observar en la Figura 29:

- **Estator:** parte fija construida a base de cavidades en las que van depositadas las bobinas.
- **Rotor:** parte móvil construida mediante un imán permanente.

Figura 29 Aspecto interior de un motor paso a paso bipolar: rotor y estator



Fuente: Taringa, motores paso a paso

Este conjunto va montado sobre un eje soportado por dos cojinetes que le permiten girar libremente [17].

a) Principio de Funcionamiento.

Los motores eléctricos, en general, basan su funcionamiento en las fuerzas ejercidas por un campo electromagnético y creadas al hacer circular una corriente eléctrica a través de una o varias bobinas. Si dicha bobina, general mente circular y denominada estator, se mantiene en una posición mecánica fija y en su interior, bajo la influencia del campo electromagnético, se coloca otra bobina, llamada rotor, recorrida por una corriente y capaz de girar sobre su eje [9]. Cuando el rotor alcanza esta posición de equilibrio, el estator cambia la orientación de sus polos y se tratará de buscar la nueva posición de equilibrio. Manteniendo dicha situación de manera continuada, se conseguirá un movimiento giratorio y continuo del rotor, produciéndose de este modo el giro del eje del motor.

Al número de grados que gira el rotor, cuando se efectúa un cambio de polaridad en las bobinas del estator, se le denomina "ángulo de paso". Existe la posibilidad de conseguir una rotación de medio paso con el control electrónico apropiado, aunque el giro se hará con menor precisión. Los motores son fabricados para trabajar en un rango de frecuencias determinado por el fabricante, y rebasado dicho rango, se provoca la pérdida de sincronización [8].

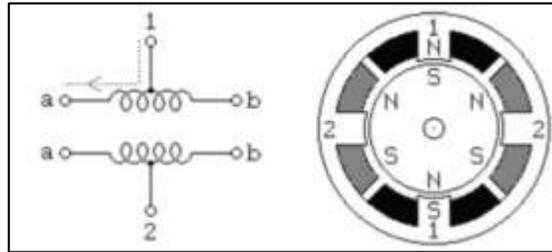
b) Tipos de Motores Paso a Paso.

Desde el punto de vista físico, se clasifican en función de la forma de conexión y excitación de las bobinas del estator. Existen 2 tipos: unipolares y bipolares [5].

- Motores paso a paso unipolares

Los motores paso a paso unipolares se componen de 4 bobinas (Figura 30).

Figura 30 Motor paso a paso unipolar



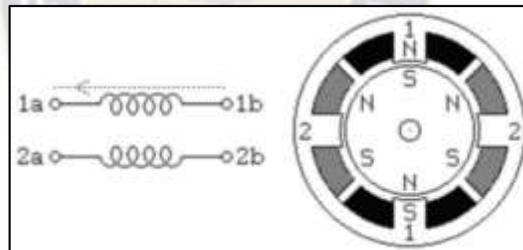
Fuente: maqeinstelectricas.com

Se componen de 6 cables externos, dos para cada bobina, y otro para cada par de éstas.

- **Motores paso a paso bipolares.**

Los motores de paso bipolares se componen de 2 bobinas.

Figura 31 Motor paso a paso con sus dos bobinas que lo componen.



Fuente: maqeinstelectricas.com

Para que el motor funcione, la corriente que circula por las bobinas cambia de sentido en función de la tensión. Los diferencian de los unipolares son que estos llevan cuatro conexiones externas, dos para cada bobina (Figura 31).

c) Control de Motores Paso a Paso.

- **Secuencias para manejar motores paso a paso Bipolares:**

Necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso,

cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida. En la tabla 2 se puede ver la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo bipolares:

Tabla 2 Secuencia para controlar motores paso a paso bipolares.

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

Fuente: Elaboración propia

- **Secuencias para manejar motores paso a paso Unipolares:**

Existen tres secuencias posibles:

Secuencia Normal (paso doble): Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención (Tabla 3).

Tabla 3 Secuencia normal para motores paso a paso unipolares

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

Fuente: Elaboración propia

Secuencia del tipo wave drive (paso simple): En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. Pero al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor (Tabla 4).

Tabla 4 Secuencia tipo wave drive para motores paso a paso unipolares

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Fuente: Elaboración propia

Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como se ve en la tabla 5 la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

Tabla 5 Secuencia tipo medio paso para motores paso a paso unipolares

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

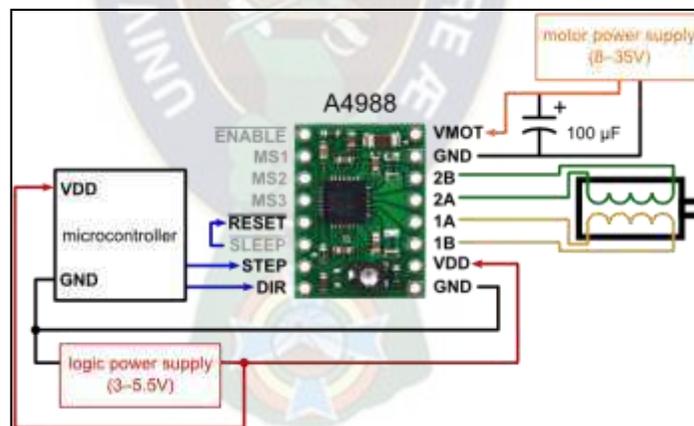
Fuente: Elaboración propia

1.6.9. Driver para motor Paso A Paso 1A – A4988

Entre sus características se tiene:

- Cinco resoluciones diferentes: paso completo, medio paso, un cuarto de paso, un octavo de paso, y un dieciseisavo de paso.
- Control de corriente ajustable que permite ajustar la salida de corriente máxima con un potenciómetro, que le permite utilizar tensiones superiores a la tensión nominal del motor paso a paso para lograr mayores tasas de paso.
- Protección por sobrecalentamiento térmico, cierre por baja tensión, y protección por sobre pico de corriente.

Figura 32 Alimentación del controlador para motor paso a paso



Fuente: www.pololu.com

Como se puede observar en la figura 32, el controlador requiere una tensión de alimentación lógica (3-5,5 V) que se conecta a través de los pines VDD y GND y una tensión de alimentación del motor (8-35 V) para ser conectada a través de VMOT y GND. Estos suministros deben tener condensadores de desacoplamiento adecuados cerca a la

placa, y que deben ser capaces de entregar las corrientes esperadas (picos de hasta 4 A para el suministro del motor).

a) Tamaño del paso y micropaso.

Los motores paso a paso normalmente tienen una especificación de tamaño de paso (por ejemplo, 1, 8° o 200 pasos por revolución). Un controlador A4988 permite resoluciones más altas, permitiendo ubicaciones en paso intermedio, que se consiguen por la activación de las bobinas con los niveles de corriente intermedios.

El tamaño de paso puede ser seleccionado mediante los pines MS1, MS2, MS3 que permiten cinco resoluciones diferentes de paso de acuerdo con la Tabla 6. MS1 y MS3 tienen una resistencia pull-down interna de 100 kΩ y MS2 tiene una resistencia pull-down interna 50kΩ, así que dejar estos tres pines al aire resultará en el modo de paso completo.

Tabla 6 Tamaños de paso

MS1	MS2	MS3	Resolución de micropaso
Bajo	Bajo	Bajo	Paso completo
Alto	Bajo	Bajo	Medio paso
Bajo	Alto	Bajo	Un cuarto de paso
Alto	Alto	Bajo	Un octavo de paso
Alto	Alto	Alto	Un dieciseisavo de paso

Fuente: www.pololu.com

b) Control

Cada pulso de entrada escalón corresponde a un micropaso del motor paso a paso en la dirección seleccionada por el pin DIR. Tenga en cuenta que los pines de STEP y DIR no están conectados a ningún voltaje determinado, por lo que no debe dejar ninguno de estos

pinces al aire en su aplicación. Si desea que su motor gire en una sola dirección, puede conectar DIR directamente a VCC o GND. El chip tiene tres entradas diferentes para el control de sus múltiples estados de energía: RST, SLP, y EN [16].

c) Limitación de corriente

Para lograr altas tasas de paso, la alimentación del motor es típicamente mucho más alta de lo que sería admisible sin limitación de corriente activa. El A4988 soporta limitación activa de corriente, permitiendo mediante un potenciómetro ajustar el límite de corriente. Una forma de establecer el límite de corriente es poner el controlador en modo paso completo y medir la corriente que circula a través de una sola bobina del motor sin activar la entrada STEP. La corriente medida será 0,7 veces el límite actual. Tenga en cuenta que el cambio de la tensión de la lógica, Vdd, a un valor diferente, cambiará el ajuste de límite de corriente porque el voltaje de referencia “ref” es una función de Vdd.

Otra forma, es medir el voltaje en el pin “ref” y calcular el límite de la corriente resultante. El límite de corriente se refiere a la tensión de referencia de la siguiente manera:

$$\text{Límite de corriente} = V_{REF} \times 2,5$$

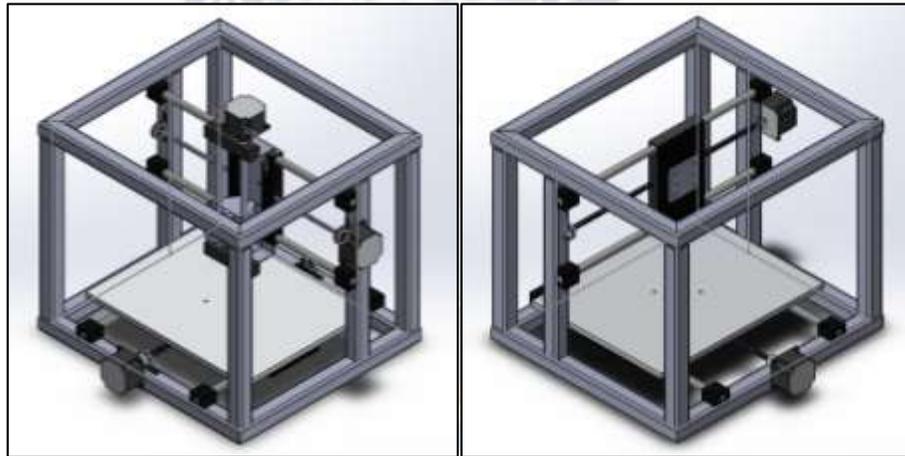
Así, por ejemplo, si el voltaje de referencia es 0,3 V, el límite de corriente es de 0,75 A. Como se mencionó anteriormente, en el modo de paso completo, la corriente a través de las bobinas se limita a 70% del límite de corriente, por lo que para conseguir una corriente completa de bobina de 1 A, el límite de corriente debe ser de $1 \text{ A} / 0,7 = 1,4 \text{ A}$, que corresponde a una V_{REF} de $1,4 \text{ A} / 2,5 = 0,56 \text{ V}$.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Dentro de esta sección se desarrolla todo lo referente al diseño de elementos y selección de accesorios necesarios para la constitución de la parte mecánica de la fresadora y el scanner, como se observa en la figura 33 (de izquierda a derecha).

Figura 33 Diseño mecánico de la fresadora y scanner

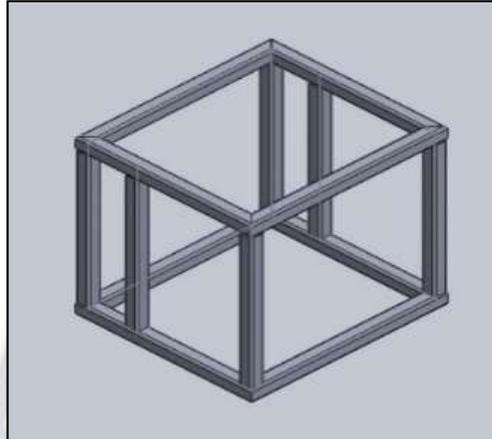


Fuente: Elaboración propia

2.1. Diseño de la fresadora

En la Figura 36 se presenta el diseño preliminar del chasis de la fresadora:

Figura 34 Diseño preliminar del chasis de la fresadora



Fuente: Elaboración propia

La mesa es de aluminio y se desplaza longitudinalmente a una velocidad constante de 4,61 mm/s, para lograr dicho movimiento se utiliza un tornillo de potencia y dos guías; cabe mencionar que el tornillo de potencia es accionado por un motor de paso.

La estructura mecánica es resistente, aunque las cargas a las que está sometida no sean demasiado grandes; además que brindan facilidad de acceso a elementos como tarjetas de control y motores para el momento de revisión por fallas o mantenimiento.

La unión entre las diferentes partes del equipo es mecánica, por medio de tornillos normalizados, para su fácil búsqueda en el mercado local.

2.1.1. Pruebas preliminares para la fresadora

Para determinar la velocidad de avance y la fuerza de maquinado para el yeso, se realizó un ensayo colocando un trozo marcado del mismo (con dos puntos de referencia ubicados a una distancia Δx entre sí), se aplicó una fuerza y unas revoluciones determinadas para la herramienta de corte (taladro de banco).

Se utilizaron los siguientes parámetros:

Velocidad de rotación	$n = 1000 \text{ rpm}$
Fuerza corte aplicada	$F_c = 6 \text{ lb}$
Desplazamiento	$\Delta x = 150 \text{ mm}$
Profundidad del corte	$\Delta z = 2 \text{ mm}$

Es así que se obtuvieron los resultados:

$$N t \text{ (s)} = 31 + 41,3 + 46,5 + 26 + 30 + 20,44$$

$$t \text{ total} = 195,24 \quad t \text{ promedio} = 32,54$$

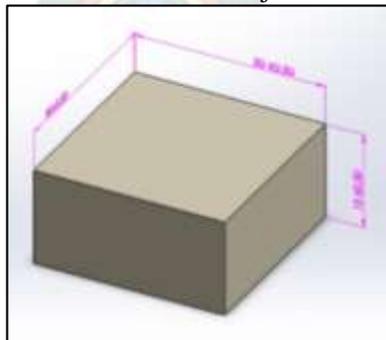
De este modo, la velocidad de avance para el maquinado de yeso es la siguiente:

$$v_{\text{avance}} = \frac{\Delta x}{t \text{ prom}}$$
$$v_{\text{avance}} = \frac{150 \text{ mm}}{32,54} = 4,61 \text{ mm/s}$$

2.1.2. Volumen de trabajo para la fresadora

El volumen de trabajo que es capaz de realizar la fresadora se muestra en la Figura 35, el cual, de acuerdo a las dimensiones mostradas es de $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$.

Figura 35 Volumen de trabajo de la fresadora

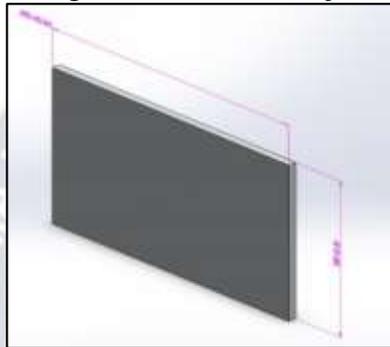


Fuente: Elaboración propia

2.1.2. Mesa de trabajo

Para lograr el maquinado del volumen de trabajo establecido, la mesa de trabajo de la fresadora y del scanner tiene las dimensiones mostradas en la Figura 36:

Figura 36 Mesa de trabajo.



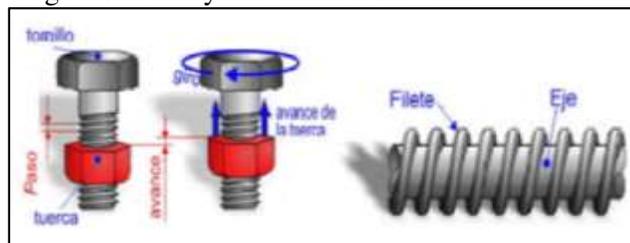
Fuente: Elaboración propia

2.1.3. Diseño del sistema de transmisión de potencia

Se considera que la mejor forma de la transmisión de potencia es a través de un mecanismo tornillo-tuerca, el cual se emplea para transformar un movimiento de giro en otro rectilíneo con una gran reducción de velocidad y, por tanto, un incremento de fuerza.

En la Figura 37 se muestra el detalle del mecanismo tornillo-tuerca, se puede observar como con cada vuelta de la tuerca el sistema avanza un paso específico; el avance depende directamente del paso del tornillo.

Figura 37 Paso y avance del sistema tornillo-tuerca.



Fuente: Tornillopotencia.pdf

En el diseño del sistema, los tres ejes de trabajo están diseñados con una configuración similar, buscando un ensamblaje fácil, sin embargo, se realizó un análisis individual para cada eje lo cual permitió determinar la carga específica a la que el tornillo será sometido.

En la Figura 38 se muestra el diseño preliminar del tornillo de potencia.

Figura 38 Diseño preliminar de un tornillo de potencia.



Fuente: Tornillopotencia.pdf

2.2. Análisis previo al diseño mecánico de la fresadora

2.2.1. Sistema de transmisión en eje X

a) Fuerzas gravitacionales:

La masa capaz de mover el tornillo es de:

$$m_{total} = m_{\text{mesa de trabajo}} + m_{\text{volumen de trabajo}} + m_{\text{motor eje z}} + m_{\text{accesorios}}$$

Donde:

$$m_{\text{mesa de trabajo}} = 1,2 \text{ kg}$$

$$m_{\text{volumen de trabajo}} = 970 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (0,3 * 0,2 * 0,1) \text{m}^3 = 5,82 \text{ kg}$$

$$m_{\text{motor eje z}} = 0,6 \text{ kg}$$

$$m_{\text{accesorios}} = 0,3 \text{ kg}$$

Para el cálculo del volumen de trabajo se utilizó, según Anexo1, la densidad del yeso ($970 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$). La masa aproximada es de 0,3 kg para el conjunto de accesorios que lleva la mesa.

Con estas consideraciones, se tuvo lo siguiente:

$$m_{\text{total}} = (1,2 + 5,82 + 0,6 + 0,3) \text{ kg}$$

$$m_{\text{total}} = 7,9 \text{ kg}$$

Entonces, el peso es:

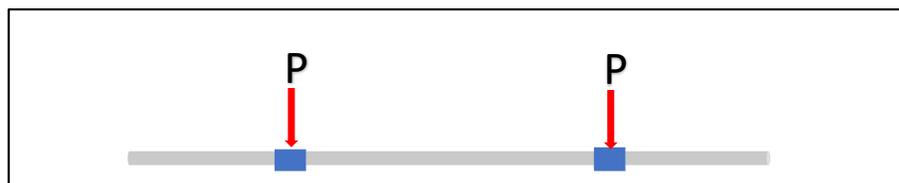
$$F_{wx} = m_{\text{total}} * g = 7,9 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{wx} = 77,69 \text{ N}$$

b) Fuerzas de rozamiento

Es necesario considerar que debido a que la mesa de trabajo se desplaza mediante unos sistemas de guías y bujes, se generan fuerzas viscosas debido a la interacción de los mismos (Figura 39).

Figura 39 Diagrama de fuerzas que actúan sobre cada guía



Fuente: Elaboración propia

Del diagrama se obtiene:

$$P = \frac{F_{wx}}{4} = \frac{77,69 N}{4} \quad P = 19,4 N$$

Donde:

P: fuerza de rozamiento en cada buje

F_{wx} : peso total en el eje x

El coeficiente de rozamiento (bronce sobre acero) que se utilizó fue de 0,18, valor tomado de la tabla de Anexo 2.

Entonces:

$$F_{wx} = 19,4 N * 0,18 = 3,49 N$$

Para los cuatro bujes:

$$F_{wx total} = 3,49 N * 4 = 13,97 N$$

c) Fuerzas inerciales

Así también se consideró la fuerza inercial debida a la transición de la mesa de trabajo y todos sus componentes, esta se determina mediante la siguiente expresión:

$$F_i = m * a$$

De tal forma se tiene:

$$F_i = 7,9 kg * \frac{4,61 \times 10^{-3} \frac{m}{s}}{0,1 s} = 0,36 N$$

d) Tornillo de potencia

Con los datos obtenidos anteriormente se determina la magnitud del torque que genera el tornillo de potencia para superar la carga, según la expresión que se muestra a continuación:

$$T_{\text{tornillo}} = \frac{d_w W}{2} \left(\frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu \tan \lambda} \right) + \frac{\mu d_w W}{2}$$

La carga total que el tornillo debe superar (W), se halla conociendo la Fuerza de corte 171,97 N que fue obtenida de ensayos y tomando los datos obtenidos de las fuerzas:

$$W = F_{\text{corte}} + F_{\text{rozamiento}} + F_{\text{inercial}}$$

$$W = (171,97 + 13,97 + 0,36)N$$

$$W = 186,3 N$$

El valor de μ es de 0,25 para la tuerca y tornillo de acero.

