



UNIVERSIDAD TECNOLOGICA METROPOLITANA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE ELECTRONICA

**“Diseño e Implementación de un Prototipo de Taladro
CNC para PCB’s”**

Trabajo de Titulación para optar al Título de:

INGENIERO EN ELECTRONICA

Profesor Guía:

Ángel Fernández Canales

Nombre Alumno:

Felipe Adrián Serón González

SANTIAGO DE CHILE

2014

Nota Obtenida:_____

Timbre y Firma de la Autoridad Responsable:_____

Dedicatoria.

Con mucho cariño para todos los que han influido positivamente en mi vida y además me han ayudado de una u otra forma a completar este gran desafío.

A mi madre Cecilia por no dejarme caer en los momentos difíciles y creer siempre en mí.

A mi padre Leonardo (Q.E.P.D), que desde el cielo siempre me entrega fortaleza cuando me siento agobiado.

A mi hermano Leonardo por contagiarde el “Bicho del Estudio”.

A mi hermano David por acercarme al “Fascinante Mundo de la Electrónica”.

A mi hermana Carolina por darme ánimo durante este largo proceso.

A mi tía Virginia y a mi tío Adrián por amarme como a un hijo más.

A mis primas Gladys, Rosa y Blanca por su constante preocupación.

A mi querida Claudia por ayudarme a ser una persona más segura.

A todos ustedes les dedico mi trabajo. Espero retribuir de alguna manera todo lo valioso que me han entregado.

Agradecimientos:

A mis profesores, en especial a mi profesor guía, don Ángel Fernández por su gran paciencia y buenos consejos durante el desarrollo de este trabajo.

También a la señora Teresa Ahumada (secretaria de la Escuela de Electrónica), por su buena disposición y amabilidad al momento de resolver cualquier duda. Finalmente a mis compañeros de la carrera Leandro Pasten y Alfredo Rojas por darme una mano en los momentos difíciles.

A todos ellos muchas gracias.

Contenido.

1. Introducción.....	12
1.1. Planteamiento del Problema.....	13
1.2. Objetivos.....	14
1.2.1. Objetivo General.....	14
1.2.2. Objetivos Específicos.....	14
2. Estado del Arte.....	15
2.1. Antecedentes Históricos.....	15
2.2. Antecedentes Comerciales.....	17
2.3. Antecedentes Académicos.....	18
3. Marco Teórico.....	20
3.1 Control Numérico por Computador.....	20
3.2. Componentes y Estructura de una Máquina CNC.....	21
3.2.1. Ejes Principales.....	21
3.2.2. Sistemas de Transmisión.....	22
3.2.2.1. Motores de Transmisión.....	23
3.2.3. Husillo Principal.....	25
3.2.4. Sistemas de Control de Desplazamiento.....	25
3.3. Componentes del Sistema de Control Numérico.....	27
3.3.1. CPU (Unidad Central de Proceso).....	27
3.3.2. Interfaz.....	28
3.4. Programación.....	29
3.4.1. Variables de Programación CNC.....	30
3.4.2. Fases de un Programa.....	30
3.4.3. Estándares de Programación.....	31
3.4.4. Sistema de Coordenadas Cartesiano.....	31
3.4.4.1. Coordenadas Absolutas.....	32
3.4.4.2 Coordenadas Relativas.....	32
3.4.5. Códigos G (G-Codes).....	32
3.4.5.1. Software para la Elaboración de G-Codes.....	33
3.4.6. Códigos M (Miscellaneous).....	34
3.5. Puntos de Referencia en el Mecanizado.....	34
3.5.1. Origen de Máquina.....	34
3.5.2. Origen Pieza.....	35

4. Análisis de Diseño.....	36
4.1. Descripción General del Sistema Propuesto.....	36
4.2. Sistema Mecánico.....	37
4.2.1. Selección de Materiales.....	40
4.2.2. Especificaciones de Diseño.....	42
4.3. Sistema Electromecánico.....	47
4.3.1. Elección del Motor de Precisión.....	47
4.3.1.1. Criterio de Selección del Motor Paso a Paso.....	48
4.3.2. Elección del Taladro.....	56
4.4. Sistema Electrónico (Unidad de Control)	57
4.4.1. Fuente de Alimentación.....	58
4.4.2. Controlador.....	63
4.4.3. Interfaz.....	69
4.4.4. Realimentación.....	73
4.5. Software CNC.....	81
4.5.1. Descripción de Txapu-CNC.....	81
4.5.2. Descripción de Inkscape.....	84
4.5.2.1. Características de Gcodetools.....	85
4.5.2.2. Diseño de un Programa G-Code a Partir de Trazos Vectoriales.....	86
5. Implementación.....	88
5.1 Implementación de la Máquina Herramienta.....	88
5.2. Implementación del Sistema Electrónico.....	92
5.3 Instalación y Configuración de Software.....	96
6. Pruebas y Resultados.....	99
6.1. Instrumentos Utilizados para las Pruebas.....	99
6.2. Pruebas Realizadas al Taladro CNC.....	99
6.2.1. Prueba de Parámetros Eléctricos.....	99
6.2.1.1. Análisis de Resultados.....	101
6.2.2. Prueba de Señales.....	101
6.2.2.1. Análisis de Resultados.....	103
6.2.3. Pruebas de Precisión.....	104
6.2.3.1. Prueba 1: Límites de Trabajo.....	104
6.2.3.2. Prueba 2: Trazado de Círculos.....	106