Así también, se tiene que: $\tan \lambda = \frac{p}{\pi d_w}$

En el cual “p” es el paso de tornillo, el tornillo con el que se trabaja posee un diámetro de 10 mm y el paso del mismo es de 8mm.

Y d_w es el diámetro medio del tornillo que se obtiene de la siguiente expresión:

$$d_w = d - \frac{p}{2} = 10 - \frac{8}{2} = 6 \text{ mm}$$

Entonces se tiene:

$$\tan \lambda = \frac{p}{\pi d_w} \qquad \tan \lambda = \frac{0,008}{\pi * 0,006} = 0,42$$

Finalmente reemplazando todos los valores encontrados en la ecuación principal:

$$T_{\text{tornillo}} = \frac{0,006m * 186,3N}{2} \left(\frac{0,42 + 0,25}{1 - 0,25 * 0,42} \right) + \frac{0,25 * 0,006m * 186,3N}{2}$$

$$T_{\text{tornillo}} = 55,81 \text{ Ncm}$$

e) Selección del material

Aunque ya se definió que el material del tornillo es acero, es necesario comprobar la selección mediante las expresiones siguientes:

$$-\sigma = \frac{3Wp}{\pi d_w (p/2)^2} \quad \sigma = \frac{3(186,3)(0,008)}{\pi(0,006)(0,04)^2} = 0,148 \text{ MPa}$$

$$-\tau = \frac{W}{\pi d_w Q} \quad \tau = \frac{186,3}{\pi(0,006)(0,04)} = 0,24 \text{ MPa}$$

$$-\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \left[\frac{\sigma^2}{2} + \tau^2 \right]^{1/2} \quad \sigma_{1,2} = \frac{0,148}{2} \pm \left[\frac{0,148^2}{2} + 0,24^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_1 = 0,336 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0,188 \text{ MPa}$$

$$-T_{\text{max}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad T_{\text{max}} = \frac{0,336 - 0,188}{2} = 0,0741 \text{ MPa}$$

Para el factor de seguridad:

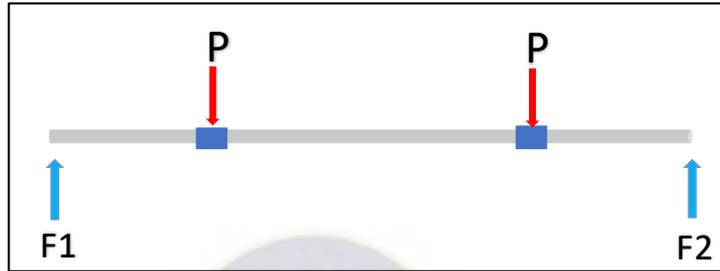
$$-n = \frac{\sigma}{T_{\text{max}}} \quad n = \frac{0,148}{0,041} = 2$$

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

f) Diagrama de cortante y momento flector para guías en el eje x

Se presenta el análisis de cortante y momento flector para el eje x, que por medio de los diagramas se determinó la deflexión máxima que tienen las guías para este eje (Ver Figura 40).

Figura 40 Diagrama de fuerza cortante.



Fuente: Elaboración propia

Según el diagrama y sabiendo que $P = 19,4 \text{ N}$, se encuentran las reacciones en cada guía:

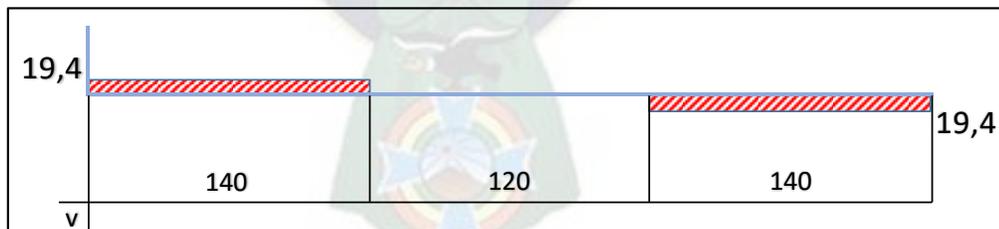
$$\sum M_1 = 0 \quad 19,4 * 140 + 19,4 * 260 - F_2 * 400 = 0$$

$$F_2 = 14,4 \text{ N}$$

Por la condición de equilibrio en Y:

$$\sum F_y = 0 \quad F_2 = 19,4 \text{ N}$$

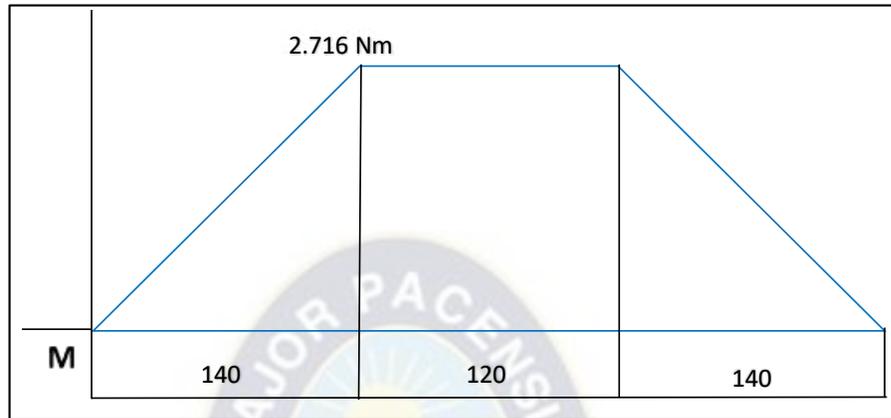
Figura 41 Diagrama de fuerza cortante sobre la guía del eje x



Fuente: Elaboración propia

Con el diagrama de la Figura 41 se obtiene el diagrama de momento flector, el cual se presenta en la Figura 42:

Figura 42 Diagrama de momento flector para guía Eje x



Fuente: Elaboración propia

El esfuerzo flexionante producido en la guía se obtiene por la expresión mostrada a continuación:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} \quad \sigma = \frac{32 * 2,716}{\pi (0,012)^3} = 16 \text{ MPa}$$

Con este resultado, con un factor de seguridad de 1,3 hallado por la tabla mostrada en el Anexo 4 y según la tabla de selección de materiales del Anexo 3, se puede concluir que cualquier acero cumple con los requerimientos de resistencia.

g) Potencia para motor paso a paso eje x

La expresión utilizada para determinar la potencia que demanda el tornillo es la siguiente:

$$P_{OTn} = T_{total} * \omega = \left(\frac{55,83 \text{ Ncm}}{\frac{100}{1m}} \right) * 2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{OTn} = 3,5 \text{ W}$$

Entonces la potencia necesaria para el funcionamiento del prototipo es de 3,5 W.

2.2.2. Sistema de transmisión eje Y

Para los cálculos fue importante tener estas consideraciones preliminares:

Velocidad de corte	$0,00461 \frac{m}{s}$
Tiempo de espera del motor	0,1 s
Masa del motor	0,8 kg
Masa del motor paso	0,6 kg
Masa de las guías	0,4 kg
Masa del sistema tornillo tuerca	0,3 kg
Masa del porta herramienta	0,2 kg
Masa del bloque de trabajo	0,3 kg
Masa de los accesorios	0,2 kg

a) Fuerzas gravitacionales:

La masa capaz de mover el tornillo es de:

$$m_{total} = m_{fresadora} + m_{guias} + m_{motor\ eje\ z} + m_{porta\ herramienta} + m_{accesorios} + m_{tornillo\ tuerca} + m_{bloque}$$

Con las masas ya conocidas, se tiene lo siguiente:

$$m_{total} = (0,2 + 0,6 + 0,4 + 0,8 + 0,3 + 0,2 + 0,3) \text{ kg}$$

$$m_{total} = 2,8 \text{ kg}$$

Entonces, el peso es:

$$F_{wy} = m_{total} * g \qquad F_{wy} = 2,8 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{wy} = 27,47 \text{ N}$$

b) Fuerzas de rozamiento

Para la determinación de estas fuerzas actuadoras en el eje Y, se tomó las mismas consideraciones que para el eje X.

Entonces:

$$P = \frac{F_{wy}}{4} = \frac{27,47 \text{ N}}{4} \quad P = 6,87 \text{ N}$$

Donde:

P: Fuerza de rozamiento en cada buje

F_{wy} : Peso total en el eje y

Entonces:

$$F_{ry} = 6,87 \text{ N} * 0,18 = 1,24 \text{ N}$$

Para los cuatro bujes:

$$F_{ry \text{ total}} = 1,24 \text{ N} * 4 = 4,94 \text{ N}$$

c) Fuerzas inerciales

Son determinadas de la siguiente forma:

$$F_i = 2,8 \text{ kg} * \frac{4,61 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,1 \text{ s}}$$

$$F_i = 0,13 \text{ N}$$

d) Tornillo de potencia

Para este cálculo también se tomó las mismas consideraciones que para los cálculos del tornillo de potencia del eje X.

Por lo mismo, la ecuación de torque para que el tornillo pueda subir la carga es:

$$T_{\text{tornillo}} = \frac{d_w W}{2} \left(\frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu \tan \lambda} \right) + \frac{\mu d_w W}{2}$$

Donde:

$$W = F_{\text{corte}} + F_{\text{rozamiento}} + F_{\text{inercial}}$$

$$W = (171,97 + 4,94 + 0,13)N$$

$$W = 177,05 N$$

Con $\mu = 0,25$, con un diámetro de 10 mm y el paso del tornillo de 8mm:

$$\tan \lambda = \frac{p}{\pi d_w}$$

Donde d_w se obtiene de la siguiente manera:

$$d_w = d - \frac{p}{2} = 10 - \frac{8}{2} = 6 \text{ mm}$$

Hallando $\tan \lambda$:

$$\tan \lambda = \frac{0,008}{\pi * 0,006} = 0,42$$

Reemplazando todos los valores encontrados en la ecuación principal:

$$T_{\text{tornillo}} = \frac{0,006m * 177,05N}{2} \left(\frac{0,42 + 0,25}{1 - 0,25 * 0,42} \right) + \frac{0,25 * 0,006m * 177,05N}{2}$$

$$T_{\text{tornillo}} = 53,04 \text{ Ncm}$$

e) Selección del material

Al igual que el eje X es necesario comprobar la selección mediante las expresiones siguientes:

$$- \sigma = \frac{3Wp}{\pi d_w (p/2)^2} \quad \sigma = \frac{3(177,05)(0,008)}{\pi(0,006)(0,04)^2} = 0,141 \text{ MPa}$$

$$- \tau = \frac{W}{\pi d_w Q} \quad \tau = \frac{177,05}{\pi(0,006)(0,04)} = 0,235 \text{ MPa}$$

$$- \sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \left[\frac{\sigma^2}{2} + \tau^2 \right]^{1/2} \quad \sigma_{1,2} = \frac{0,141}{2} \pm \left[\frac{0,141^2}{2} + 0,235^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_1 = 0,3255 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 0,1845 \text{ MPa}$$

$$- T_{\text{max}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad T_{\text{max}} = \frac{0,336 - 0,188}{2} = 0,0705 \text{ MPa}$$

Para el factor de seguridad:

$$- n = \frac{\sigma}{T_{\text{max}}} \quad n = \frac{0,141}{0,0705} = 1,98$$

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

f) Potencia para motor paso a paso eje Y

La potencia que se demanda es:

$$P_{OTn} = T_{total} * w = \left(\frac{53,06 \text{ Ncm}}{\frac{100}{1m}} \right) * 2\pi \frac{\text{rad}}{s}$$

$$P_{OTn} = 3,33 \text{ W}$$

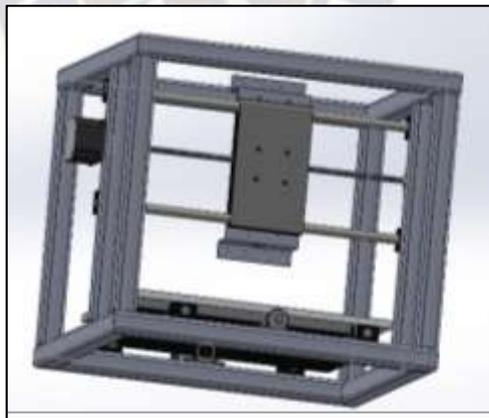
Por lo tanto, la potencia necesaria para el funcionamiento del prototipo es de **3,5 W**.

g) Diagramas de cortante y momento flector para guías eje Y

Se procede a presentar el análisis de cortante y momento flector para el eje Y, con ayuda de los diagramas se obtiene la flexión máxima que poseen las guías de este eje.

La Figura 43 muestra la configuración de guías para el eje Y.

Figura 43 Configuración de guías para el eje Y

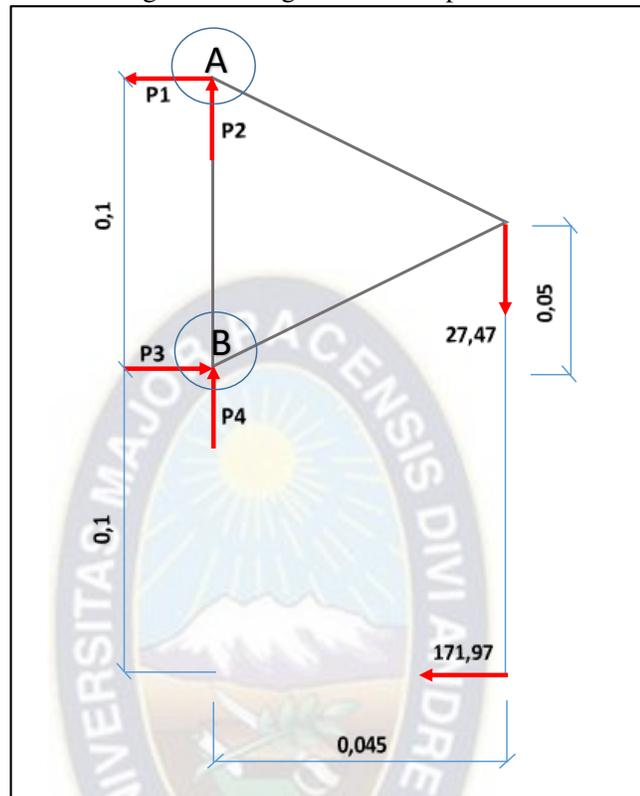


Fuente: Elaboracio propia

La distancia vertical entre las guías es de 10 cm (0,1 m), el centro de gravedad de todo el peso que soporta el eje Y está aproximadamente a 4,5 cm y está aplicada en el centro de ambas guías, la fuerza de corte también es considerada ya que influye en los esfuerzos.

Se puede observar el diagrama de cuerpo libre en la Figura 44.

Figura 44 Diagrama de cuerpo libre



Fuente: Elaboración propia

Determinando las reacciones en las guías:

$$\sum MB = 0 ; \quad 27,47(0,045) + 171,97(0,1) - P_1(0,1) = 0$$

$$P_1 = \mathbf{184,33 N}$$

$$\sum MA = 0 ; \quad 27,47(0,045) + 171,97(0,1) - P_3(0,1) = 0$$

$$P_3 = \mathbf{184,33 N}$$

Por análisis de equilibrio:

$$P_2 = P_4 = \mathbf{13,74 N}$$

- **Fuerzas soportadas por la guía A:**

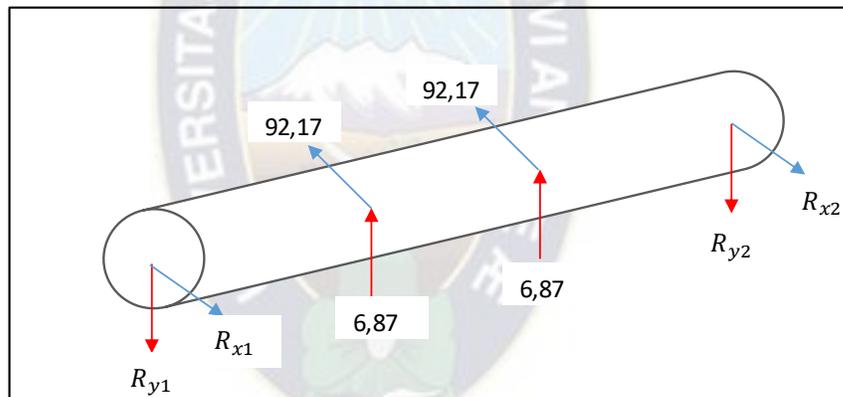
Las fuerzas soportadas por cada buje en la guía A como se observa en la Figura 45, son:

$$F_Y = \frac{P_2}{2} = 6,87 \text{ N}$$

$$F_Y = \frac{P_1}{2} = 92,17 \text{ N}$$

Tomando en cuenta que la longitud es de 0,4 m, se tiene:

Figura 45 Fuerzas en soportadas por la guía A en el eje Y

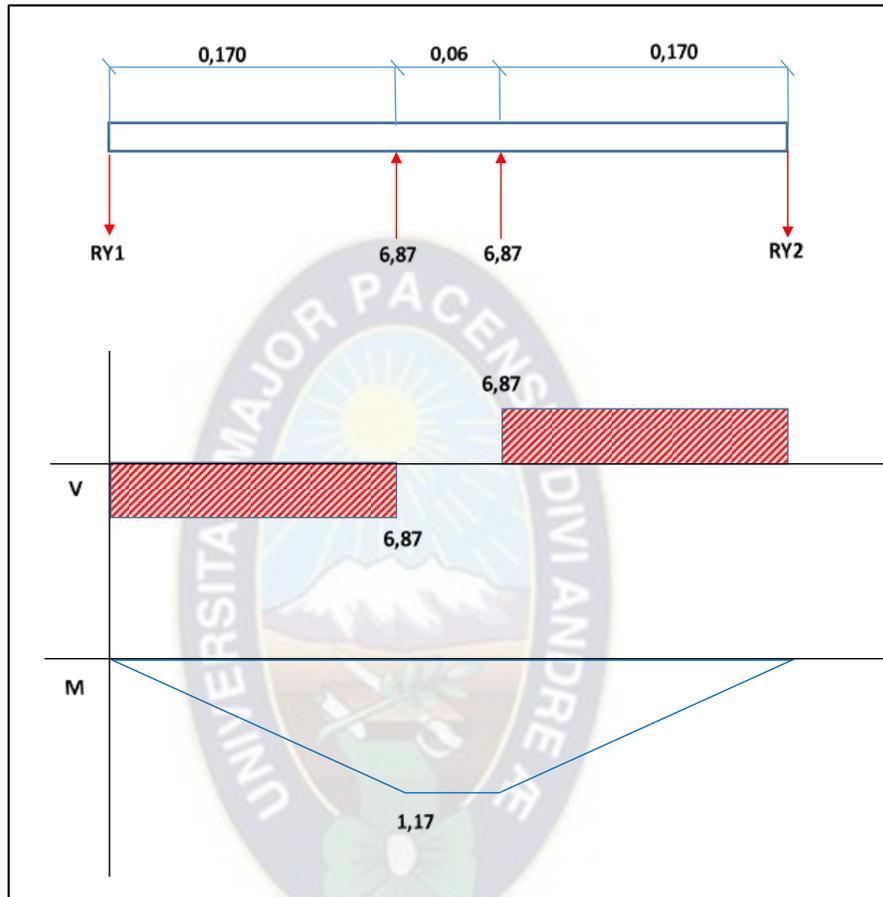


Fuente: Elaboración propia

Análisis respecto al eje vertical:

En este análisis vertical se presenta a continuación las fuerzas que son soportadas por la guía A. Ver Figura 46.