6.2.3.3. Prueba 3: Perforación de Pieza	107
6.3. Pruebas Realizadas al Mouse Óptico.	109
6.3.1. Conexión entre Elementos.....	109
6.5.1. Prueba de Sensor.....	109
6.5.1.1. Análisis de Resultados.	111
6.5.2 Prueba de Señales.	112
6.5.2.1. Análisis de Resultados.	112
7. Costos.	115
7.1. Costos del Diseño.	115
7.1.1 Costos de Elementos.....	115
7.2. Comparación con Referencia de Mercado.	119
7.2.1. Comparación de Costos.....	120
8. Conclusión.....	121
Textos y Apuntes.....	122
Sitios Webs.	123
ANEXO A: DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA MÉCANICO.	124
ANEXO B: DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES DE LA UNIDAD DE CONTROL.....	136
ANEXO C: VISTA DE IMPRESIÓN DE LAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO.....	140
ANEXO D: CODIGO FUENTE PROGRAMADO PARA ENCODER.....	143
ANEXO E: HOJAS DE DATOS DE COMPONENTES (RESUMEN).	144

Índice de Figuras.

Figura 3.1: Ejes Principales de un Torno (EIAC-267-C).....	21
Figura 3.2: Ejes Principales de una Fresadora (EIAC-267-C).....	22
Figura 3.3: Husillo de Bolas Recirculantes.....	23
Figura 3.4: Vista Interna de un Motor Paso a Paso.....	24
Figura 3.5: Vista Interna de un Servomotor.....	24
Figura 3.6: Husillo Principal en Disposición Vertical.....	25
Figura 3.7: Sistema de Control Directo.....	26
Figura 3.8: Sistema de Control Indirecto.	27
Figura 3.9: CPU Dedicada Marca FANUC.	28

Figura 3.10: PLC de la Familia Siemens.	28
Figura 3.11: Símbolo de Cero Máquina.....	35
Figura 3.12: Símbolo de Cero Pieza.....	35
Figura 4.1: Esquema General del Prototipo.	37
Figura 4.2: Ubicación de Plataformas Móviles en la Estructura.	38
Figura 4.3: Sistema Mecánico.	39
Figura 4.4: Volumen de Trabajo Máximo del Taladro CNC.	40
Figura 4.5: Fresadora CNC Típica Construida en Aluminio.....	41
Figura 4.6: Disposición de Soportes Principales.	43
Figura 4.7: Pilar de Aluminio.	43
Figura 4.8: Disposición de Bases Móviles X, Y, Z	44
Figura 4.9: Corredera y Soporte para X e Y.....	45
Figura 4.10: Corredera y Soporte para Z.....	45
Figura 4.11: Soporte para Motores Paso a Paso.	45
Figura 4.12: Elementos del Cabezal.....	46
Figura 4.13: Sistema de Transmisión.	46
Figura 4.14: Motor Paso a Paso (Izq.) Motor Servo (Der.).	47
Figura 4.15: Curva de Respuesta del Torque ante Variaciones de Velocidad.	55
Figura 4.16: Mini Taladro AD18.....	57
Figura 4.17: Componentes de la Unidad de Control.....	58
Figura 4.18: Fuente de Alimentación con Salidas de 12[v] y 5[v].	59
Figura 4.19: Vista de Diseño de la PCB para la Fuente de Alimentación.	63
Figura 4.20: Diagrama de Bloques del Controlador.....	63
Figura 4.21: Conmutación de Fases de un Motor Bipolar.	64
Figura 4.22: Componentes Internos del C.I. L298N.	65
Figura 4.23: Diagrama Electrónico.	66
Figura 4.24: Diagrama Electrónico Puente H.	67
Figura 4.25: Vista de Diseño de la PCB para el Driver de Potencia.	68
Figura 4.26: Arduino Uno R3.....	70
Figura 4.27: C.I. 74LS04.	72
Figura 4.28: Conexión en el Modo Full-Step.	73
Figura 4.29: Micro Switches.	74
Figura 4.30: Conexión de Switch a la Placa Arduino.....	74

Figura 4.31: Micro Switch SS-5GL13.	75
Figura 4.32: Diagrama de Bloques del C.I. MCS-12085.	76
Figura 4.33: Diagrama Electrónico.	78
Figura 4.34: Diagrama Electrónico Simplificado.	78
Figura 4.35: Vista de Diseño de la PCB para el Encoder.	80
Figura 4.36: Sistema de Lentes de un Mouse Óptico Común.	80
Figura 4.37: GUI de Txapu-CNC.	82
Figura 4.38: GUI de Inkscape.	85
Figura: 5.1: Construcción del Soporte Vertical.	88
Figura 5.2: Sistema de Guías Z e Y.	89
Figura 5.3: Elementos del Sistema de Transmisión.	89
Figura 5.4: Primera Presentación de la Estructura.	90
Figura 5.5: Detalle del Acoplamiento de Motores.	90
Figura 5.6: Detalle del Sistema de Abrazaderas y Soporte del Cabezal.	91
Figura 5.7: Descansos para Ejes (Varillas Roscadas).	91
Figura 5.8: Maquina Herramienta Construida.	92
Figura 5.9: Driver de Potencia Montado en Protoboard.	93
Figura 5.10: Diseño Electrónico Transferido a la PCB.	93
Figura 5.11: Resultado del Ataque Químico a la PCB.	94
Figura 5.12: Driver de Potencia Terminado.	94
Figura 5.13: Proceso de Montaje de la Unidad de Control.	95
Figura 5.14: Unidad de Control Terminada.	95
Figura 5.15: Ubuntu Ejecutado Bajo Windows 7 Mediante VirtualBox.	97
Figura 6.1: Señales de Salida de Arduino para Driver X.	102
Figura 6.2: Señal In2 y su Inversa In1 para Driver X.	102
Figura 6.3: Señal In4 y su Inversa In3 para Driver X.	102
Figura 6.4: Señales de Entrada y Salida del Driver X.	103
Figura 6.5: Porta Brocas con Punta de Lápiz (Izq.) y con Broca de 1mm (Der.).	104
Figura 6.6: Cuadrado de 10x10cms Diseñado en Inkscape.	105
Figura 6.7: Resultado del Trazado de un Cuadrado de 100cm ² .	105
Figura 6.8: Círculos Concéntricos Diseñados en Inkscape.	106
Figura 6.9: Resultado del Trazado de Círculos Concéntricos.	106

Figura 6.10: Diseño Basado en el Integrado RS232 Realizado en Inkscape.	107
Figura 6.11: Perforación de PCB.	108
Figura 6.12: C.I. MAX232 Montado en la PCB.	108
Figura 6.13: Conexión entre Arduino y Mouse Óptico.	109
Figura 6.14: Algoritmo del Programa.	110
Figura 6.15: Mouse en Reposo al Momento de Iniciar la Rutina.	111
Figura 6.16: Desplazamiento a la Izquierda.	111
Figura 6.17: Desplazamiento a la Derecha.	112
Figura 6.18: Formas de Onda de Mouse en Estado Inactivo.	113
Figura 6.19: Formas de Onda de Mouse en Estado Activo.	113
Figura 7.1: Ingreso Promedio de un Ingeniero Electrónico al Primer Año de Egreso.	118

Índice de Tablas.

Tabla 2.1: Comparativa de Precios de Sistemas CNC comerciales.	17
Tabla 4.1: Descripción de Componentes.	39
Tabla 4.2: Comparativa de Diferentes Materiales.	41
Tabla 4.3: Especificaciones del Motor Paso a Paso Bipolar.	54
Tabla 4.4: Comparación de Requerimientos.	56
Tabla 4.5: Características del Mini Taladro para PCB.	57
Tabla 4.6: Requerimientos de la Fuente.	59
Tabla 4.7: Componentes de la Fuente de Alimentación.	61
Tabla 4.8: Descripción de Pines L298N.	65
Tabla 4.9: Listado de Componentes para Puente H.	69
Tabla 4.10: Especificaciones de la Tarjeta Arduino.	70
Tabla 4.12: Distribución de Pines.	71
Tabla 4.11: Secuencia en Modo Full-Step.	72
Tabla 4.13: Características del Sensor MCS-12085.	76
Tabla 4.14: Descripción de Pines L298N.	77
Tabla 4.15: Parámetros de Tiempo.	77
Tabla 4.16: Comandos G de TxapuCNC.	83
Tabla 5.1: Especificaciones Técnicas de Software y Hardware.	96
Tabla 6.1: Especificaciones de Instrumentos de Prueba.	99

Tabla 6.2: Registro de Parámetros de la Unidad de Control.	100
Tabla 6.3: Registro de Parámetros de la Fuente de Alimentación.....	101
Tabla 7.1: Costos Asociados a Materiales.	116
Tabla 7.2: Comparación de Productos.	119

Resumen.

En este trabajo de titulación se describe el proceso de diseño e implementación de un prototipo CNC para perforación de placas de circuito impreso. Previo al diseño se han recopilado algunos antecedentes para conocer su evolución histórica. Además se han investigado los fundamentos necesarios que ayudan a la comprensión de esta tecnología.

La etapa de diseño comienza con la elección de materiales analizando diferentes alternativas y optando por aquellos más económicos pero que a la vez ofrecen las prestaciones necesarias para la tarea requerida. Posteriormente se realizan los cálculos para las especificaciones de diseño de todo el hardware. A nivel de software se describen las herramientas a usar para la generación de G-codes y para el control del taladro.