Figura 46 Fuerzas soportadas por la guía A,



Fuente: Elaboración propia

$$\sum M_{y1} = 0 ; \quad -6,87(0,17) - 6,87(0,23) + R_{y2}(0,4) = 0$$

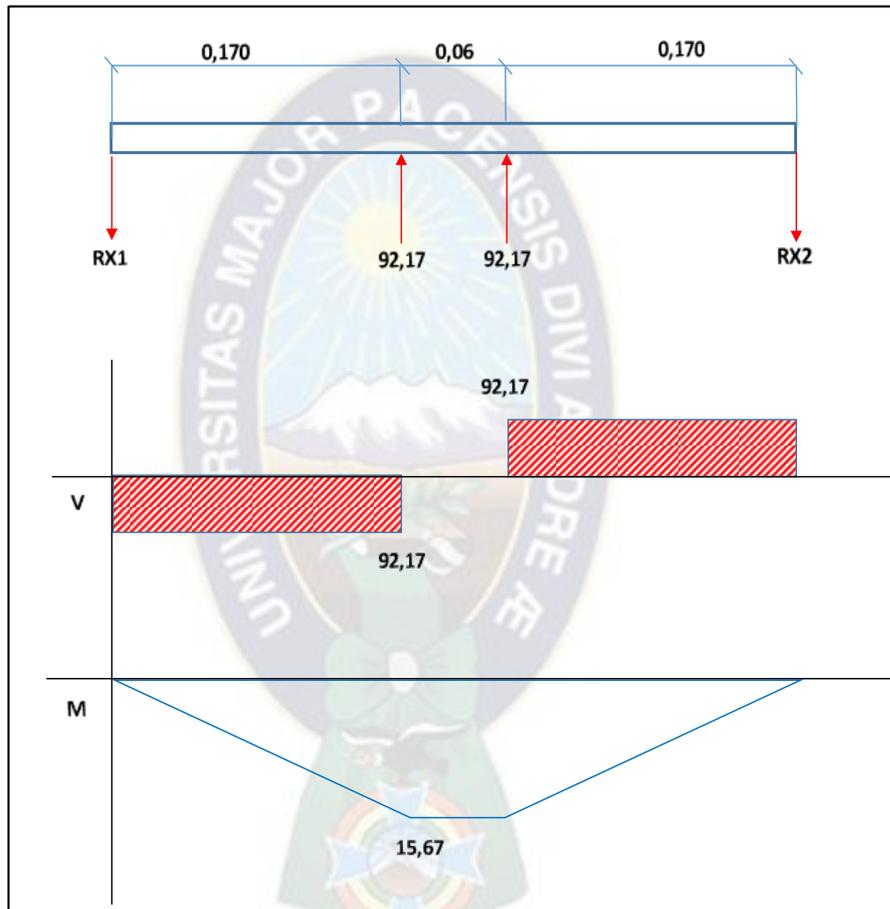
$$R_{y1} = R_{y2} = 3,42\text{N}$$

Se observa que el mayor momento flector es 1,71 N-m

Análisis respecto al eje horizontal:

Las fuerzas que soporta la guía A, se plasma en la Figura 47.

Figura 47 Fuerzas soportadas por la guía A análisis horizontal



Fuente: Elaboración propia

$$\sum M_{x1} = 0 ; \quad -92,17(0,17) - 92,17(0,23) + R_{x2}(0,4) = 0$$

$$R_{x1} = R_{x2} = \mathbf{92,17 \text{ N}}$$

Se puede observar que el mayor momento flector es 15,67 N-m

Esfuerzos soportados debido a los momentos flectores:

Los esfuerzos soportados son calculados mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{32 M}{\pi(d)^3}$$

Dónde:

σ = esfuerzo por flexión

M= momento flexionante máximo

S= módulo se sección

d= diámetro

Considerando que el diámetro de la barra guía es de 14 mm, reemplazando los datos se obtuvo lo siguiente:

$$\sigma_1 = \frac{32 (1,17)}{\pi(0,014)^3} \quad \sigma_1 = 4343 \text{ Pa}$$

$$\sigma_2 = \frac{32 (15,67)}{\pi(0,014)^3} \quad \sigma_2 = 58168 \text{ Pa}$$

- Fuerzas soportadas por la guía B:

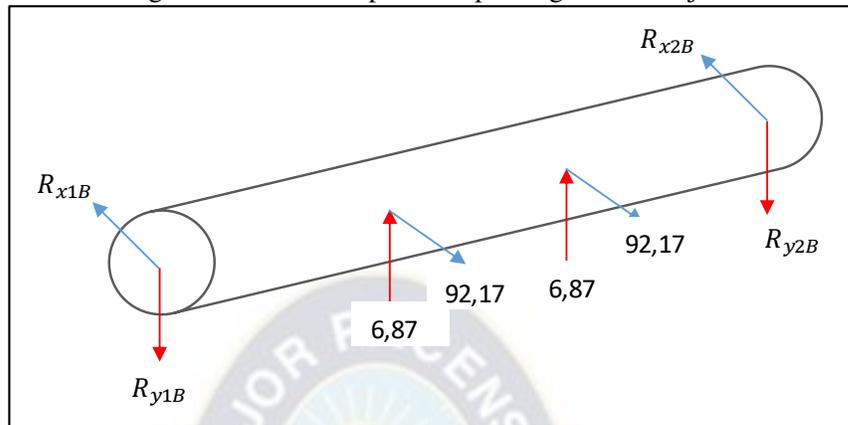
Las fuerzas soportadas por cada buje son:

$$F_Y = \frac{P_4}{2} = 6,87 \text{ N}$$

$$F_Y = \frac{P_3}{2} = 92,17 \text{ N}$$

Tomando en cuenta que la longitud es de 0,4 m, se puede observar en la Figura 48 las fuerzas soportadas por la guía B.

Figura 48 Fuerzas soportadas por la guía B del eje Y

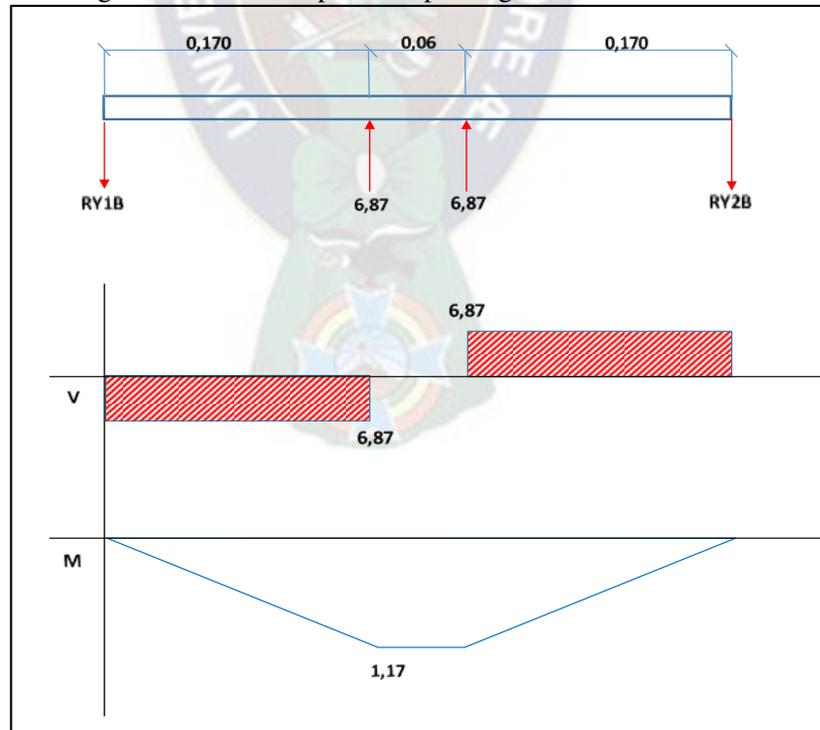


Fuente: Elaboración propia

Análisis respecto eje vertical:

El análisis vertical y horizontal de las fuerzas se muestra en la Figura 49 y 50.

Figura 49 Fuerzas soportadas por la guía B análisis vertical



Fuente: Elaboración propia

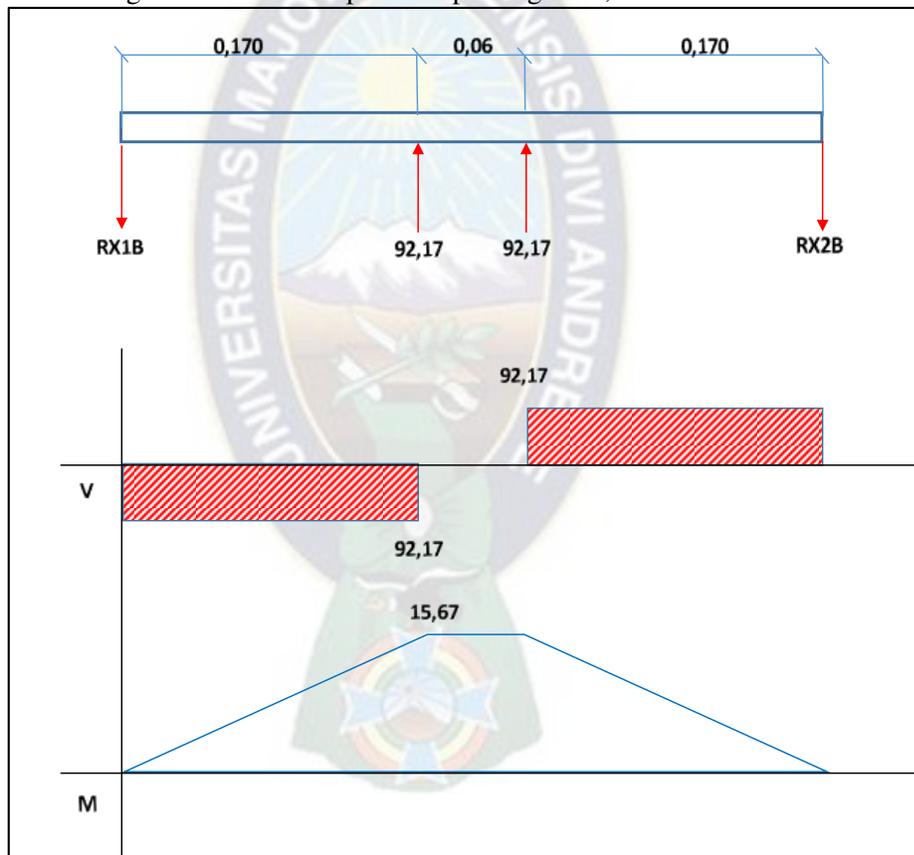
$$\sum M_{y1B} = 0 ; \quad -6,87(0,17) - 0,87(0,23) + R_{y2B}(0,4) = 0$$

$$R_{y1B} = R_{y2B} = \mathbf{3,42\ N}$$

Se puede observar que el mayor momento flectores 1,71 N-m

Análisis respecto al eje horizontal:

Figura 50 Fuerzas soportadas por la guía B, análisis horizontal



Fuente: Elaboración propia

$$\sum M_{x1B} = 0 ; \quad -92,17(0,17) - 92,17(0,23) + R_{x2}(0,4) = 0$$

$$R_{x1B} = R_{x2B} = \mathbf{92,17\ N}$$

Se puede observar que el mayor momento flector es 15,67 N-m

Esfuerzos soportados debido a los momentos flectores

Reemplazando los datos se obtiene lo siguiente:

$$\sigma_1 = \frac{32 (1,17)}{\pi(0,14)^3} \quad \sigma_1 = 4343 \text{ Pa}$$

$$\sigma_2 = \frac{32 (15,67)}{\pi(0,14)^3} \quad \sigma_2 = 58168 \text{ Pa}$$

Con estos resultados y con un factor de seguridad de 1.3 hallado de la tabla del Anexo 4 se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3.

2.2.3. Sistema de transmisión en eje Z

Considerando los siguientes valores conocidos:

Masa de las guías del eje Y	0,30 kg
Masa del porta herramientas inferior y superior	0,22 kg
Masa de la fresadora	0,80 kg
Masa de los accesorios	0,20 kg

a) Fuerzas gravitacionales

La masa capaz de mover el tornillo es de:

$$m_{total} = m_{fresadora} + m_{guías} + m_{porta herramientas} + m_{accesorios}$$

$$m_{total} = (0,30 + 0,22 + 0,80 + 0,20) \text{ kg}$$

$$m_{total} = 1,52 kg$$

Entonces, el peso es:

$$F_{wz} = m_{total} * g = 1,52 kg * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{wz} = 14,91 N$$

b) Fuerzas de rozamiento

Estas fuerzas son consideradas despreciables.

c) Fuerzas inerciales

$$F_i = 1,52 kg * \frac{4,61 \times 10^{-3} \frac{m}{s}}{0,1 s} \quad F_i = 0,07 N$$

d) Tornillo de potencia

$$T_{tornillo} = \frac{d_w W}{2} \left(\frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu \tan \lambda} \right) + \frac{\mu d_w W}{2}$$

Donde:

$$W = F_{wz} + F_{rozamiento} + F_{inercial} + F_{Cz}$$

$$W = (14,91 + 0,07 + 0 + 171,97) N$$

$$W = 186,95 N$$

Como anteriormente se halló:

$$\tan \lambda = \frac{0,008}{\pi * 0,006} = 0,42$$

$$d_w = d - \frac{p}{2} = 10 - \frac{8}{2} = 6 mm$$

Reemplazando todos los valores encontrados en la ecuación principal:

$$T_{\text{tornillo}} = \frac{0,006m * 186,95N}{2} \left(\frac{0,42 + 0,25}{1 - 0,25 * 0,42} \right) + \frac{0,25 * 0,006m * 186,95N}{2}$$

$$T_{\text{tornillo}} = 56,05 \text{ Ncm}$$

e) Selección del material

Finalmente se calcula las siguientes expresiones:

$$-\sigma = \frac{3Wp}{\pi d_w (p/2)^2} \quad \sigma = \frac{3(186,95)(0,008)}{\pi(0,006)(0,04)^2} = \mathbf{0,15 \text{ MPa}}$$

$$-\tau = \frac{W}{\pi d_w Q} \quad \tau = \frac{186,95}{\pi(0,006)(0,04)} = \mathbf{0,25 \text{ MPa}}$$

$$-\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \left[\frac{\sigma^2}{2} + \tau^2 \right]^{1/2} \quad \sigma_{1,2} = \frac{0,15}{2} \pm \left[\frac{0,15^2}{2} + 0,25^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_1 = \mathbf{0,346 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_2 = \mathbf{0,196 \text{ MPa}}$$

$$-T_{\text{max}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad T_{\text{max}} = \frac{0,346 - 0,196}{2} = \mathbf{0,075 \text{ MPa}}$$

Para el factor de seguridad:

$$-n = \frac{\sigma}{T_{\text{max}}} \quad n = \frac{0,15}{0,075} = \mathbf{2}$$

Del resultado anterior y según la Tabla de Selección de materiales del Anexo 3, se concluye que cualquier acero cumple los requerimientos de resistencia.

f) Potencia para motor paso a paso eje Z

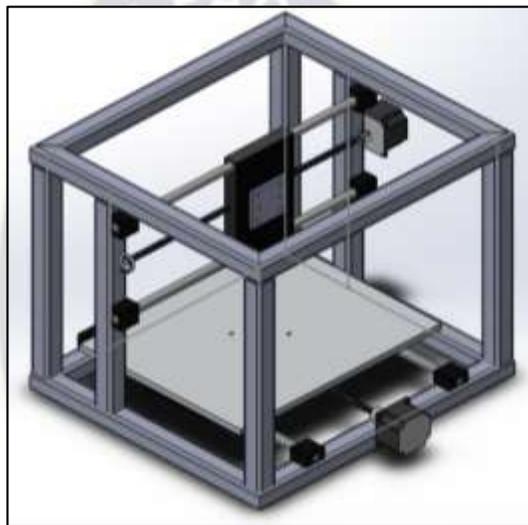
$$P_{OTn} = T_{\text{total}} * \omega = \left(\frac{56,05 \text{ Ncm}}{\frac{100}{1m}} \right) * 2\pi \frac{\text{rad}}{s}$$

$$P_{OTn} = 3,52 \text{ W}$$

Entonces la potencia necesaria para el funcionamiento del prototipo es de 3,5W

2.3. Diseño mecánico del scanner

Figura 51 Diseño mecánico del scanner



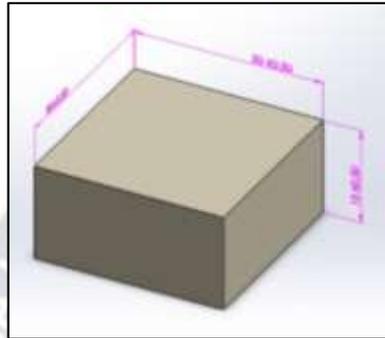
Fuente: Elaboración propia

La función mecánica del scanner (Figura 51) es ir a la par con los movimientos del eje X y Y de la fresadora, de tal manera que la mesa de trabajo del scanner se mueva conjuntamente con la mesa de trabajo de la fresadora. Es por ello que ambas trabajan con las mismas consideraciones mecánicas para mantener una relación de igual avance.

El sensor con el que trabaja el scanner es de tipo óptico, por lo cual no existe contacto físico con la pieza a replicar, en tal caso las reacciones mecánicas en los apoyos y los esfuerzos sobre las guías son casi despreciables en comparación con la fresadora.

2.3.1. Volumen de trabajo

Figura 52 Volumen de trabajo en el scanner



Fuente: Elaboración propia

El volumen de trabajo, como se observa en la Figura 52, es el mismo que el de la fresadora $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$, por lo que se hizo el prototipo de scanner de las mismas dimensiones que la fresadora.

2.4. Análisis electrónico del Scanner

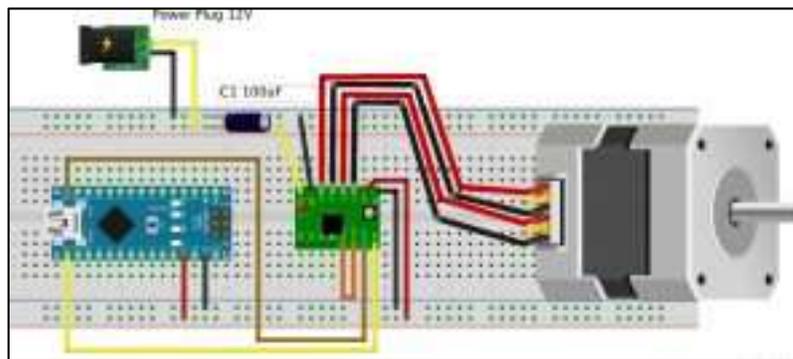
Par esta sección se considera el análisis de los siguientes elementos:

- Driver A 4988
- Servo motor modelo: MG995
- Microcontrolador Arduino Nano
- Fuente ATX
- Motor paso Nema 23
- Sensor Sharp

2.4.1. Control de los motores paso a paso para el Scanner

Los dos motores paso a paso se encargan de hacer un barrido de toda el área de trabajo del scanner. En la figura 53 se observa el diagrama para conectar el controlador A4988 al Arduino y así poder controlar el motor paso a paso del eje X y Y.