En la etapa de implementación se explica todo el proceso de montaje comenzando por la construcción del sistema mecánico pasando por la electrónica y finalizando con las configuraciones de software. Para comprobar el funcionamiento de la maquina además se realizan algunas pruebas y se estudian los resultados con el objetivo de evaluar su desempeño.

El trabajo concluye con un análisis de costos y una breve pero concisa conclusión en relación al principal objetivo planteado.

CAPITULO 1: INTRODUCCION.

1. Introducción.[1]

El control numérico (CN) es una tecnología que ha contribuido mucho al desarrollo de la industria. Los primeros sistemas marcaron un antes y un después en los procesos de manufactura modernos, mejorando enormemente la calidad de los productos.

En sus comienzos, los altos costos de implementación y el gran volumen de hardware de los sistemas de control numérico lo hicieron poco atractivo. A nivel mundial el número de máquinas comerciales no superaba las centenas de unidades en los años 50, no obstante, gracias al desarrollo tecnológico los sistemas CN comenzaron a tener un protagonismo cada vez mayor en el mercado.

En los años 70 la integración de computadoras en los equipos provocó que el término control numérico cambiara a control numérico por computador (CNC). Esta nueva generación de máquinas presentó importantes mejoras en relación a sus antecesoras; mayores prestaciones, facilidad de operación y lenguaje de programación más sencillo entre otras.

La posterior fusión de las maquinas CNC con la tecnología CAD/CAM (diseño y manufactura asistido por computador) llevaron los procesos de manufactura al siguiente nivel.

En la actualidad el CNC es parte fundamental de la industria moderna. Grandes y medianas empresas lo han incorporado en sus procesos y ello se ha visto reflejado en muchas áreas tales como la medicina, la robótica, la metalurgia y la aeronáutica por mencionar las algunas.

En Chile, el CNC lleva un poco más de una década en el mercado. Hoy en día son numerosas las empresas nacionales que ofrecen variadas alternativas de máquinas CNC para satisfacer alguna necesidad, sin

embargo el costo de ellas es bastante elevado debido a que la tecnología se importa desde países como China o España.

La falta de una manufactura integral a nivel local afecta negativamente el acercamiento de esta herramienta tecnológica a microempresarios, sin embargo a nivel académico son numerosas los estudios que se están haciendo para ofrecer alternativas de bajo costo que satisfagan las necesidades de este pequeño pero no menos importante sector económico.

1.1. Planteamiento del Problema.[2]

Una placa de circuito impreso ó PCB (Printed Circuit Board) es parte fundamental de toda circuitería electrónica. En ella los diferentes componentes se montan e interconectan mediante pistas. Según la complejidad de los circuitos se confeccionan PCB's de una o más capas.

A nivel no industrial, el proceso de elaboración de una PCB implica cuatro etapas; diseño, impresión de diseño en la placa, atacado del cobre y perforación de puntos. Las tres primeras etapas se pueden realizar de manera relativamente sencilla con ayuda de herramientas de software y procesos químicos. Sin embargo, el proceso de perforación (etapa cuatro), no resulta tan fácil ya que se realiza de forma manual mediante un mini taladro o herramienta tipo Dremel.

Actualmente existen variadas alternativas comerciales de control numérico que dan solución a la problemática anterior, pero como se mencionó en el apartado previo el costo de esta tecnología es bastante elevado aun.

Debido a que los sistemas comerciales no representan una solución económica para tareas específicas como la perforación de PCB's surge la idea de desarrollar un prototipo CNC orientado a contribuir en el desarrollo de sistemas de bajo costo capaces de satisfacer necesidades puntuales.

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

- Diseño e implementación de un taladro CNC experimental capaz de perforar una placa de circuito impreso (PCB) con un área cuadrada de 100[cm²].

1.2.2. Objetivos Específicos.

- i. Selección de materiales de construcción de bajo costo que hagan del sistema una opción más económica que los equipos comerciales.
- ii. Diseño e implementación de una unidad de control que incorpore las etapas de alimentación, control y potencia.
- iii. Diseño e implementación de una estructura electromecánica tipo puente fijo de 3 ejes, cuya resolución sea al menos de 0.005mm y cuyo volumen máximo de trabajo sea de 57600 cm³.
- iv. Diseño de un sistema de posicionamiento basado en un mouse óptico con tecnología CCD.
- v. Ejecución de pruebas de funcionamiento del taladro CNC y del sistema óptico para demostrar la validez de los diseños propuestos mediante el estudio de resultados.

CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE.

2. Estado del Arte.

Antes de poder profundizar en el control numérico es necesario indagar en los antecedentes de esta tecnología con el fin de tener una noción del avance que ha tenido tanto a nivel industrial como a nivel experimental.

En el presente capítulo se exponen los antecedentes históricos de la tecnología CNC y su repercusión en la industria. También se describen los antecedentes comerciales actuales y las investigaciones en el último tiempo realizadas por diferentes universidades nacionales.

2.1. Antecedentes Históricos.[3]

Los orígenes del control numérico se remontan al año 1824 cuando el Británico Jacquard inventó un sistema de accionamiento mecánico que situó en la parte superior de un telar. El artefacto consistía de una cinta perforada que era movida por un mecanismo de cuerda (similar a los utilizados en relojería), con esto activaba una serie de dedos mecánicos que al coincidir en algún hueco impreso de la cinta accionaba mecanismos que realizaban una determinada operación. Al completar una vuelta de cinta, se repetía el proceso logrando con esto un ciclo cerrado de ejecución. Aunque no se registran datos sobre los resultados que obtuvo su mecanismo es considerado el más significativo y el primero en reconocerse como antecedente.

En el año 1947 es cuando se concibe y se aplica el principio del control numérico moderno. El ingeniero Estadounidense John T. Parsons logró adaptar una máquina de contar IBM a una fresadora controlada por tarjetas perforadas.

En el año 1949 la U.S. Air Force le otorgó un contrato a Pearson Corporation, quien además obtiene un contrato y el apoyo del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT).

En 1951 el MIT se hace cargo de todo el proyecto y en 1952 se muestra con éxito el prototipo de la actual máquina de CN, una fresadora Cincinnati Hidrotel modificada. Además se crea el término de control numérico en dicho instituto.

En 1956 la U.S. Air Force realiza un pedido de 170 máquinas de control numérico a tres grandes fabricantes americanos:

- Cincinnati Milling Machine Company.
- Giddin & Levis.
- Kearney & Trecker.

Paralelamente a esta evolución, cientos de fabricantes se interesan en el desarrollo de máquinas más simples para trabajos tales como taladrado, maquinado y punteado, que no requieren un movimiento continuo pero si un posicionamiento preciso.

En el año 1969 el número de máquinas CN llega a los 860, el 40% son tornos. Todas estas máquinas son identificadas como primera generación, se programaban en lenguaje de muy bajo nivel, el cual requería la especialización del programador para su uso.

Diez años más tarde aparecieron las computadoras. Fue necesario el desarrollo de un lenguaje que especificara el trayecto para utilizarse como programa de trabajo. Esto se logra con la creación del primer programa llamado APT (Automatically Programmed Tools).

En los años 70's empiezan a aparecer los equipos controlados por computadoras integradas a la máquina herramienta (estos equipos toman el nombre de CNC). El lenguaje de estas máquinas era más accesible, por consiguiente esta nueva generación era más fácil de operar y tenía mayores prestaciones que sus antecesoras.

En 1980 continua el crecimiento de la tecnología CNC con el desarrollo comercial de los sistemas CAD/CAM.

Desde entonces, con la llegada de la electrónica moderna se han desarrollado complejos sistemas de control para que las máquinas realicen trabajos que antes se creían imposibles.

2.2. Antecedentes Comerciales.

Existe una gama importante de máquinas CNC en el mercado mundial. La tecnología actual ha hecho posible el desarrollo de equipos para todas las necesidades, sin embargo el costo asociado a ellos es elevado. La tabla muestra las características y precios de algunos equipos Low Cost enfocados al desarrollo de pequeños productos.

Tabla 2.1: Comparativa de Precios de Sistemas CNC comerciales.

[4],[5],[6],[7]

Modelo	Procedencia	Características	Costo* \$
PCB Prototyper	España	<ul style="list-style-type: none">• Fresadora• Precisión de 1.8[um]	2.625.000
Bungard Variodrill	Alemania	<ul style="list-style-type: none">• Perforadora de PCB	1.170.000
Aman 3040CH80	China	<ul style="list-style-type: none">• Grabadora• Resolución de 0.0125[mm]	552.808
Protomat E33	USA	<ul style="list-style-type: none">• Fresadora• Resolución 0.8[um]	4.267.500

*Costo no incluye gastos de envío ni costos por concepto de Aduana.

A nivel país se han encontrado empresas dedicadas al rubro que tienen sistemas CNC a la venta, sin embargo estos son importados y por ende no existe una manufactura integral dedicada al desarrollo de estos equipos.

[8],[9]

2.3. Antecedentes Académicos.

Buscando algunas Tesis enfocadas a la automatización en diferentes universidades se han encontrado trabajos relacionados con el CNC que muestran un avance importante en el estudio de esta área. A continuación se exponen los títulos y descripción general de diferentes obras de algunas universidades.

Universidad de Chile.[10]

Diseño e Implementación de una Plataforma de Desarrollo, Aplicada a un Prototipo de Máquina Fresadora CNC. Valerio Guerrero y Sebastián Alejandro. Año 2007.

Descripción: En este trabajo se realiza el diseño e implementación de una fresadora CNC controlada por una interfaz basada en un dispositivo DSP. Tanto el diseño como la implementación del prototipo no consideran un sistema de realimentación.

Universidad Austral.[11]

Proceso de Ejecución y Tallado de Modelos en Maquina Fresadora de Control Numérico por Computador para Canal de Ensayos Hidrodinámicos. Javiera Moreno. Año 2010.

Descripción: Tesis que tiene por objetivo ser una guía para el uso de una máquina de control numérico comercial.