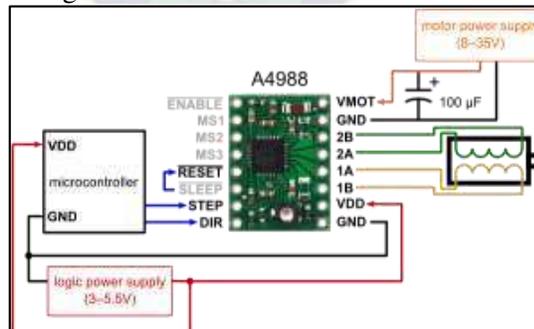
Figura 53 Diagrama de conexión Arduino-Driver-motor paso a paso



Fuente: elaboración propia

En la figura 54 se observa a detalle del controlador A4988 y sus conexiones:

Figura 54 Detalle del controlador A4988



Fuente: elaboración propia

Se puede observar que los cables del motor están identificados por color:

Negro	A+	Rojo	B+
Verde	A-	Azul	B-

A continuación, se muestra la programación para el control de los motores paso a paso:

```
int led1 = 2;
int led2 = 3;
int led3 = 4;
int boton = 7;
int val = 0;
int old_val = 0;
int state = 0;
const int ledPin=2;
int ledState=LOW;
int led3Estado=LOW;

unsigned long previousMillis=0;
const long interval=50;

void setup() {
  pinMode (led1, OUTPUT);
  pinMode (led2, OUTPUT);
  pinMode (led3, OUTPUT);
  pinMode (boton, INPUT);
}

void loop () {
  val = digitalRead(boton); //lee el estado del botón
  if (val == HIGH) {
    for (int i=0;i<20;i++){
      digitalWrite(led2,HIGH);
      delay(40);
      digitalWrite(led2,LOW);
      delay (40);
    }
    state = 1 - state;
    delay (10);
    digitalWrite(led3,!digitalRead(led3));
  }

  unsigned long currentMillis=millis();

  if(currentMillis - previousMillis >= interval){
    previousMillis=currentMillis;

    if(ledState==LOW){
      ledState=HIGH;
    }
  }
}
```

```

}else{
ledState=LOW;
}

digitalWrite(ledPin,ledState);
}
}

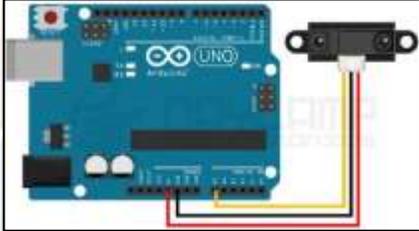
```

2.4.2. Conexión entre Sensor Sharp y Arduino

El sensor Sharp es el encargado de tomar los datos necesarios para escanear el objeto, estos valores los interpretará Arduino para convertirlos de valores digitales a movimientos mecánicos en el eje Z de la fresadora.

Figura 55 Conexión Sensor Sharp- Arduino

SENSOR SHARP	ARDUINO
1. Vout	A0
2. GND	GND
3. Vcc	5V



Fuente: thunderwiring.wordpress.com/arduino

Adicional a la conexión que se plasma en la Figura 55, se puede conectar un condensador electrolítico de 10uF entre Vcc y GND, pero lo más cercano al sensor, para eliminar el ruido en la fuente que genera el sensor.

2.4.3. Lectura ADC del sensor SHARP

El sensor SHARP tiene una salida analógica, que se lee desde Arduino como si se tratase de un potenciómetro, la programación es la siguiente:

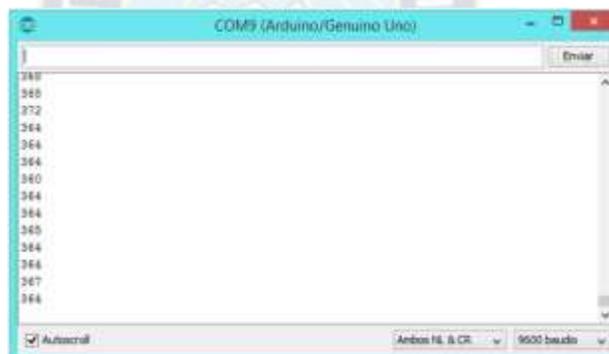
```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int ADC_SHARP = analogRead(A0);
  Serial.println(ADC_SHARP);
  delay(10);
}

```

Se puede observar en el monitor serial que al acercarse un objeto al sensor el valor del ADC aumenta mientras que si se lo aleja disminuye, como se observa en la Figura 56:

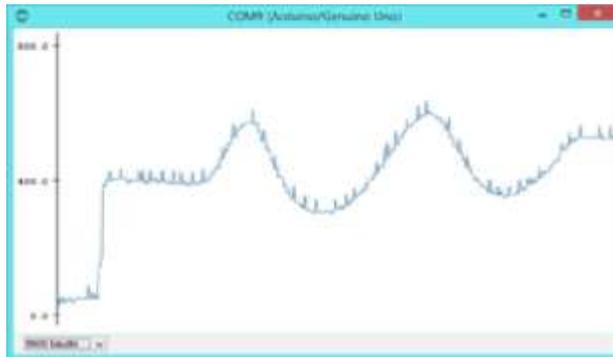
Figura 56 Monitor serial con valores del ADC



Fuente: Elaboración propia

El ruido que se pueda presentar depende de la fuente que se utilice, como se visualiza en la figura 57.

Figura 57 Serial plotter de Arduino con variación de lectura por ruido



Fuente: Elaboración propia

El ruido que se observa no es por una mala precisión del sensor sino por el ruido que el emisor infrarrojo del sensor genera en la fuente. Para eliminar la lectura se utilizó un promedio de 50 muestras. Así la nueva programación es la siguiente:

```

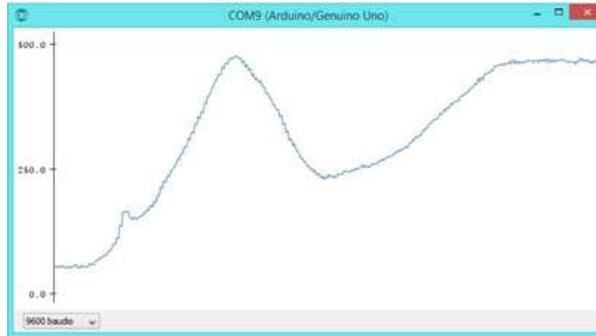
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  int ADC_SHARP=ADC0_promedio(50);
  Serial.println(ADC_SHARP);
  delay(10);
}

int ADC0_promedio(int n)
{
  long suma=0;
  for(int i=0;i<n;i++)
  {
    suma=suma+analogRead(A0);
  }
  return(suma/n);
}

```

En la Figura 58 se puede notar que el ruido disminuyó:

Figura 58 Lectura de serial con filtro de un promedio de 50 muestras



Fuente: Elaboración propia

Las muestras pueden variar de acuerdo al nivel de ruido que se tenga.

a) Detección de obstáculos: Sensor de proximidad

El sensor Sharp trabaja como un sensor de proximidad, ya que solo le interesa saber si existe algún objeto frente a él.

La programación para usar el sensor Sharp como sensor de proximidad es la siguiente:

```
int led1 = 2;
int led2 = 3;
int led3 = 4;
int boton = 7;
int val = 0;
int old_val = 0;
int state = 0;
const int ledPin=2;
int ledState=LOW;
int led3Estado=LOW;

unsigned long previousMillis=0;
const long interval=50;

void setup() {
  pinMode(led1,OUTPUT);
  pinMode(led2,OUTPUT);
  pinMode(led3,OUTPUT);

  pinMode(boton,INPUT);
```

```

}

void loop() {
  val = digitalRead(boton); //lee el estado del boton
  if (val == HIGH) {
    for (int i=0;i<20;i++){
      digitalWrite(led2,HIGH);
      delay(40);
      digitalWrite(led2,LOW);
      delay(40);
    }

    state = 1 - state;
    delay(10);
    digitalWrite(led3,!digitalRead(led3));
  }
  unsigned long currentMillis=millis();

  if(currentMillis - previousMillis >= interval){
    previousMillis=currentMillis;

    if(ledState==LOW){
      ledState=HIGH;
    }else{
      ledState=LOW;
    }

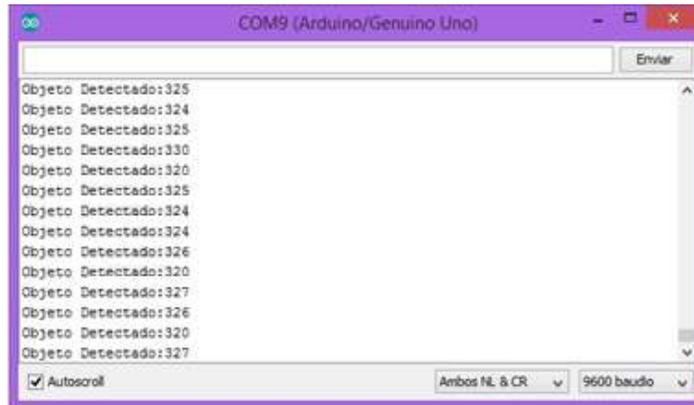
    digitalWrite(ledPin,ledState);
  }
}

```

A continuación, en la figura 59 muestra la salida del monitor serial cuando se acerca un objeto al sensor.



Figura 59 Lectura de serial al acercar un objeto

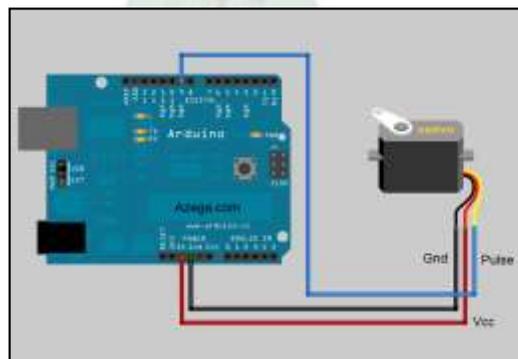


Fuente: Elaboración propia

2.5. Análisis electrónico de la fresadora

La parte electrónica de la fresadora es dependiente del scanner, por lo que los motores paso a paso que generan movimientos en el eje X y están conectados en paralelo a los motores del scanner. El servo motor que otorga movimiento al eje Y de la fresadora se encuentra controlado por el Arduino del sensor Sharp. El servomotor tiene un cable de datos amarillo, pero en lugar de conectarlo al pin analógico, se conecta a un pin digital, como se observa en la Figura 60.

Figura 60 Conexión del servomotor al Arduino



Fuente: (Thunderwiring, s.f.)

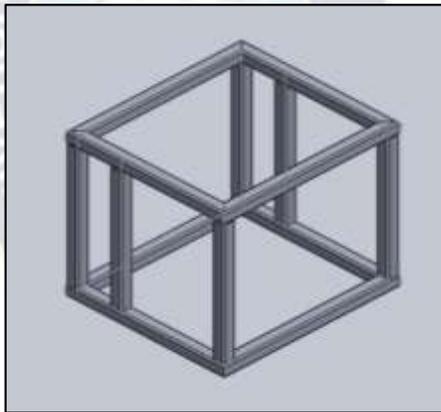
CAPÍTULO III

MANUFACTURA

El chasis de la fresadora y el scanner son de aluminio por ser un metal ligero y de buena resistencia adecuado para soportar los esfuerzos y cargas que se producen en la estructura, lo cual que se pudo comprobar en las pruebas.

En la Figura 61 se puede observar la forma cúbica que le brinda mayor estabilidad y rigidez.

Figura 61 Chasis de máquina fresadora y scanner



Fuente: Elaboración propia

3.1. Proceso de montaje para la fresadora

Para realizar el montaje se debe tener todas las piezas a mano y de una forma ordenada para facilitar el proceso.

Dichos procesos se ilustran en las Figuras 62 al 67.

Los pasos a seguir para el eje Y son los siguientes:

- 1 Ensamble de bujes de bronce a carro móvil.
- 2 Inserción de las guías a través del carro móvil.
- 3 Colocado de asientos de guía y sujeción al chasis.
- 4 Atravesar el tornillo de avance al carro móvil.
- 5 Sujeción del tornillo de avance al chasis con los asientos de rodamiento.
- 6 Instalación del acople de motor a tornillo de avance.
- 7 Montaje del motor paso a paso.
- 8 Sujeción del motor al chasis.
- 9 Sujeción de la tuerca del tornillo de avance con carro deslizante.
- 10 Sujeción de la mesa de trabajo al carro móvil con sus conjuntos tornillo, arandela y tuerca.

Los pasos a seguir para el eje X son los siguientes:

- 1 Ensamble de los bujes de bronce a carro móvil.
- 2 Inserción de las guías a través del carro móvil.
- 3 Colocado asientos de guía y sujeción al chasis.
- 4 Atravesar el tornillo de avance al carro móvil.
- 5 Sujeción del tornillo de avance al chasis con los asientos de rodamiento.
- 6 Instalación del acople de motor paso a paso a tornillo de avance.
- 7 Montaje del motor paso a paso.
- 8 Sujeción del motor al chasis.
- 9 Sujeción de la tuerca del tornillo de avance con carro deslizante.

Los pasos a seguir para el eje Z son los siguientes:

- 1 Ensamble de bujes de bronce a carro móvil.
- 2 Inserción de las guías a través del carro móvil.
- 3 Colocado de asientos de guía y sujetar al chasis.
- 4 Atravesar el tornillo de avance al carro móvil.

- 5 Sujeción del tornillo de avance a su respectiva base.
- 6 Instalación del acople de servomotor al tornillo de avance.
- 7 Montaje del servomotor.
- 8 Sujeción del servomotor a su base.
- 9 Montaje del porta herramienta B con su respectivo perno, tuerca y arandela.
- 10 Montaje el motor de fresado.
- 11 Sujeción del motor de fresado con el porta herramienta A, con su respectivo perno, tuerca y arandela.

Figura 62 Ensamble del carro móvil eje Y



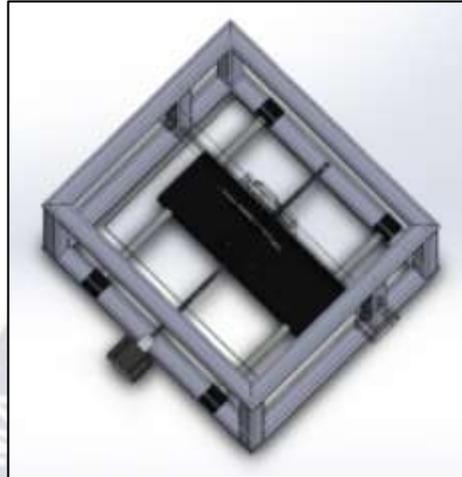
Fuente: Elaboración propia

Figura 63 Montaje de motor paso a paso



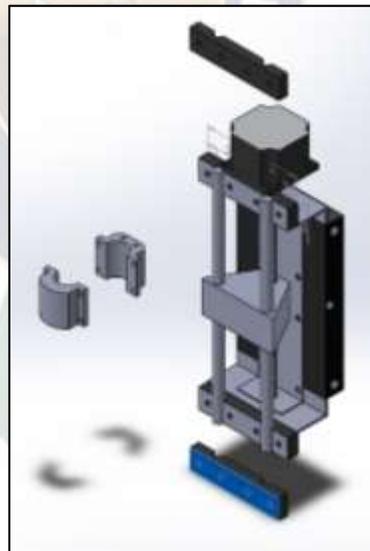
Fuente: Elaboración propia

Figura 64 Colocado asientos de guía y sujeción al chasis.



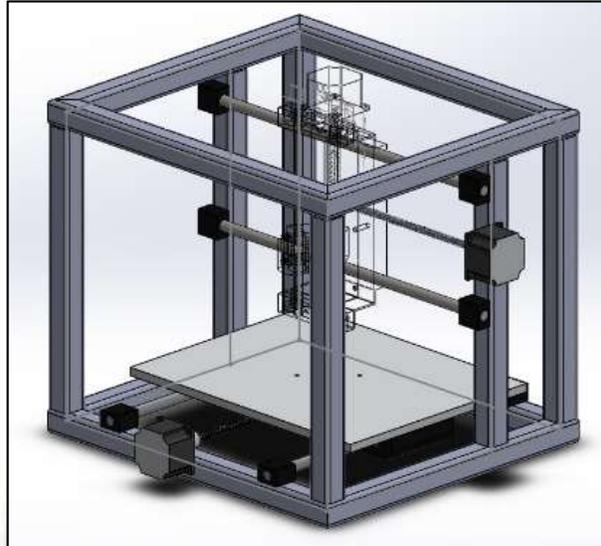
Fuente: Elaboración propia

Figura 65 Ensamble de eje Z



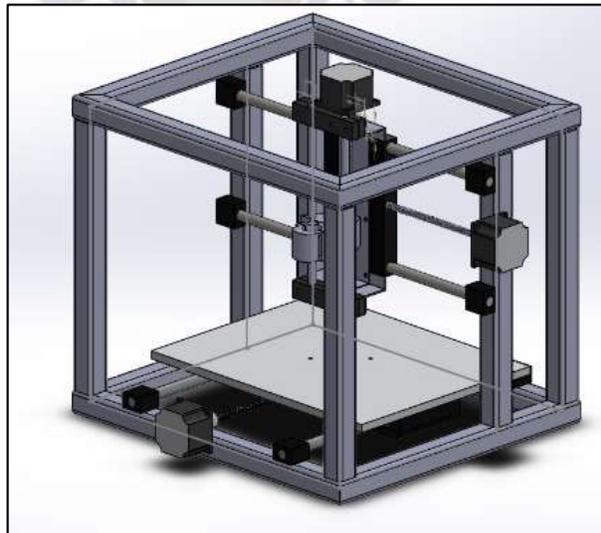
Fuente: Elaboración propia

Figura 66 Ensamble eje X



Fuente: Elaboración propia

Figura 67 Ensamble terminado



Fuente: Elaboración propia

3.2. Proceso de montaje del Scanner

Los procesos se encuentran ilustrados de la Figuras 68 al 72.

Teniendo las piezas necesarias se procede a seguir los siguientes pasos para el eje Y:

- 1 Ensamble de bujes de bronce a carro móvil.
- 2 Inserción las guías a través del carro móvil.
- 3 Colocado de asientos de guía y sujeción al chasis.
- 4 Atravesar el tornillo de avance al carro móvil.
- 5 Sujeción del tornillo de avance al chasis con sus asientos de rodamiento.
- 6 Instalación del acople de motor a tornillo de avance.
- 7 Montaje del motor paso a paso.
- 8 Sujeción del motor al chasis.
- 9 Sujeción de la tuerca de tornillo de avance con carro deslizante.
- 10 Sujeción de la mesa de trabajo al carro móvil con sus conjuntos tornillo, arandela y tuerca.

Los pasos a seguir para el eje X son los siguientes:

- 1 Ensamble de bujes de bronce a carro móvil.
- 2 Inserción las guías a través del carro móvil.
- 3 Colocado de asientos de guía y sujeción al chasis.
- 4 Atravesar el tornillo de avance al carro móvil.
- 5 Sujeción del tornillo de avance al chasis con sus asientos de rodamiento.
- 6 Instalación del acople de motor paso a paso a tornillo de avance.
- 7 Montaje del motor paso a paso.
- 8 Sujeción del motor al chasis.
- 9 Sujeción de la tuerca de tornillo de avance con carro deslizante.

Los pasos a seguir para el eje Z son los siguientes:

1 Instalación de base de sensor con su respectivo perno, tuerca y arandela.

Una vez concluido el montaje mecánico de la fresa y el scanner, se procede al montaje electrónico:

1 Instalación de los conectores de motores paso X.

2 Instalación los conectores de motores paso Y.

3 Instalación los conectores del servomotor Z.

4 Instalación sensor de scanner y su respectivo conector.

5 Instalación finales de carrera para los ejes X, Y.

6 Armado del sistema de control como se muestra en el Anexo 5.

7 Conexión del ramal de cables al sistema de control Scanner-Fresadora.

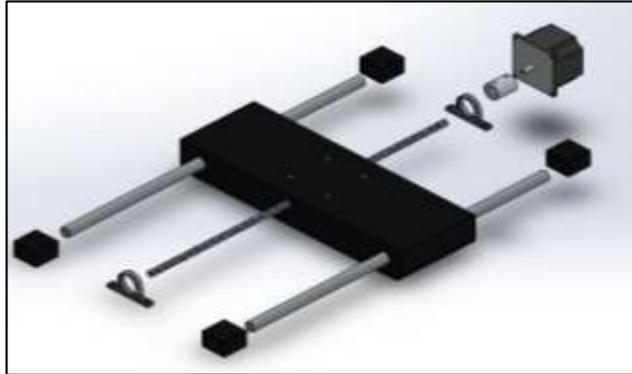
8 Conexión del sistema de control a la fuente de alimentación.

Figura 68 Ensamble del carro móvil eje Y



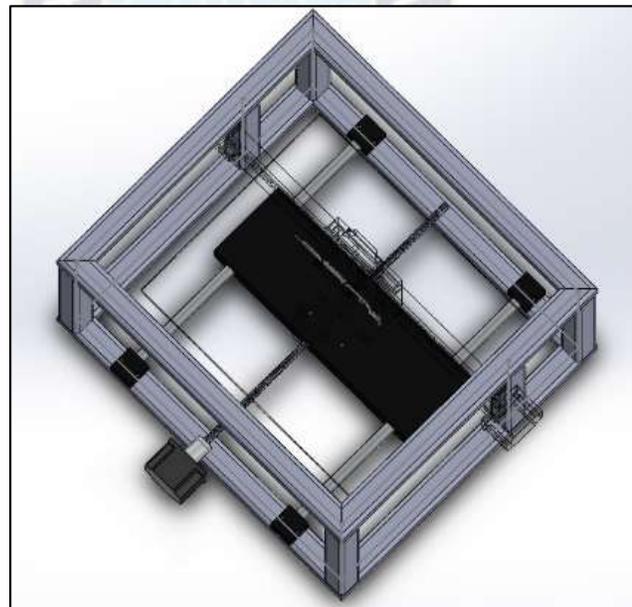
Fuente: Elaboración propia

Figura 69 Montaje de motor paso a paso



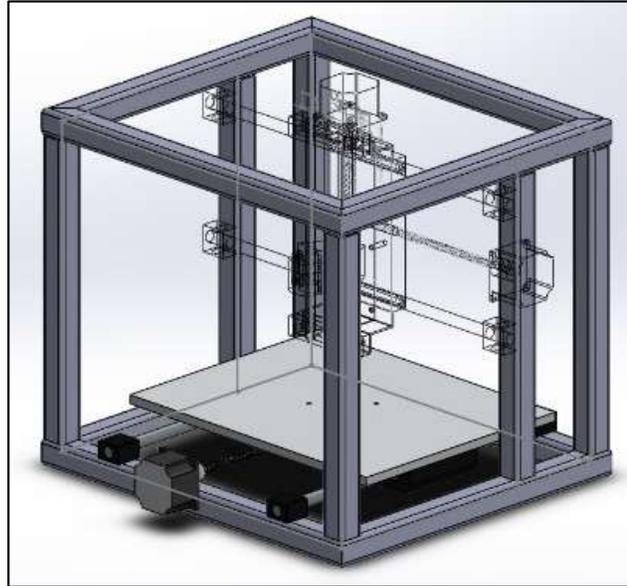
Fuente: Elaboración propia

Figura 70 Colocado asientos de guía y sujeción al chasis.



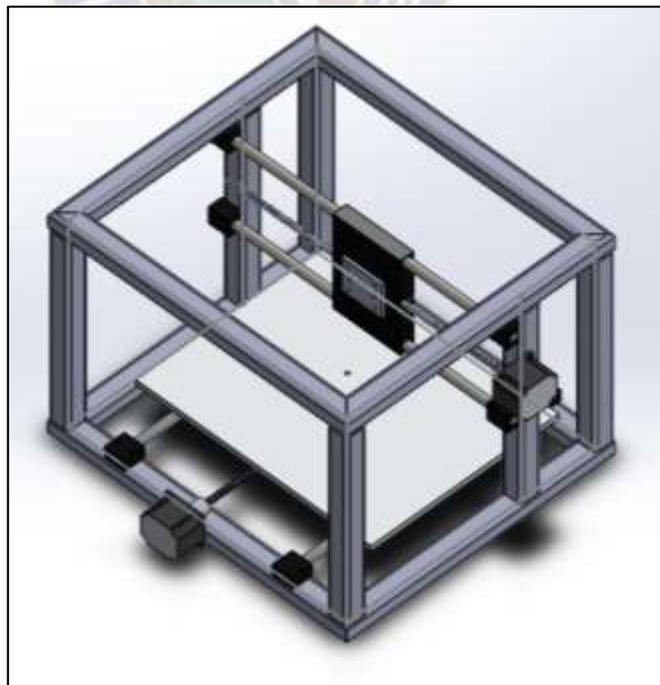
Fuente: Elaboración propia

Figura 71 Ensamblaje eje Y



Fuente: Elaboración propia

Figura 72 Scanner terminado



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para el correcto funcionamiento del scanner y la fresadora estas deben ser operadas de manera adecuada y debe realizarse un mantenimiento regular para evitar el deterioro prematuro de las máquinas.

4.1. Operación

Terminado el ensamblaje de todo el sistema mecánico y electrónico, se verifica que el sensor y la fresadora se encuentren en los puntos de inicio de trabajo. Se acomoda la pieza a escanear sobre la mesa de trabajo del scanner, se regula el área de trabajo moviendo los finales de carrera. Instalar el bloque de yeso a la mesa de trabajo debidamente sujetado y alineada al punto de origen del scanner. Instalar fresa de corte adecuada al trabajo en el motor de fresado

En el tablero de control se elige “copia igual” o “copia simétrica”. Se calibra la velocidad de avance de la fresadora y se regula la velocidad de corte requerida.

Una vez realizado todos los pasos anteriores se procede a conectar la fuente de alimentación a la toma de corriente, se presiona “Ejecutar” en el tablero de control.

A pesar de que el proceso es totalmente automático, el operador debe supervisar el funcionamiento, en caso de cualquier evento inesperado presionar “Parar” para detener la máquina.

Concluido el trabajo de copiado se retira la pieza original y la copia, se regresa los ejes al origen de coordenadas presionando “Reset” y se realiza una adecuada limpieza de la máquina.

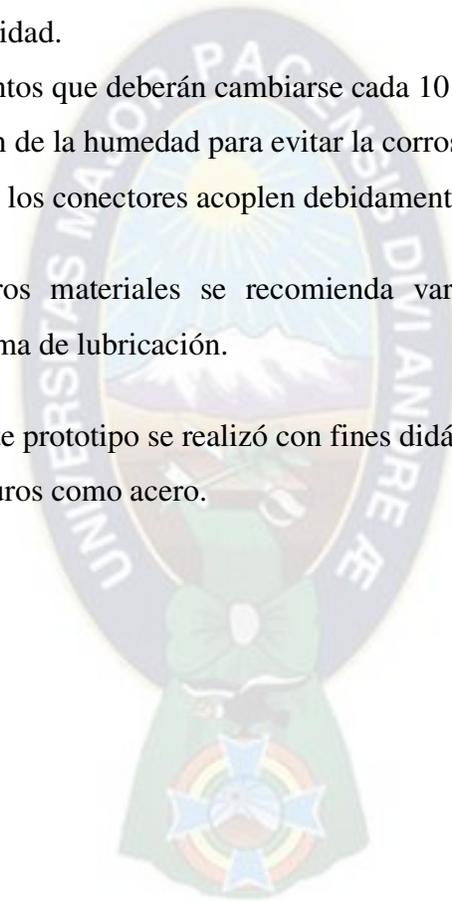
4.2. Mantenimiento

El mantenimiento de estos equipos se enfoca principalmente en:

- La lubricación de las guías y tornillos de avance de los distintos ejes, por estar sometidos a rozamiento el tipo de lubricante recomendado es ISO15 al poseer menor viscosidad.
- Los rodamientos que deberán cambiarse cada 10.000 hr. de uso.
- La protección de la humedad para evitar la corrosión.
- Verificar que los conectores acoplen debidamente, caso contrario reemplazar.

Para trabajar en otros materiales se recomienda variar la velocidad de avance e implementar un sistema de lubricación.

Considerando que este prototipo se realizó con fines didácticos, los cálculos de diseño no abarcan materiales duros como acero.



CAPÍTULO V

COSTOS

En el presente capítulo se realiza un análisis detallado de los costos que se incurrieron para la fabricación del prototipo, estos costos se dividen en:

- Tiempo de diseño y construcción.
- Materia prima, insumos e implementos utilizados.

Dentro del primer grupo se contempla el valor del trabajo de ingeniería llevado a cabo para el desarrollo del prototipo y el costo de la mano de obra necesaria para la construcción del mismo. El segundo grupo implica el costo de todas las materias primas adquiridas, equipos, herramientas y cualquier otro implemento utilizado para la construcción.

5.1. Costo de materiales

En la tabla 7 se plasma el costo de los materiales en bruto que fueron utilizados para la fabricación de la fresadora.

Tabla 7 Costo de material en bruto para la Fresadora

N	Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio Total (Bs)
1	Tubo cuadrado 30x30x6000	Barra	1	60,00	60,00
2	plancha de aluminio 280x360x10	Hoja	1	50,00	50,00
Total					110,00

Fuente: Elaboración propia

Así también, en la Tabla 8 se muestran los costos incurridos para el scanner, notando que ascienden a la misma cantidad que la fresadora puesto que ambas poseen similar diseño de chasis:

Tabla 8 Costo de material bruto para scanner

N	Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio Total (Bs)
1	Tubo cuadrado 30x30x6000	Barra	1	60,00	60,00
2	plancha de aluminio 280x360x10	Hoja	1	50,00	50,00
Total					110,00

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 9 y 10 se detalla el precio de los elementos utilizados tanto para la fabricación de la fresadora como del scanner, los mismos que fueron cotizados en el mercado local

Tabla 9 Costo de componentes especificados para fresadora

N	Componente	Unidad	Precio unitario (Bs)	Cantidad	Precio Total (Bs)
1	Motor paso a paso Nema 23	Pza.	100,00	2	200,00
2	Husillo roscada y tuerca D=8mm L=400mm	Pza.	75,00	2	150,00
3	Husillo roscada y tuerca D=11mm L=200mm	Pza.	20,00	1	20,00
4	Asentadores de rodamiento 8mm	Pza.	20,00	4	80,00
5	Acople flexible de motor paso	Pza.	10,00	2	20,00
6	Eje guía X D=14mm L=445mm	Pza.	70,00	2	140,00
7	Eje guía Y D=13mm L=400mm	Pza.	65,00	2	130,00
8	Eje guía Z D=8mm L=220mm	Pza.	35,00	2	70,00
9	Asientos de guía D=14mm	Pza.	5,00	4	20,00
10	Asientos de guía D=13mm	Pza.	5,00	4	20,00
11	Esquineros de sujeción	Pza.	3,00	8	24,00
12	Tornillo rosca Din7981 D=4 L=10mm	Pza.	0,25	52	13,00
13	Tornillo de cabeza hexagonal D=7mm L=35mm	Pza.	1,00	8	8,00
14	Controlador de motor paso a paso A 4988	Pza.	30,00	2	60,00
15	Fresadora PT1406-135W	Pza.	200,00	1	200,00
16	Protoboard	Pza.	35,00	1	35,00
17	Conector cuádruple de 1 línea	Pza.	6,00	3	18,00

18	Placa Arduino Nano	Pza.	45,00	1	45,00
19	Cable 4 líneas	metro	2,00	3	6,00
20	Switch de 3 terminales	Pza.	2,00	2	4,00
21	Fuente ATX 500w	Pza.	150,00	1	150,00
22	Servomotor mg995	Pza.	65,00	1	65,00
23	Sujetadores para mesa de trabajo	Pza.	10,00	4	40,00
24	Bujes de bronce de 13mm	Pza.	2,00	4	8,00
25	Bujes de bronce de 8mm	Pza.	1,00	4	4,00
26	Bujes de bronce 14mm	Pza.	2,00	4	8,00
27	Estaño	Gr	0,10	100	10,00
Total				224	1.548,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Costos de componentes especificados para Scanner

N	Detalle	Unidad	Precio unitario (Bs)	Cantidad	Precio Total (Bs)
1	Motor paso a paso Nema 23	Pza.	100,00	2	200,00
2	Husillo roscada y tuerca D=8mm L=400mm	Pza.	75,00	2	150,00
3	Sensor Sharp	Pza.	110,00	1	110,00
4	Asentadores de rodamiento 8mm	Pza.	20,00	4	80,00
5	Acople flexible de motor paso	Pza.	10,00	2	20,00
6	Eje guía X D=14mm L=445mm	Pza.	40,00	2	80,00
7	Eje guía Y D=13mm L=400mm	Pza.	35,00	2	70,00
8	Potenciómetro 100K lineal	Pza.	5,00	1	5,00
9	Asientos de guía D=14mm	Pza.	5,00	4	20,00
10	Asientos de guía D=13mm	Pza.	5,00	4	20,00
11	Esquineros de sujeción	Pza.	3,00	8	24,00
12	Tornillo rosca Din7981 D=4 L=10mm	Pza.	0,25	52	13,00
13	Tornillo de cabeza hexagonal D=7mm L=35mm	Pza.	1,00	8	8,00
14	Controlador de motor paso a paso A 4988	Pza.	30,00	2	60,00
15	Fresadora PT1406-135W	Pza.	200,00	1	200,00
16	Protoboard	Pza.	35,00	1	35,00
17	Conector cuádruple de 1 línea	Pza.	6,00	3	18,00
18	Placa Arduino Nano	Pza.	45,00	1	45,00

19	Cable 4 líneas	Metro	2,00	3	6,00
20	Switch de 3 terminales	Pza.	2,00	2	4,00
21	Bujes de bronce de 13mm	Pza.	2,00	4	8,00
22	Bujes de bronce 14mm	Pza.	2,00	4	8,00
23	Fuente ATX 500w	Pza.	150,00	1	150,00
24	Estaño	Gr	0,10	100	10,00
Total				214	1.344,00

Fuente: Elaboración propia

5.2. Costos de fabricación y montaje

Entre estos costos se incluye la mano de obra brindada por técnicos torneros y electromecánicos, también el costo de alquiler de las máquinas herramientas.

En la Tabla 11 se muestra el salario proporcionado al personal requerido:

Tabla 11 Costo de mano de obra para Fabricación y montaje del prototipo

Código	Mano de obra	Salario (Bs/mes)	Salario (Bs/h)
TST	Técnico superior tornero	3,500	18,25
TSE	Técnico Superior electromecánico	3,500	18,25
Total		8,000	36,50

Fuente: Elaboración propia

Los costos de máquinas y herramientas se desglosan en la tabla 12, donde los costos fueron promediados de cotizaciones realizadas en distintos talleres de la ciudad de El Alto.

Tabla 12 Costo de herramientas para Fresadora y Scanner

N	Máquina-herramientas	Costo (Bs/h)	Costo (Bs/min)
1	Taladro de banco	20,00	0,33
2	Torno	20,00	0,33
3	Sierra de ingletes	20,00	0,33
4	Kit de tarrajas	10,00	0,17

5	Herramientas de taller	2,00	0,03
Total		72,00	1,20

Fuente: Elaboración propia

Se realizó una hoja de procesos⁶ para las piezas que fueron manufacturadas, ver anexo 5. Se utilizaron los datos proporcionados en las tablas 11 y 12, así también el aproximado de tiempo en minutos de cada operación. El resumen del costo de fabricación de las piezas se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 13 Costo de Fabricación de piezas Fresadora y scanner

N	Pieza	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Precio Total (Bs)
1	Chasis de Fresadora	79,50	1	79,50
2	Porta herramienta A, fresadora	34,30	1	34,30
3	Porta herramienta B, fresadora	20,30	1	20,30
4	Acople servomotor, fresadora	20,20	1	20,20
5	Soporte husillo, fresadora	18,40	1	18,40
6	Base de guías, fresadoras	14,80	2	29,60
7	Carro deslizante fresadora Eje X	17,30	1	17,30
8	Carro deslizante fresadora Eje Y	20,30	1	20,30
9	Mesa de trabajo	31,50	1	31,50
10	Chasis de Scanner	79,50	1	79,50
11	Carro deslizante scanner Eje X	17,30	1	17,30
12	Carro deslizante scanner Eje Y	20,30	1	20,30
13	Soporte sensor de scanner	9,50	1	9,50
TOTAL			14	398,00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14, se observa el resumen de montaje para el prototipo: fresadora y scanner

⁶ Una hoja de proceso es una planilla en la cual se detalla el proceso de fabricación de una pieza; las herramientas utilizadas, el tiempo aproximado que demora el proceso, el costo del material requerido como el costo de la mano de obra de acuerdo al tipo profesional que realice el trabajo.

Tabla 14 Costo de montaje del prototipo

N	Detalle	Tiempo de ensamblaje (min)	Total (Bs)
1	Chasis de Fresadora	150	45,60
2	Subsistema soporte eje carro deslizante para desplazamiento en eje X para fresadora	25	7,60
3	Subsistema soporte tornillo de avance motor paso a paso para movimiento en eje X para fresadora	20	6,10
4	Subsistema soporte eje carro deslizante para desplazamiento eje Y para fresadora	25	7,60
5	Subsistema soporte tornillo de avance motor paso a paso para movimiento en eje Y para fresadora	20	6,10
6	Subsistema soporte eje carro deslizante para desplazamiento eje z para fresadora	25	7,60
7	Subsistema soporte tornillo de avance motor paso a paso para movimiento en eje Z para fresadora	20	6,10
8	Subsistema de soporte de sujeción para fresadora	10	3,00
9	Sistema fresadora	50	15,20
10	Chasis de Scanner	150	45,60
11	Subsistema soporte eje carro deslizante para desplazamiento en X, scanner	25	7,60
12	Subsistema soporte tornillo de avance motor paso a paso para movimiento en X, scanner	20	6,10
13	Subsistema soporte eje carro deslizante para desplazamiento eje Y, scanner	25	7,60
14	Subsistema soporte tornillo de avance motor paso a paso para movimiento en Y, scanner	20	6,10
15	Sistema y calibración de sensor	50	15,20
Total		635	193,10

Fuente: Elaboración propia

5.3. Precio

El precio real del equipo se sujeta al costo de ingeniería y los costos que se obtuvieron anteriormente como se muestra en la Tabla 15, más la utilidad esperada del 25% y los porcentajes que refieren a los impuestos IVA e IT:

Tabla 15 Resumen de costos

N	Detalle	Costo (Bs)
1	Costo de materiales en bruto	220,00
2	Costo de componentes especificados (fresadora y scanner)	2.892,00
3	Costo de ingeniería y fabricación de piezas	4.397,50
4	Costo de montaje	193,00
	TOTAL	7.702,50

IVA de costos 1 y 2	404,56
Costo total	7.297,94
Utilidad de 25%	1.824,49
Precio= (Costo + Utilidad) *1,191875	10.872,79

De esta manera, el precio de venta para este prototipo asciende a Bs 10.873.-

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN

6.1. Evaluación técnica

El presente Proyecto se enfocó en realizar el copiado de las piezas en yeso; pese a esto la máquina no se limita a trabajar sólo con yeso, sino que es capaz de trabajar con distintos materiales como: madera, plástico y metales blandos.

En el proceso de elección de componentes, ensamblaje y pruebas dinámicas, se pudo evidenciar que los cálculos realizados eran adecuados para dicho diseño por lo que el prototipo funciona correctamente siempre y cuando se trabaje dentro de sus capacidades.

Se realizaron tres pruebas con un guiñador lateral, tal pieza de dimensiones (5x7x2) cm y de material plástico translúcido, como se muestra en la figura 73, por lo cual se optó por cubrir con una delgada capa de crema oscura sobre ella dado que el sensor Sharp trabaja mejor con materiales de color sólido no brillosos.

Figura 73 Pieza de prueba



Fuente: Elaboración propia

Figura 74 Molde de yeso



Fuente: Elaboración propia

Se preparó una mezcla de yeso en un molde adecuado para las dimensiones de la pieza Al secar el yeso (Figura 74) se dio inicio al proceso de copiado.

Figura 75 Guiñador lateral escaneado



Fuente: Elaboración propia

En la figura 75 se observa el guiñador lateral de un auto siendo escaneada y en la Figura 76 se pueden observar como la fresadora realiza el trabajo de mecanizado en el molde de yeso.

Figura 76 Proceso de copiado



Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Moldes de la pieza escaneada resultantes de las pruebas

RESULTADOS			
TIEMPO (min)	129	127	127
MEDIDAS (mm)	33x59x8	32x59x6	30x58x7

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 16; el tiempo de trabajo no varía significativamente, el error entre pruebas se encuentra entre los 1 y 3mm.