Universidad de Santiago de Chile.[12]

Automatización de un Taladro Fresador. Luis Delgado. Año 2012.

Descripción: Trabajo de Titulación en el que se realiza la automatización de un taladro fresador comercial a través de la tecnología de CNC. Para conseguir el objetivo se hace uso del software Mach3 y de una tarjeta controladora comercial.

A nivel de la UTEM también se han buscado trabajos relacionados con el control numérico y se ha encontrado un referente perteneciente a la carrera de Ingeniería mecánica. A continuación se expone el título y descripción de la obra.

Universidad Tecnológica Metropolitana.[13]

Diseño de una Fresadora CNC de Tres Ejes, Experimental para Metales Blandos. Felipe Herrera y Rodrigo Vargas. Año 2012.

Descripción: Trabajo que describe el diseño de una fresadora con características industriales para uso docente. Si bien el diseño de este prototipo considera todos los aspectos de hardware y software, solo profundiza en lo mecánico.

Todos los antecedentes recopilados han sido importantes para entender la situación actual del control numérico por computadora. Ha quedado en evidencia la gran evolución de esta tecnología, además se ha comprendido que los sistemas comerciales no son una opción para problemas puntuales como la perforación de placas de circuito impreso si el objetivo es ahorrar costos.

Por otra parte, el estudio de antecedentes académicos ha mostrado avances importantes en la materia lo que a futuro podría significar una mayor penetración en el mercado de sistemas diseñados y construidos localmente.

CAPITULO 3: MARCO TEORICO.

3. Marco Teórico.

En este capítulo se describen los aspectos más relevantes que tienen relación con la tecnología CNC y que servirán de fundamento al momento de realizar el diseño de un sistema de tales características.

Los componentes y los fundamentos básicos de control numérico tales como estándares, nomenclaturas y programación son abordados a continuación.

3.1 Control Numérico por Computador.

CNC es la sigla de Computer Numerical Control, y se refiere a cualquier sistema de control de posición basado en un sistema de coordenadas programadas (cartesiano, polar, etc.). Mediante instrucciones de software es posible conocer y controlar en todo momento la posición de un elemento físico respecto de un punto de origen. Normalmente el elemento en cuestión es una herramienta fijada a un dispositivo móvil que la soporta (cabezal) [14].

El CNC controla todos los parámetros referentes al posicionamiento del cabezal. El computador conoce y controla en todo momento la velocidad, desplazamiento, ángulo de rotación de ejes, etc. Con lo anterior es posible realizar movimientos imposibles para un operador que controle una herramienta manual [15].

En la actualidad se utilizan de forma indistinta los términos CN (control numérico), CNC (control numérico por computador) y MHCN (máquina herramienta de control numérico). No obstante es bueno aclarar que CNC es la evolución de los sistemas CN mientras que MHCN es la aplicación de la tecnológica CNC a los diferentes tipos de máquinas.

3.2. Componentes y Estructura de una Máquina CNC.[16]

3.2.1. Ejes Principales.

Se definen como aquellas partes móviles que realizan movimientos en diferentes direcciones. Cada tipo de maquina tiene un conjunto de ejes asociados cuya disposición dependerá del tipo de mecanizado que esta realice según el estándar EIA-267-C. A continuación se describen los ejes principales de algunas de ellas.

- **Torno (figura 3.1):** Posee un eje Z para realizar desplazamientos en el sentido del eje principal (movimiento longitudinal), y un eje X que realiza movimientos perpendiculares a dicho eje.

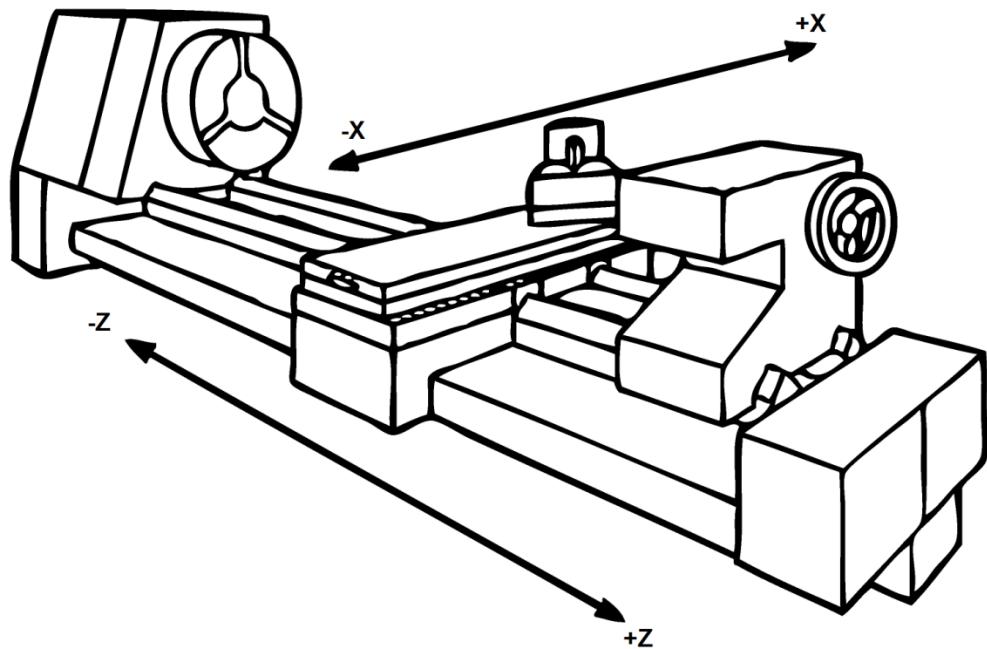


Figura 3.1: Ejes Principales de un Torno (EIAC-267-C).