6.2. Evaluación económica

La tabla 17 muestra la lista de escáneres e impresoras 3D que son cotizadas en el mercado internacional según All3DP [2], las cuales comparadas con la máquina presentada (Ver Tabla 18) reflejan que el Proyecto es factible.

Tabla 17 Lista de escáneres e impresoras 3D cotizadas en el mercado internacional

Producto	Tipo	Tecnología	Precio de mercado (Bs)	Sistema operativo
 Escáner 3D IIIDScan de PrimeSense	Escáner 3D de escritorio	Luz estructurada	10.030,00	IIIDScan
 Escáner 3D HD NextEngine	Escáner 3D de escritorio	Triangulación láser	17.650,00	Next Engine
 EinScan Pro/Pro + de Shining3D	Escáner 3D portátil	Tecnología de escaneo 3D de luz blanca	36.185,00	Shining3D
 Ciclop de BQ	Escáner 3D DIY (en kit)	Triangulación láser	1.670,00	Ciclop de BQ
 Zeus de AIO Robotics	Escáner e impresora 3D	Triangulación láser	17.539,00	Zeus de AIO Robotics
 David SLS-2	Escáner 3D de escritorio	Luz estructurada	17.400,00	Windows Vista

Fuente: (All3DP, 2018)

Tabla 18 Especificaciones de la máquina fabricada

Producto	Tipo	Tecnología	Precio de mercado (Bs)	Sistema operativo
	Escáner e impresora 3D	Triangulación laser	10.873	-

Fuente: Elaboración propia

El prototipo presentado en este Proyecto presenta un menor precio y mayor rapidez pues la velocidad no está limitada por el tiempo de adherencia del plástico de impresión como ocurre en las impresoras 3D, por lo cual el copiado es directo y no es necesario hacer un pre diseño en computadora para replicar la pieza.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

A partir de todo el trabajo realizado y como resultado de las diferentes etapas en las que se llevó a cabo la ejecución del mismo, se concluye lo siguiente:

- Los alcances del Proyecto fueron detallados y se desarrolló el fundamento teórico.
- El diseño y la construcción del prototipo copiador electromecánico 3d, para moldes en yeso de autopartes de plástico, fue realizado de manera satisfactoria.
- Los elementos mecánicos y electromecánicos diseñados operan de forma adecuada entre el scanner y la fresadora, lo que hizo posible el copiado.
- Los procesos de fabricación de las piezas del prototipo fueron detallados en sus respectivas hojas de procesos.
- La guía de ensamblaje elaborada permitió el correcto armado del prototipo, el de operación y mantenimiento orientan al operario en cuanto al correcto funcionamiento del mismo y se especifican acciones que evitan un deterioro prematuro.
- El precio obtenido de Bs 10.873.- refleja la factibilidad económica del Proyecto, considerando que al utilizar piezas recicladas este se reduciría considerablemente.
- Las pruebas realizadas muestran que el prototipo logra replicar una pieza de automóvil en yeso, copiándolo igual o simétrico con un error no mayor a 3 mm.

7.2. Recomendaciones

Con el objeto de mejorar el desempeño de la máquina y contribuir a la realización de otros proyectos se recomienda lo siguiente:

- Implementar nuevos tipos de comunicación inalámbrica entre el scanner y la fresadora.
- Estudiar alternativas para un trabajo directo en resina y fibra de vidrio con el objeto de prescindir del molde.
- Utilizar sensores de mayor precisión capaces de trabajar con elementos translucidos.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] All3DP. (2018). Obtenido de escaner-3d: <https://all3dp.com/es/1/escaner-3d-portatil-aplicacion-software-3d-scanner/#escaner-3d-iiidscan-de-primense>
- [2] All3dp. (s.f.). *Escáner 3D: mejores 27 escáneres 3D, aplis y software 2018*. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/escaner-3d-portatil-aplicacion-software-3d-scanner/>
- [3] Bueno Saber. (2017). *3D laser historia scanner*. <http://bueno-saber.com/computadoras/escaneres/3d-laser-historia-escaner.php>.
- [4] Canto, C. (2017). *Electronica de Microcontroladores*. Obtenido de http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/2_INTROD
- [5] Carletti, E. (2016). *Motores paso a paso*. Obtenido de características básicas: https://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.html
- [6] CCM. (noviembre de 2017). *Lenguajes de programación*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/304-lenguajes-de-programación>
- [7] Electroniclab. (s.f.). *Electroniclab*. Obtenido de Arduino nano: <https://electronilab.co/tienda/arduino-nano-v3-atmega328-5v-cable-usb/>
- [8] JOSSOFT. (2015). Obtenido de [WWW,JOSSOFT.COM.AR](http://WWW.JOSSOFT.COM.AR)
- [9] Junta de Andalucía. (s.f.). *Motores de corriente continua*. Obtenido de <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/motores%20de%20corriente%20continua.html>
- [10] Mechatronics. (s.f.). Obtenido de Sensor de distancia: http://www.naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html
- [11] Meza. (s.f.). *Arquitectura de placas Arduino*. Obtenido de Arquitectura de placas Arduino: <http://arquitecturaplacasarduinomeza.blogspot.com/>
- [12] Monografias.com. (2017). *Motores paso a paso*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos17/motor-paso-a-paso/motor-paso-a>

- [13] Naylamp Mechatronics. (s.f.). Obtenido de tutorial de sensor de distancia: http://www.naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html
- [14] Stace, k. (22 de septiembre de 2015). *clasificación de micro controladores*. Obtenido de <https://prezi.com/m/cb7a5mqkkgrx/clasificacion-de-microcontroladores/>
- [15] Thunderwiring. (s.f.). Obtenido de Arduino, servo motor y sensor: <https://thunderwiring.wordpress.com/arduino-servo-and-ir-sensor/>
- [16] Todorobot. (2016). *Tutorial motores de paso*. Obtenido de <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.html>
- [17] Vega, P. (Diciembre de 2011). *Partes fundamentales de un motor eléctrico*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-2-1-rotor>
- [18] wikipedia. (2016). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Yeso>
- [19] Wikipedia. (2017). *Fresadora*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Fresadora_de_control_num%C3%A9rico
- [20] Wikipedia enciclopedia libre. (2016). *Historia de las fresadoras*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Control_num%C3%A9rico
- [21] Wikipedia enciclopedia libre. (2016). *Tipos de fresas*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Control_num%C3%A9rico

ANEXOS

1 Tabla de densidades

CUERPOS A GRANEL	
tierra seca	1.330 kg/m ³
tierra húmeda	1.800 kg/m ³
tierra saturada	2.100 kg/m ³
arena seca	1.600 kg/m ³
arena húmeda	1.860 kg/m ³
arena saturada	2.100 kg/m ³
gravilla o canto rodado secos	1.700 kg/m ³
gravilla o canto rodado húmedos	2.000 kg/m ³
pedra partida	1.700 kg/m ³
Cemento	1.400 kg/m ³
polvo ladrillo	900 kg/m ³
Yeso	970 kg/m ³
PIEDRAS NATURALES	
granito, siena, pórfido	2.800 kg/m ³
Basalto	3.000 kg/m ³
mármol, pizarra	2.700 kg/m ³
pedra caliza compacta	2.500 kg/m ³
pedra caliza porosa	2.000 kg/m ³
MAMPOSTERIAS	
ladrillos comunes con mezcla de cal	1.600 kg/m ³
ladrillos comunes con mezcla de cemento	1.800 kg/m ³
ladrillos huecos con mezcla de cal	1.300 kg/m ³
ladrillos huecos con mezcla de cemento	1.500 kg/m ³
ladrillos de maquina (O.S.N.)con mezcla de cal	2.000 kg/m ³
ladrillos de maquina (O.S.N.)con mezcla de cemento	2.200 kg/m ³
ladrillos prensados con mezcla de cal	1.900 kg/m ³
ladrillos prensados con mezcla de cemento	2.100 kg/m ³
tabiques de escoria, carbonilla, etc. Empastados con cemento	1.300 kg/m ³
ladrillos refractarios	2.700 kg/m ³
Mármol	2.500 kg/m ³
pedra caliza	2.300 kg/m ³
Granito	2.600 kg/m ³
pedra artificial	2.100 kg/m ³
MEZCLAS	
cemento y arena	2.100 kg/m ³
cemento, cal y arena	1.900 kg/m ³
cal y arena	1.700 kg/m ³
cal, arena y polvo de ladrillos	1.600 kg/m ³
yeso fundido	1.000 kg/m ³
HORMIGONES	
De cemento, arena, canto rodado, pedra partida o granza granítica. Sin armar	2.200 kg/m ³

(JOSSOFT, 2015)

2 Tabla de coeficientes de rozamiento

Tablas de valores de los coeficientes

- Coeficientes de rozamiento cinético para diferentes materiales

Superficies en contacto	Coefficiente dinámico μ
Acero sobre acero	0.18
Acero sobre hielo (patines)	0.02-0.03
Acero sobre hierro	0.19
Hielo sobre hielo	0.028
Patines de madera sobre hielo y nieve	0.035
Goma (neumático) sobre terreno firme	0.4-0.6
Correa de cuero (seca) sobre metal	0.56
Bronce sobre bronce	0.2
Bronce sobre acero	0.18
Roble sobre roble en la dirección de la fibra	0.48

3 Propiedades de algunos materiales

Tabla B-3 Propiedades mecánicas de algunos aceros al carbón
 Datos de varias fuentes.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes para información más precisa

Número SAE/AISI	Condición	Resistencia a la cedencia a tensión (2% de deformación)		Resistencia a la última tensión		Alargamiento mayor de 2 pulg %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1010	Rolado en caliente	26	179	47	324	28	95
	Laminado en frío	44	303	53	365	20	105
1020	Rolado en caliente	30	207	55	379	25	111
	Laminado en frío	57	393	68	469	15	131
1030	Rolado en caliente	38	259	68	469	20	137
	Normalizado @ 1 650°F	50	345	75	517	32	149
	Laminado en frío	64	441	76	524	12	149
	Q&T @ 1 000°F	75	517	97	669	28	255
	Q&T @ 800°F	84	579	106	731	23	302
1035	Q&T @ 400°F	94	648	123	848	17	495
	Rolado en caliente	40	276	72	496	18	143
	Laminado en frío	67	462	80	552	12	163
	Rolado en caliente	42	290	76	524	18	149
	Normalizado @ 1 650°F	54	372	85	593	28	170
1040	Laminado en frío	71	490	85	586	12	170
	Q&T @ 1 200°F	63	434	92	634	29	192
	Q&T @ 800°F	80	552	110	758	21	241
	Q&T @ 400°F	86	593	113	779	19	262
	Rolado en caliente	45	310	82	565	16	163
1045	Laminado en frío	77	531	91	627	12	179
	Rolado en caliente	50	345	90	621	15	179
	Normalizado a 1 650°F	62	427	108	745	20	217
	Laminado en frío	84	579	100	689	10	197
	Q&T @ 1 200°F	78	538	104	717	28	235
1050	Q&T @ 800°F	115	793	158	1 089	13	444
	Q&T @ 400°F	117	807	163	1 124	9	514
	Rolado en caliente	54	372	98	676	12	200
	Normalizado @ 1 650°F	61	421	112	772	18	229
	Q&T @ 1 200°F	76	524	116	800	23	229
1060	Q&T @ 1 000°F	97	669	140	965	17	277
	Q&T @ 800°F	111	765	156	1 076	14	311
	Rolado en caliente	66	455	120	827	10	248
	Normalizado @ 1 650°F	72	496	147	1 014	9	13
	Q&T @ 1 200°F	80	552	130	896	21	269
1095	Q&T @ 800°F	112	772	176	1 213	12	363
	Q&T @ 600°F	118	814	183	1 262	10	375

4 Tabla de Pugsley

$$n_s = n_{xx} * n_{yy}$$

N_{xx} : Factor de seguridad que involucran características A, B, C

N_{yy} : Factor de seguridad que involucran características D y E

A: Calidad del material

B: Control sobre la carga aplicada

C: Exactitud del análisis del esfuerzo

D: Peligro para el operario

E: Impacto económico

Característica		B				
		mb	b	r	p	
A=mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A=r	C=	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3.0	3.45
A=p	C=	mb	1.7	2.05	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	2.45	2.95	3.45	3.95
mb= muy bien			b= bien			
r= regular			p= pobre			

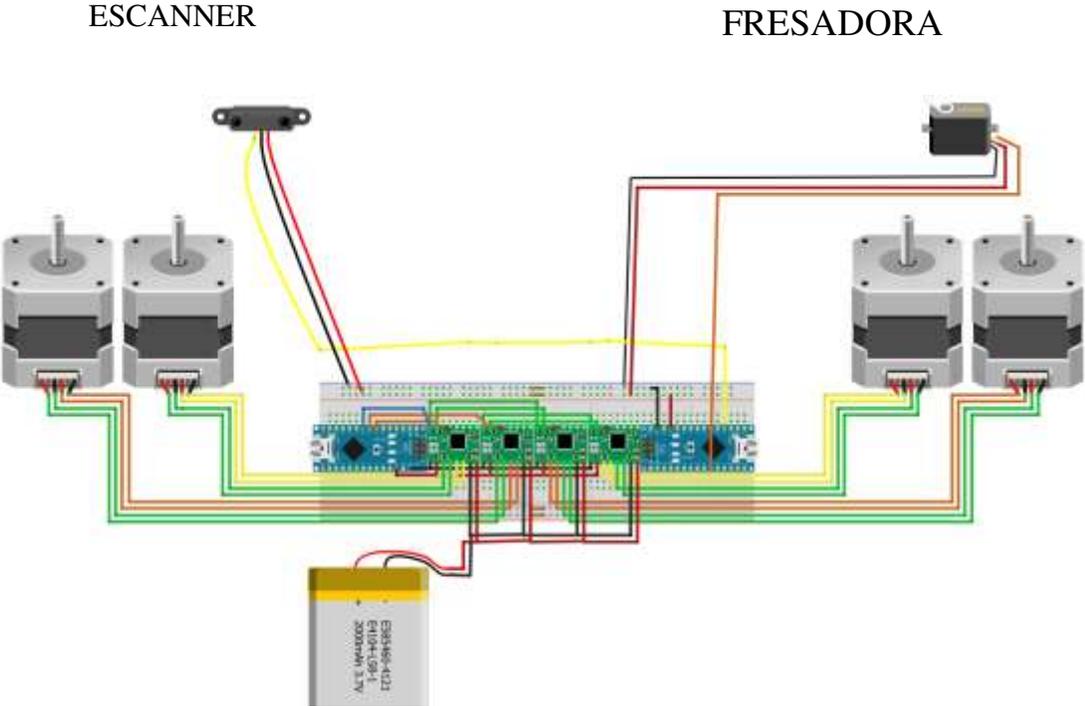
Característica		D		
		ns	s	ms
E=	ns	1.0	1.2	1.4
	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6
ms= muy serio		s= serio		ns= no serio

Para las guías:

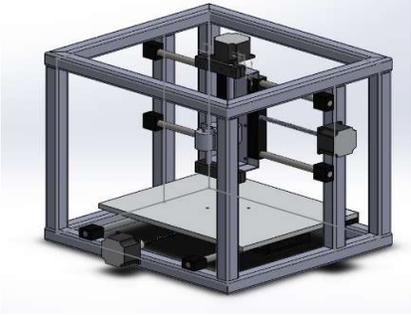
$$ns = 1,3 * 1,0$$

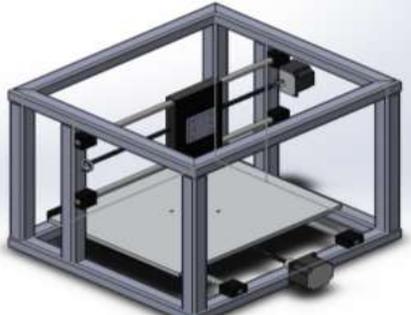
$$ns = 1,3$$

5 Sistemas de control



6 Ficha técnica

FICHA TÉCNICA						U.M.S.A.	
REALIZADO POR:						Walter Moisés Quispe Chirapa	
MÁQUINA						Fresadora	
FABRICANTE						Walter Moisés Quispe Chirapa	
MODELO							
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	7,6 kg	ALTURA	0,4 m	ANCHO	0,45 m	LARGO	0,4 m
CARATERÍSTICAS TÉCNICAS				FOTOGRAFÍA DE LA FRESADORA			
<p>Fresadora de 3 ejes Chasis de aluminio Avance por tornillo de rosca cuadrada</p>							
FUNCIÓN							
<p>La función mecánica de la fresadora es tallar el molde de yeso basando sus movimientos con la información enviada por el scanner sincronizando ambas mesas de trabajo.</p>							

FICHA TÉCNICA						U.M.S.A.	
REALIZADO POR:						Walter Moisés Quispe Chirapa	
MÁQUINA						Scanner 3D	
FABRICANTE						Walter Moisés Quispe Chirapa	
MODELO							
CARACTERÍSTICAS GENERALES							
PESO	7,2 kg	ALTURA	0,4 m	ANCHO	0,45 m	LARGO	0,4 m
CARATERÍSTICAS TÉCNICAS				FOTOGRAFÍA DEL SCANNER			
<p>Incorpora sensor Sharp Avance por tornillo de rosca cuadrada Chasis de aluminio</p>							
FUNCIÓN							
<p>La función mecánica es la de escanear la pieza a replicar e ir a la par con los movimientos del eje X y Y de la fresadora, de tal manera que la mesa de trabajo de scanner se mueva juntamente con la mesa de trabajo de la fresadora.</p>							

7 Hoja de procesos

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / FRESADORA		Elemento: Chasis					Peso Bruto (Kg) 2,78		Peso Neto (Kg) 2,78			
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico			Nº de hoja 1 de 13		Subsistema:					Material: Aluminio				
			Nº de plano: 1		Nº de piezas: 1			Costo/Kg 21,58		Costo Mat/Pieza 60,00				
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (BS/h)	Costo Mano de obra (BS/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)	Costo por pieza acumulada (Bs/h)		
1	Medir y trazar	Regla escuadra, lápiz	2	5	7	7	TST	18,23	1	2,13	0,12	2,24	Observaciones 13 cortes a 45º 52 perforaciones	
2	Cortado	Sierra de ingleses	2	8	10	10	TST	18,23	20	3,04	3,33	6,37		
3	Perforado de 3mm	Taladro de banco	2	15	17	17	TST	18,23	20	5,16	5,67	10,83		
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
Insumos			Totalización de costos											
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos				Por cada pieza		Por todas las piezas				
1						Costo de mano de obra		10,33		10,33				
2						Costo de herramienta		9,12		9,12				
3						Costo de materiales		60,00		60,00				
4						Costo de insumos y otros		-		0,00				
5						COSTO TOTAL (Bs)		79,45		79,45				
TST=Técnico Superior Tornero ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico														

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / FRESADORA			Elemento: Porta herramienta A				Peso Bruto (Kg) 0,25		Peso Neto (Kg) 0,25			
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico			Nº de hoja 2 de 13		Subsistema: Eje Z				Material: Aluminio					
			Nº de plano: 2		Nº de piezas: 1		Costo/Kg 50,00		Costo Mat/Pieza 12,50					
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (BS/h)	Costo Mano de obra (BS/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)	Costo por pieza acumulada (Bs/h)		Observaciones
1	Medir y trazar	Regla escuadra, lapiz	2	2	4	4	TST	18,23	1	1,22	0,07	1,28		Medir el cilindro a 50mm
2	Refrentado	Torno	2	5	7	7	TST	18,23	20	2,13	2,33	4,46	Ambos costados	
3	Cilindrado	Torno	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82	Hasta 80 mm de diametro	
4	Perforado de 45 mm	Torno	2	5	7	7	TST	18,23	20	2,13	2,33	4,46	Atravesar toda la pieza	
5	Cortado	Sierra mecanica	2	4	6	6	TST	18,23	2	1,82	0,20	2,02	A la mitad	
6	Perforado de 4 mm	Taladro de banco	2	7	9	9	TST	18,23	20	2,73	3,00	5,73	Todos los orificios de sujecion	
7														
8														
9														
10														
Insumos			Totalización de costos											
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos		Por cada pieza		Por todas las piezas						
1						Costo de mano de obra	11,85	11,85						
2						Costo de herramienta	9,93	9,93						
3						Costo de materiales	12,50	12,50						
4						Costo de insumos y otros	0,00	0,00						
5						COSTO TOTAL (Bs)	34,28	34,28						

TST=Técnico Superior Tornero ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / FRESADORA		Elemento: Porta Herramientas B					Peso Bruto (Kg)	Peso Neto (Kg)			
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico			Nº de hoja 3 de 13		Subsistema: Eje Z					Material: Aluminio			
				Nº de plano: 3		Nº de piezas: 1			Costo/Kg 50,00	Costo Mat/Pieza 12,50			
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (Bs/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)	Costo por pieza acumulada (Bs/h)	Observaciones
			1	Cortar	Sierra mecanica	2	4	6	6	TST	18,23	2	
2	Perforado de 4 mm	Taladro de banco	2	7	9	9	TST	18,23	20	2,73	3,00	5,73	Orificios de sujecion
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
Insumos			Totalización de costos										
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos					Por cada pieza		Por todas las piezas		
1						Costo de mano de obra			4,56		4,56		
2						Costo de herramienta			3,20		3,20		
3						Costo de materiales			12,50		12,50		
4						Costo de insumos y otros			0,00		0,00		
5						COSTO TOTAL (Bs)			20,26		20,26		

TST=Técnico Superior Tornero ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / FRESADORA		Elemento: Acople servomotor					Peso Bruto (Kg)	Peso Neto (Kg)						
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico		Nº de hoja 4 de 13		Subsistema: Eje Z					Material: Aluminio							
PROCESO		DESCRIPCION		MAQUINA HERRAMIENTA		Tiempo de preparación (min)	Tiempo de ejecución (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (Bs/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)	Costo por pieza acumulada (Bs/h)	Observaciones
						Nº de plano: 4		Nº de piezas: 1		Costo/Kg 30,00		Costo Mat/Pieza 1,50				
1	Medir y trazar	Regla escuadra, lapiz	2	2	4	4	TST	18,23	1	1,22	0,07	1,28	Medir y rayar el cilindro de aluminio			
2	Cortado	Sierra mecanica	2	2	4	4	TST	18,23	2	1,22	0,13	1,35				
3	Refrentado	Torno	2	3	5	5	TST	18,23	20	1,52	1,67	3,19	Ambos lados			
4	Cilindrado	Torno	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82	Reducir el diametro			
5	Perforacion principal	Taladro de banco, broc	2	2	4	4	TST	18,23	20	1,22	1,33	2,55	Atravesar el cilindro			
6	Perforacion para motor	Taladro de banco, broc	2	2	4	4	TST	18,23	20	1,22	1,33	2,55	Perforar 5mm			
7	Perforacion costados 2,5 mm	Taladro de banco, broc	2	2	4	4	TST	18,23	20	1,22	1,33	2,55	2 perforaciones			
8	Tarrajado de rosca 1/8"	Kit de tarrajas	2	2	4	4	TST	18,23	2	1,22	0,13	1,35	Tarrajar las perforaciones de costado			
9																
10																
Insumos				Totalización de costos												
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos		Por cada pieza		Por todas las piezas								
1						Costo de mano de obra		10,63		10,63						
2						Costo de herramienta		8,00		8,00						
3						Costo de materiales		1,50		1,50						
4						Costo de insumos y otros		0,00		0,00						
5						COSTO TOTAL (Bs)		20,13		20,13						
TST=Técnico Superior Torno ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico																

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / FRESADORA		Elemento: Soporte Husillo					Peso Bruto (Kg) 0,2		Peso Neto (Kg) 0,2			
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico			Nº de hoja 5 de 13		Subsistema: Eje Z					Material: Aluminio				
					Nº de plano: 5		Nº de piezas: 1			Costo/Kg 30,00		Costo Mat/Pieza 6,00		
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (Bs/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)	Costo por pieza acumulada (Bs/h)		Observaciones
1	Medir trazar	Regla escudra, lapiz	2	2	4	4	TST	18,23	1	1,22	0,07	1,28		
2	Cortar	Sierra mecanica	2	7	9	9	TST	18,23	2	2,73	0,30	3,03		
3	Perforado para husillo	Taladro de banco	2	2	4	4	TST	18,23	20	1,22	1,33	2,55	2 perforaciones	
4	Perforado de sujecion 5mm	Taladro de banco	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82	4 perforaciones	
5	Plegado	Prensa	2	3	5	5	TST	18,23	2	1,52	0,17	1,69	Manualmente	
6														
7														
8														
9														
10														
Insumos			Totalización de costos											
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos				Por cada pieza		Por todas las piezas				
1								Costo de mano de obra	8,51		8,51			
2								Costo de herramienta	3,87		3,87			
3								Costo de materiales	6,00		6,00			
4								Costo de insumos y otros	0		0			
5								COSTO TOTAL (Bs)	18,37		18,37			

TST=Técnico Superior Tornero ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / FRESADORA		Elemento: Base de guías					Peso Bruto (Kg)		Peso Neto (Kg)			
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico			Nº de hoja 6 de 13		Subsistema: Eje Z					Material: Aluminio				
					Nº de plano 6		Nº de piezas 2			Costo/Kg 30,00		Costo Mat/Pieza 6,00		
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (Bs/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)	Costo por pieza acumulada (Bs/h)		Observaciones
1	Medir trazar	Regla escuadra, lapiz	2	2	8	4	TST	18,23	1	2,43	0,13	2,56		
2	Cortar	Sierra mecanica	2	5	14	7	TST	18,23	2	4,25	0,47	4,72		
3	Perforado acople a soporte husillo 5mm	Taladro de banco	2	2	8	4	TST	18,23	20	2,43	2,67	5,10	2 perforaciones	
4	Perforado para soporte de guia 7mm	Taladro de banco	2	2	8	4	TST	18,23	20	2,43	2,67	5,10	2 perforaciones	
5														
6														
7														
8														
9														
10														
Insumos			Totalización de costos											
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos		Por cada pieza		Por todas las piezas						
1						Costo de mano de obra		5,77		11,55				
2						Costo de herramienta		2,97		5,93				
3						Costo de materiales		6,00		12,00				
4						Costo de insumos y otros		0,00		0,00				
5						COSTO TOTAL (Bs)		14,74		29,48				

TST=Técnico Superior Tornero ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / FRESADORA		Elemento: Carro deslizante					Peso Bruto (Kg) 0,2		Peso Neto (Kg) 0,2			
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico			Subsistema: Eje X		Material: Aluminio									
			Nº de hoja 7 de 13		Nº de plano: 7		Nº de piezas: 1		Costo/Kg 30,00		Costo Mat/Pieza 6,00			
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (Bs/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)	Costo por pieza acumulada (Bs/h)		Observaciones
1	Medir y trazar	Regla escuadra , lapiz	2	3	5	5	TST	18,23	1	1,52	0,08	1,60		
2	Cortar	Sierra mecanica	2	4	6	6	TST	18,23	2	1,82	0,20	2,02		
3	Perforar 17 mm	Taladro de banca	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82		
4	Perforacion para husillo 10mm	Taladro de banca	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82	de lado a lado	
5														
6														
7														
8														
9														
10														
Insumos			Totalización de costos											
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos				Por cada pieza		Por todas las piezas				
1								Costo de mano de obra		6,99				
2								Costo de herramienta		4,28				
3								Costo de materiales		6,00				
4								Costo de insumos y otros		0,00				
5								COSTO TOTAL (Bs)		17,27				

TST=Técnico Superior Torno ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / FRESADORA		Elemento: Carro deslizante					Peso Bruto (Kg) 0,3		Peso Neto (Kg) 0,3		
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico			Nº de hoja 8 de 13		Subsistema: Eje Y					Material: Aluminio			
			Nº de plano: 8		Nº de piezas: 1			Costo/Kg 30,00		Costo Mat/Pieza 9,00			
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (Bs/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)	Costo por pieza acumulada (Bs/h)	
			Observaciones										
1	Medir y trazar	Regla escuadra , lapiz	2	3	5	5	TST	18,23	1	1,52	0,08	1,60	
2	Cortar	Sierra mecanica	2	4	6	6	TST	18,23	2	1,82	0,20	2,02	
3	Perforar 16 mm	Taladro de banca	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82	
4	Perforacion para husillo 10mm	Taladro de banca	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82	
5													
6													
7													
8													
9													
10													
Insumos			Totalización de costos										
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos				Por cada pieza		Por todas las piezas			
1								Costo de mano de obra		6,99			
2								Costo de herramienta		4,28			
3								Costo de materiales		9,00			
4								Costo de insumos y otros		0,00			
5								COSTO TOTAL (Bs)		20,27			

TST=Técnico Superior Torno ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / FRESADORA		Elemento: Mesa de trabajo					Peso Bruto (Kg)		Peso Neto (Kg)			
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico			Nº de hoja 9 de 13		Subsistema: Eje Y					Material: Aluminio				
					Nº de plano: 9		Nº de piezas: 1			Costo/Kg 30,00		Costo Mat/Pieza 24,00		
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (Bs/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)	Costo por pieza acumulada (Bs/h)		Observaciones
			1	Medir y trazar	Regla escuadra , lapiz	2	2	4	4	TST	18,23	1	1,22	0,07
2	Cortado	Sierra mecanica	2	5	7	7	TST	18,23	2	2,13	0,23	2,36		
3	Perforar 5 mm	Taladro de banca	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82	4 perforaciones	
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
Insumos			Totalización de costos											
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos		Por cada pieza		Por todas las piezas						
1						Costo de mano de obra		5,16		5,16				
2						Costo de herramienta		2,30		2,30				
3						Costo de materiales		24,00		24,00				
4						Costo de insumos y otros		0,00		0,00				
5						COSTO TOTAL (Bs)		31,46		31,46				

TST=Técnico Superior Tornero ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / SCANNER		Elemento: Chasis					Peso Bruto (Kg)	Peso Neto (Kg)				
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico		Nº de hoja 10 de 13		Subsistema:					Material: Aluminio					
				Nº de plano: 10		Nº de piezas: 1			Costo/Kg 21,58	Costo Mat/Pieza 60,00				
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (BS/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)				Costo de herramienta por proceso (Bs)
1	Medir y trazar	Regla escuadra, lapiz	2	5	7	7	TST	18,23	1	2,13	0,12	2,24		
2	Cortar	Sierra de ingletes	2	8	10	10	TST	18,23	20	3,04	3,33	6,37	13 cortes a 45º	
3	Perforado de 3mm	Taladro de banco	2	15	17	17	TST	18,23	20	5,16	5,67	10,83	52 perforaciones	
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
Insumos			Totalización de costos											
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos				Por cada pieza		Por todas las piezas				
1								Costo de mano de obra	10,33	10,33				
2								Costo de herramienta	9,12	9,12				
3								Costo de materiales	60,00	60,00				
4								Costo de insumos y otros	0,00	0,00				
5								COSTO TOTAL (Bs)	79,45	79,45				

TST=Técnico Superior Torno ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / SCANNER		Elemento: Carro deslizante				Peso Bruto (Kg)	Peso Neto (Kg)			
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico		Nº de hoja 11 de 13		Eje X				Material: Aluminio				
				Nº de plano: 11		Nº de piezas: 1		Costo/Kg 30,00	Costo Mat/Pieza 6,00			
				PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (Bs/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)
Observaciones												
1	Medir y trazar	Regla escuadra , lapiz	2	3	5	5	TST	18,23	1	1,52	0,08	1,60
2	Cortar	Sierra mecanica	2	4	6	6	TST	18,23	2	1,82	0,20	2,02
3	Perforar 17 mm	Taladro de banca	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82
4	Perforacion para husillo 10mm	Taladro de banca	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82
5												
6												
7												
8												
9												
10												
Insumos			Totalización de costos									
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos		Por cada pieza		Por todas las piezas				
1						Costo de mano de obra		6,99				
2						Costo de herramienta		4,28				
3						Costo de materiales		6,00				
4						Costo de insumos y otros		0,00				
5						COSTO TOTAL (Bs)		17,27				

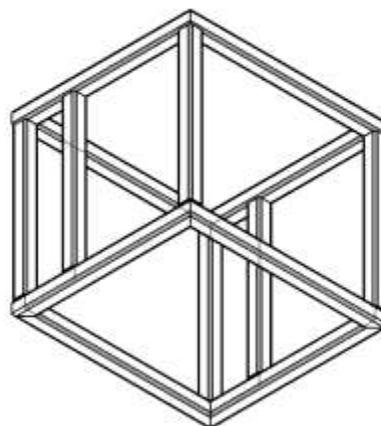
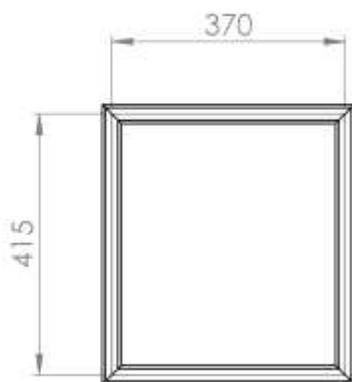
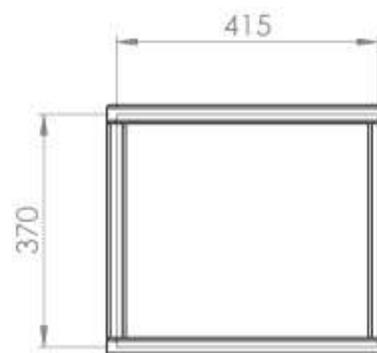
TST=Técnico Superior Torno ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / SCANNER		Elemento: Carro deslizante				Peso Bruto (Kg) 0,3		Peso Neto (Kg) 0,3			
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico		Nº de hoja 12 de 13		Subsistema: Eje Y				Material: Aluminio					
				Nº de plano: 12		Nº de piezas: 1		Costo/Kg 30,00		Costo Mat/Pieza 9,00			
PROCESO	DESCRIPCION	MAQUINA HERRAMIENTA	Tiempo de preparacion (min)	Tiempo de ejecucion (min)	Tiempo por todas las piezas (min)	Tiempo acumulado por pieza (min)	Mano de Obra (Bs/h)	Costo Mano de obra (Bs/h)	Costo Maquina y herramientas (Bs/h)	Costo de mano de obra por proceso (Bs)	Costo de herramienta por proceso (Bs)		Costo por pieza acumulada (Bs/h)
Observaciones													
1	Medir y trazar	Regla escuadra , lapiz	2	3	5	5	TST	18,23	1	1,52	0,08	1,60	
2	Cortar	Sierra mecanica	2	4	6	6	TST	18,23	2	1,82	0,20	2,02	
3	Perforar 16 mm	Taladro de banca	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82	
4	Perforacion para husillo 10mm	Taladro de banca	2	4	6	6	TST	18,23	20	1,82	2,00	3,82	
5													
6													
7													
8													
9													
10													
Insumos			Totalización de costos										
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos				Por cada pieza		Por todas las piezas			
1								Costo de mano de obra		6,99			
2								Costo de herramienta		4,28			
3								Costo de materiales		9,00			
4								Costo de insumos y otros		0,00			
5								COSTO TOTAL (Bs)		20,27			

TST=Técnico Superior Tornero ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico

UMSA Ingeniería Electromecánica		HOJA DE PROCESOS Y COSTOS / SCANER		Elemento: Soporte sensor					Peso Bruto (Kg) 0,1		Peso Neto (Kg) 0,1		Observaciones													
Proyecto de grado: Construcción de un prototipo de copiadora electromecánica 3D, para moldes en yeso de autopartes de plástico		Nº de hoja 13 de 13		Subsistema: Eje Z					Material: Aluminio																	
PROCESO		DESCRIPCION		MAQUINA HERRAMIENTA		Tiempo de preparación (min)		Tiempo de ejecución (min)		Tiempo por todas las piezas (min)		Tiempo acumulado por pieza (min)		Mano de Obra (Bs/h)		Costo Mano de obra (Bs/h)		Costo Maquina y herramientas (Bs/h)		Costo de mano de obra por proceso (Bs)		Costo de herramienta por proceso (Bs)		Costo por pieza acumulada (Bs/h)		
Nº de plano:		13		Nº de piezas:		1		Costo/Kg		30,00		Costo Mat/Pieza		3,00												
1		Medir y trazar		Regla escuadra , lapiz		2		2		4		4		TST		18,23		1		1,22		0,07		1,28		
2		Cortar		Sierra mecanica		2		2		4		4		TST		18,23		2		1,22		0,13		1,35		
3		Perforar 5 mm		Taladro de banca		2		4		6		6		TST		18,23		20		1,82		2,00		3,82		
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9																										
Insumos				Totalización de costos																						
Nº	Insumo	Costo/unidad	Cantidad	Costo por insumos				Por cada pieza				Por todas las piezas														
1				Costo de mano de obra				4,25				4,25														
2				Costo de herramienta				2,20				2,20														
3				Costo de materiales				3,00				3,00														
4				Costo de insumos y otros				0,00				0,00														
5				COSTO TOTAL (Bs)				9,45				9,45														
TST=Técnico Superior Torno ; TSE=Tecnico Superior Electromecánico																										

8 Planos



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guispe Ch.		22/02/16
VERIF.	Jose Apaza		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA: 1:10			

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA
ELECTROMECANICA

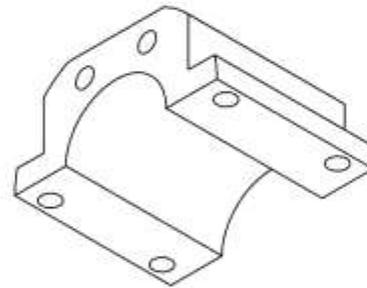
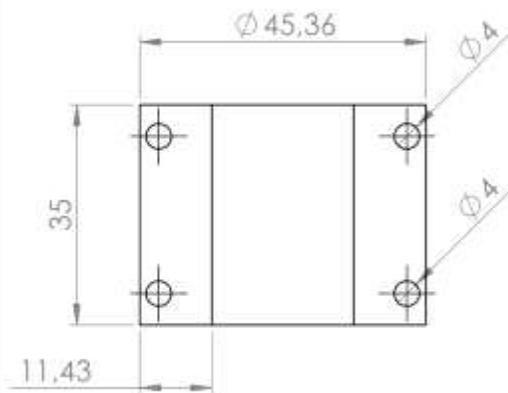
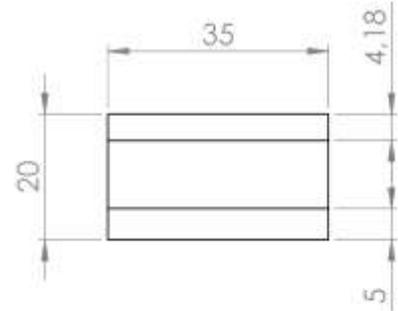
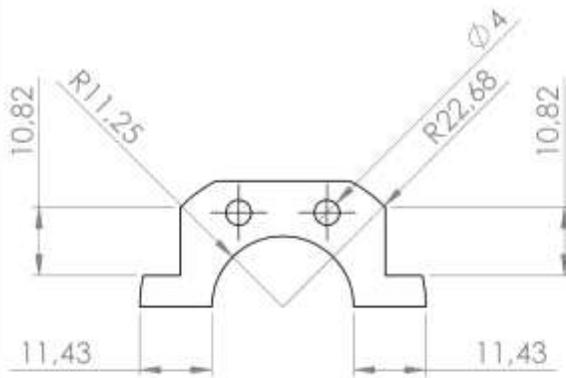
CHASIS

A4

PESO: 2.78 kg

MATERIAL: Aluminio

PLANO 1



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Quispe Ch.		22/02/16
VERF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA: 1:1			PESO: 0.25 kg