- **Fresadora (figura 3.2):** Tiene 3 ejes; el eje X realiza el movimiento longitudinal, el eje Y se mueve transversalmente y el eje Z se desplaza perpendicular al eje principal.

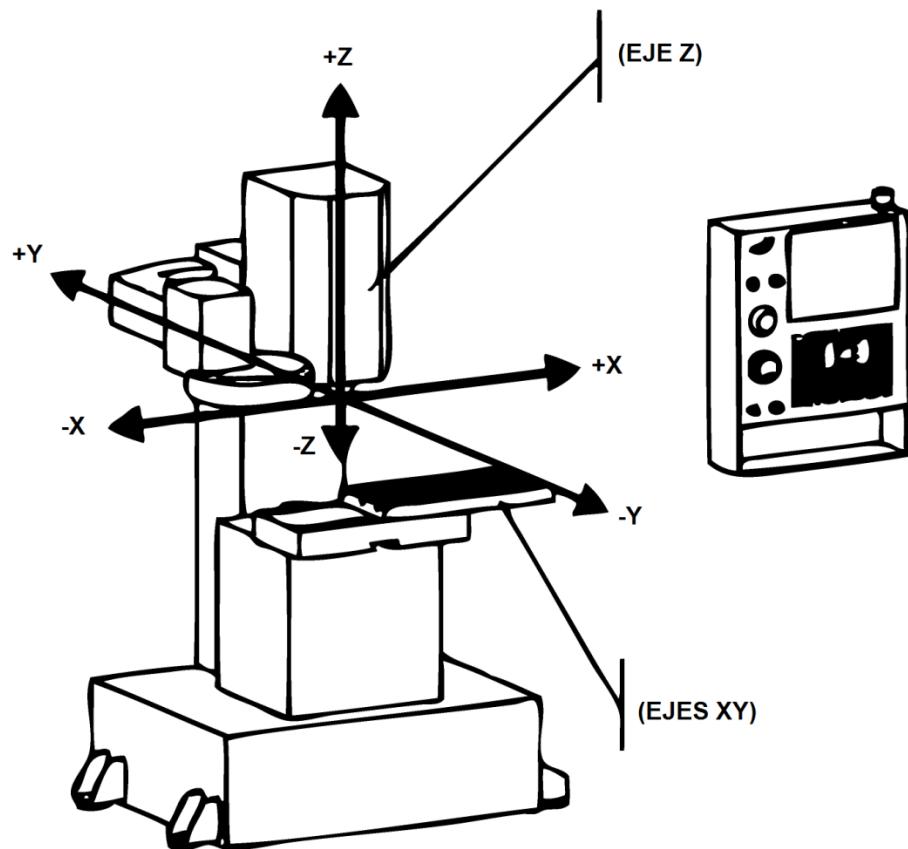


Figura 3.2: Ejes Principales de una Fresadora (EIAC-267-C).

Las MHCN pueden realizar movimientos simultáneos y coordinados de los ejes principales para conseguir trayectorias lineales y curvas. Esta cualidad se conoce como capacidad de interpolación y depende de la cantidad de ejes principales que tenga la máquina.

- Una maquina con 2 ejes principales tiene la capacidad de interpolar 2 ejes.
- Una máquina de 3 ejes puede interpolar 2 o 3 ejes.

3.2.2. Sistemas de Transmisión.

Estos sistemas realizan el desplazamiento en cada eje a partir del movimiento angular de los motores. La transmisión más usada en los equipos CNC utiliza un husillo de bolas como el de la figura 3.3.



Figura 3.3: Husillo de Bolas Recirculantes.

El sistema de Husillo consta de un hilo sinfín (generalmente de rosca cuadrada o ACME), y un acoplamiento fijado al conjunto mecánico a desplazar. El hilo sinfín gira por acción de un motor produciendo un desplazamiento longitudinal del acoplamiento en el sentido deseado. Las bolas garantizan la transmisión de esfuerzo del hilo sinfín al acoplamiento con un roce mínimo

3.2.2.1. Motores de Transmisión.

Para realizar los movimientos de diferentes ejes generalmente se utilizan motores de conmutación electrónica. Estos actuadores se caracterizan por su gran precisión al momento de girar.

Los tipos de motor más utilizados actualmente son:

- Motores Paso a Paso.