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

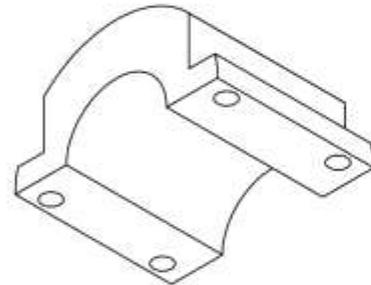
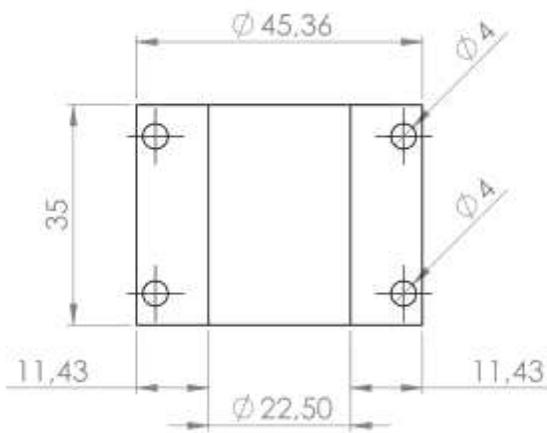
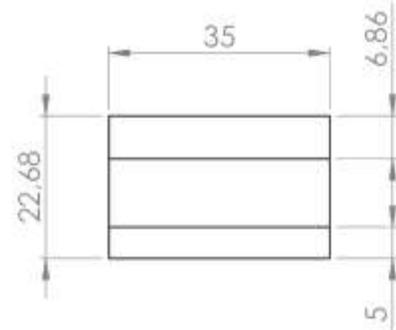
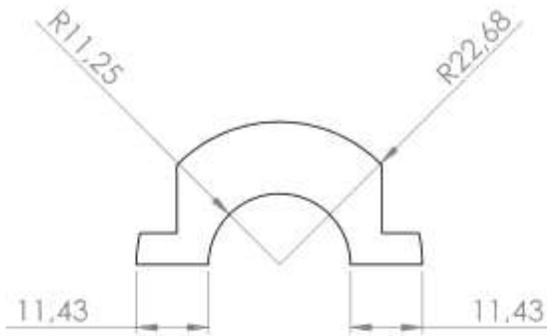
INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

PORTA HERRAMIENTA A

A4

MATERIAL: Aluminio

PLANO 2



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guiso Ch.		22/02/16
VERF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA: 1:1			PESO: 0.25 kg

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

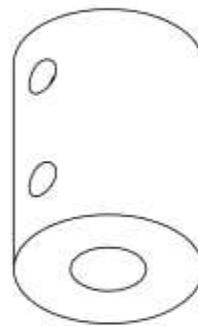
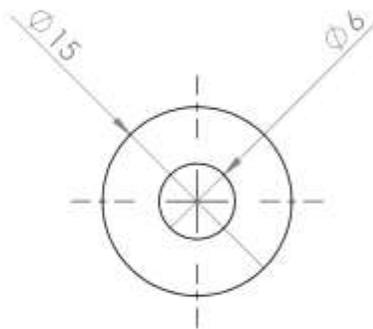
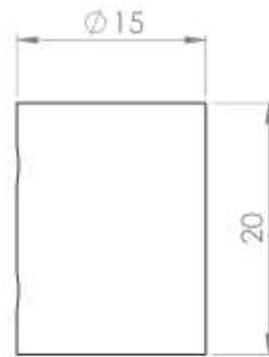
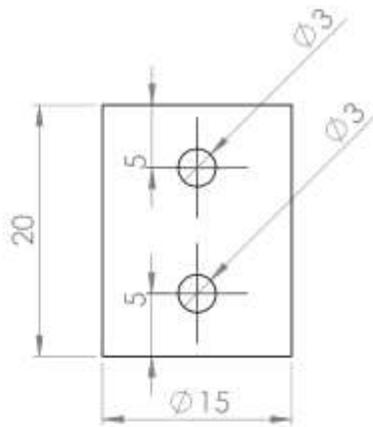
INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

PORTA HERRAMIENTA B

A4

MATERIAL: Aluminio

PLANO 3



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guape Ch.		22/02/16
VERF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA: 2:1			PESO: 0.05

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

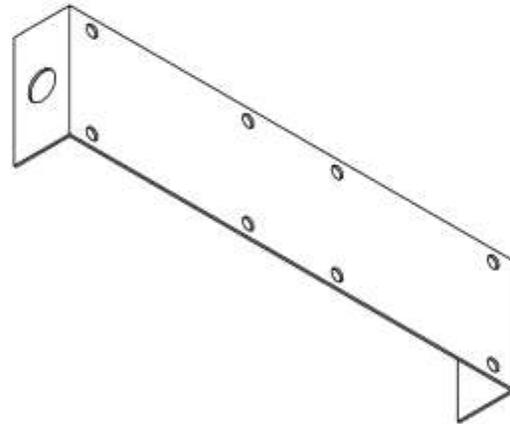
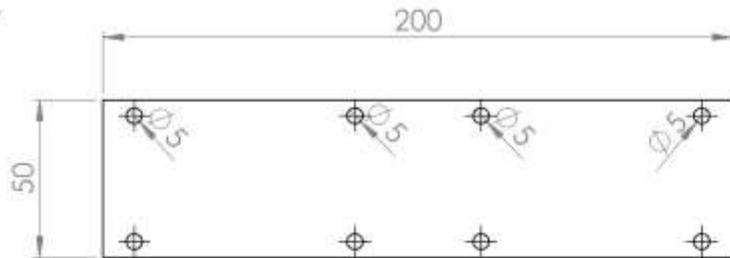
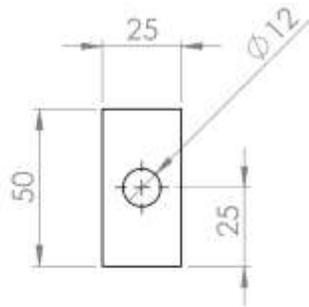
INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

ACOPLE SERVOMOTOR

A4

MATERIAL: Aluminio

PLANO 4



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guispe Ch.		22/02/16
VERIF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA:1:2			

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

SOPORTE HUSILLO

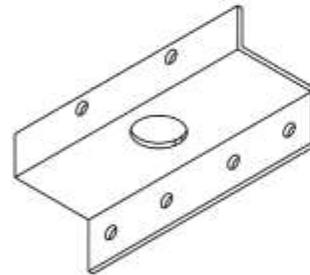
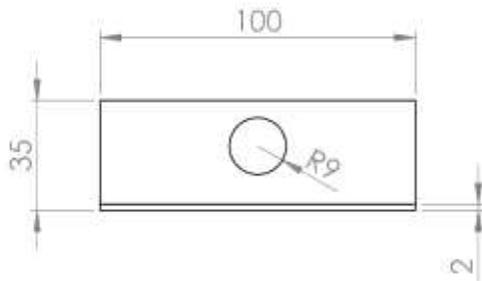
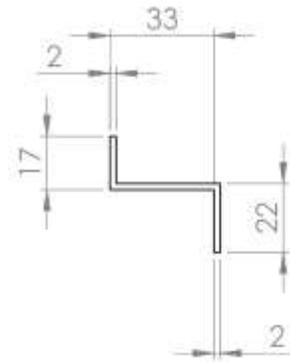
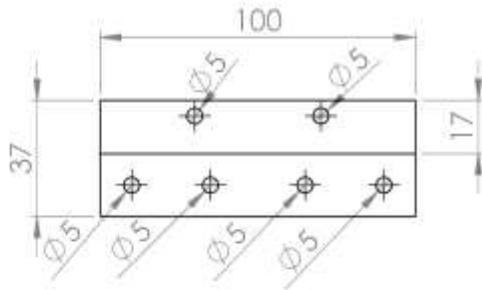
A4

ESCALA:1:2

PESO: 0.2 Kg.

MATERIAL: ALUMINIO

PLANO 5



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guiso Ch.		22/02/16
VERF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA:1:2			PESO: 0.20Kg

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

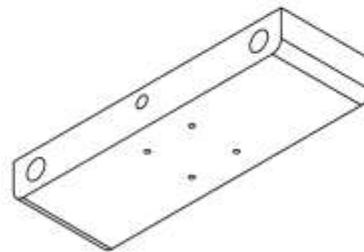
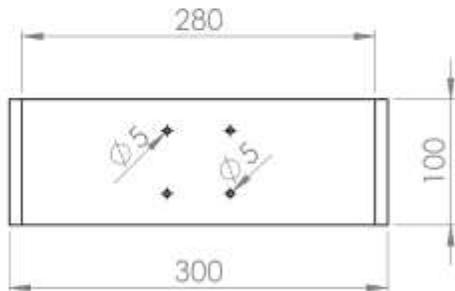
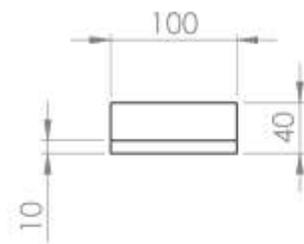
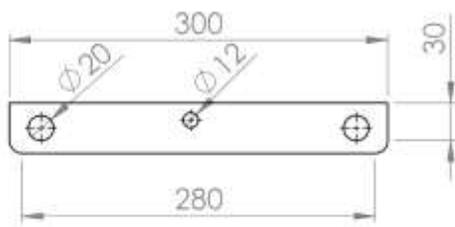
INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

BASE DE GUIAS

A4

MATERIAL: ALUMINIO

PLANO 6



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guape Ch.		22/02/16
VERF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA: 1:5			PESO

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

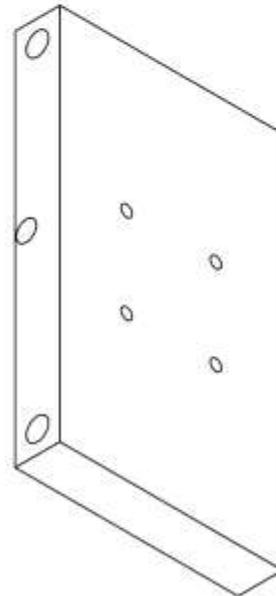
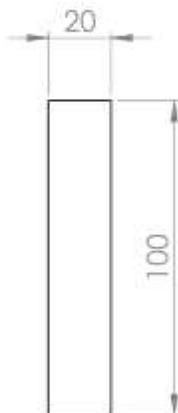
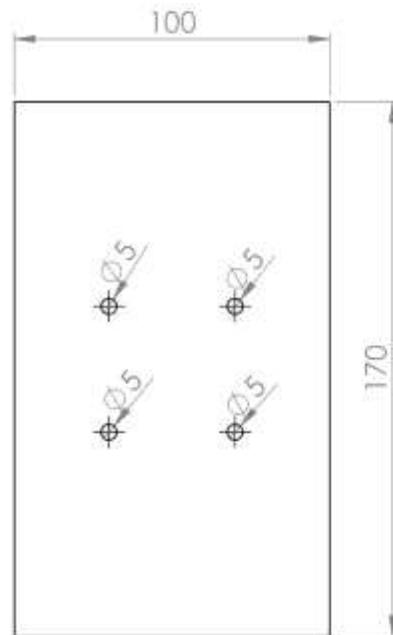
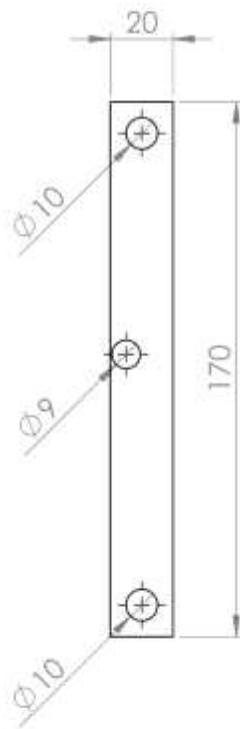
INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

CARRO DESLIZANTE

A4

MATERIAL:

PLANO 7



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guape Ch.		22/02/16
VERF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA:1:2			PESO: 0.3 Kg.

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

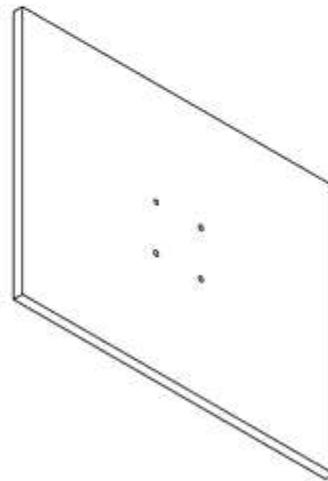
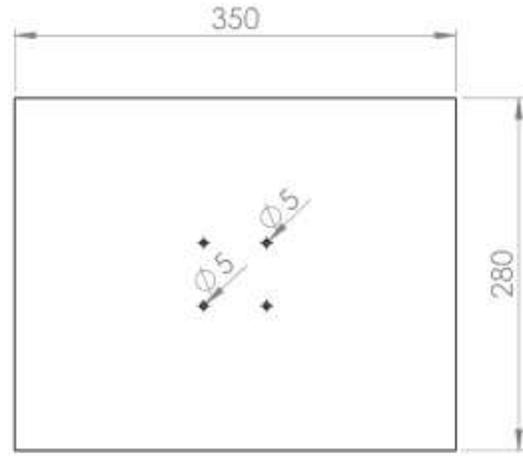
INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

CARRO DESLIZANTE Y

A4

MATERIAL: ALUMINIO

PLANO: 8



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DEBUJ.	Walter M. Guape Ch.		22/02/16
VERIF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA: 1:5			

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

MESA DE TRABAJO

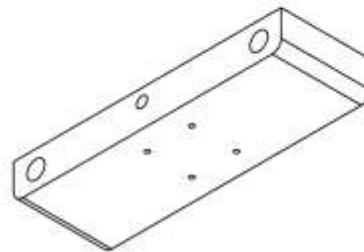
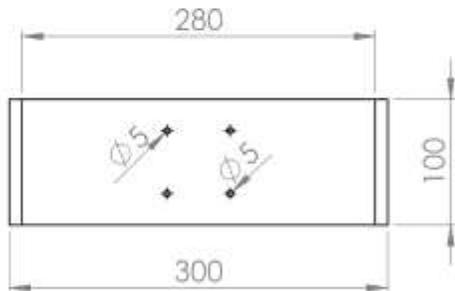
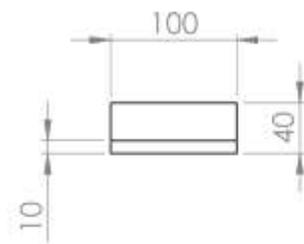
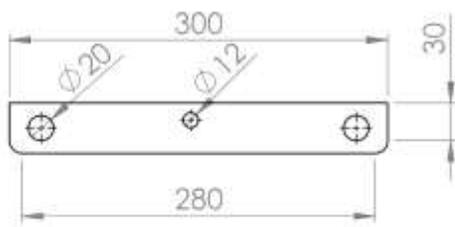
A4

ESCALA: 1:5

PESO: 0.8 Kg.

MATERIAL: ALUMINIO

PLANO 0



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guape Ch.		22/02/16
VERF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA: 1:5			PESO

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

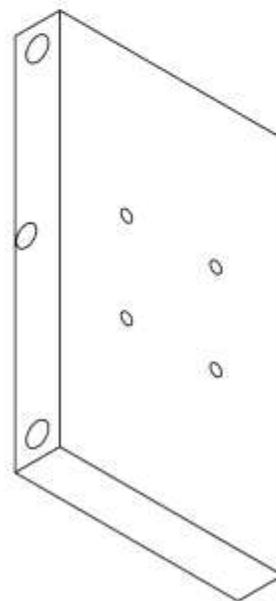
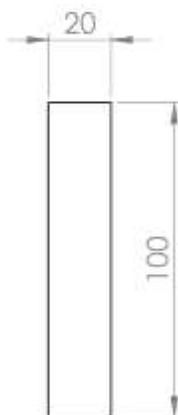
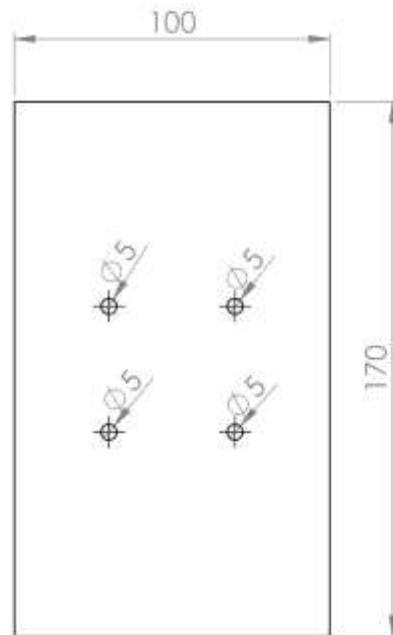
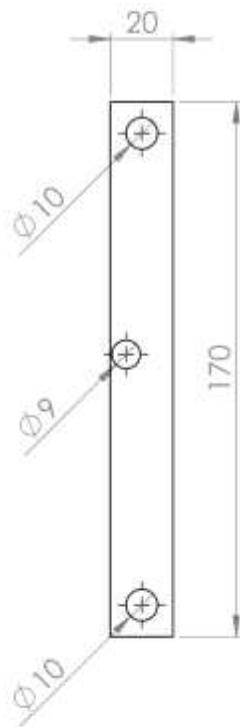
INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

CARRO DESLIZANTE

A4

MATERIAL:

PLANO 11



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guape Ch.		22/02/16
VERF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA:1:2			PESO: 0.3 Kg.

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

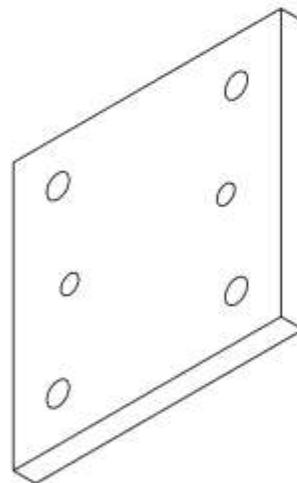
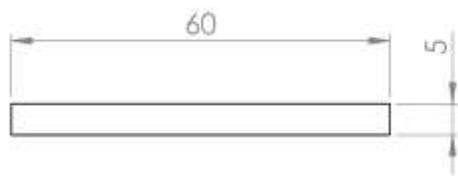
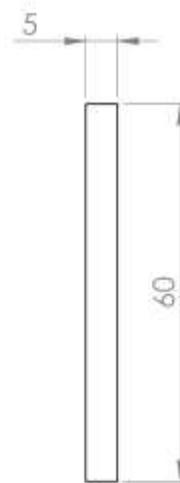
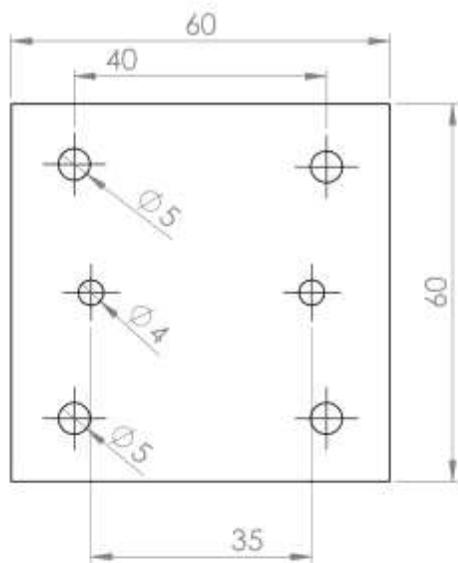
INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

CARRO DESLIZANTE Y

A4

MATERIAL: ALUMINIO

PLANO: 12



	NOMBRE	FRMA	FECHA
DIBUJ.	Walter M. Guispe Ch.		22/02/16
VERF.	Jose Aparo		
APROB.			
FABR.			
CALD.			
ESCALA: 1:1			PESO: 0.1 Kg

U.M.S.A.
FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA
ELECTROMECHANICA

SOPORTE SENSOR

A4

MATERIAL: ALUMINIO

PLANO 13

9 Pruebas en modo simétrico