Son motores síncronos de gran precisión que se distinguen por rotar una cierta cantidad de grados por pulso. Su principio de funcionamiento está basado en un estator construido por varios arrollamientos independientes devanados sobre un material ferromagnético y un rotor que puede girar libremente en el interior del estator (**figura 3.4**).

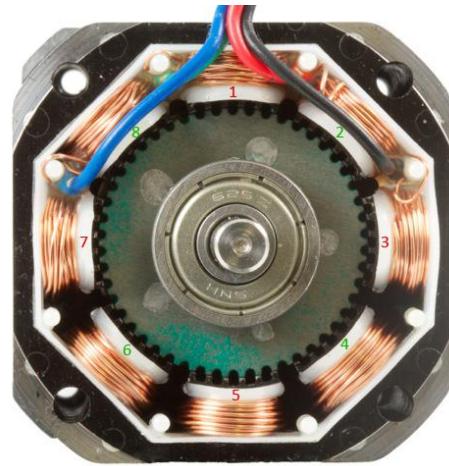


Figura 3.4: Vista Interna de un Motor Paso a Paso.

Una habilidad importante que poseen estos motores es que pueden quedar enclavados en una posición o totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor se enclava en la posición correspondiente y por el contrario, quedara completamente libre si no circula corriente por sus bobinas.

- **Servomotores.**

Estos motores son los más utilizados debido a su gran potencia y a que incorporan un codificador que controla las revoluciones exactas que da el motor (**figura 3.5**).



Figura 3.5: Vista Interna de un Servomotor.

3.2.3. Husillo Principal.

Este componente realiza la rotación de la herramienta. Su accionamiento se puede realizar mediante motores de corriente alterna o motores de corriente continua.

Según el tipo de máquina el husillo se puede disponer de diferentes maneras. Para herramientas como la fresadora y el taladro cuyo eje de ataque es el Z, la disposición del husillo es vertical (ver **figura 3.6**).



Figura 3.6: Husillo Principal en Disposición Vertical.

3.2.4. Sistemas de Control de Desplazamiento.

Los movimientos de los diferentes ejes no están garantizados debido a los posibles percances que pueden producirse durante el movimiento; falta de engrase, obstáculos durante el recorrido y holguras producidas por desgaste de material son algunos ejemplos de ello.

Los controles de posición corrigen los posibles problemas anteriormente mencionados. Mediante diferentes tecnologías indican con gran exactitud la posición de los ejes de una máquina. Los dispositivos más usados son ópticos y electromagnéticos.

El control de las posiciones de los elementos móviles de una MHCN se realiza por medio de dos sistemas:

- Control Directo (**figura 3.7**): Este sistema utiliza una regla graduada situada en cada guía de la máquina y un sistema óptico que controla constantemente la posición por conteo y transforma la información en señales eléctricas que luego envía al control numérico para su procesamiento.

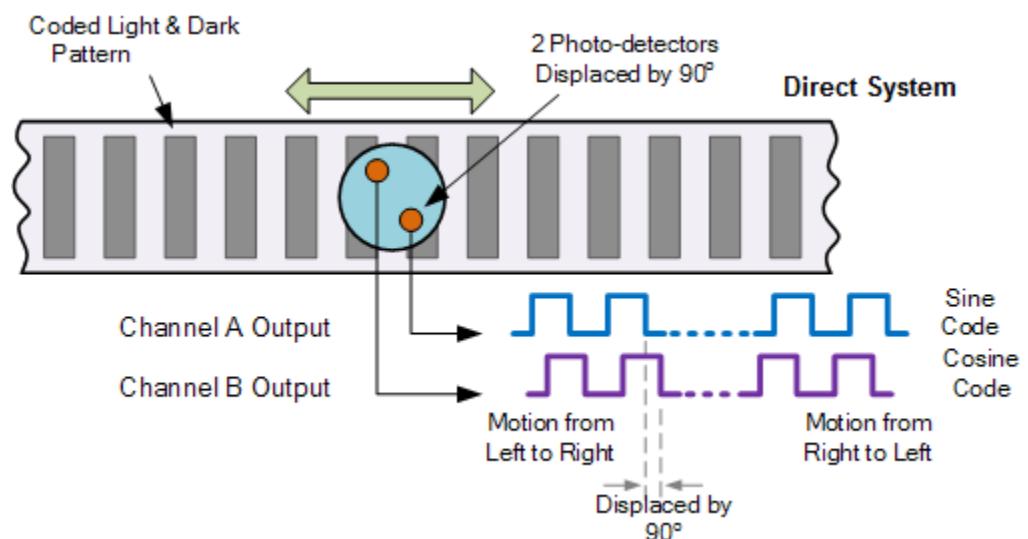


Figura 3.7: Sistema de Control Directo.

- Control indirecto (**figura 3.8**): Utiliza un disco ranurado acoplado al sinfín y un sistema óptico que registra los pulsos generados a partir del movimiento angular. El control numérico calcula la posición a partir del conteo de los pulsos generados durante el desplazamiento.

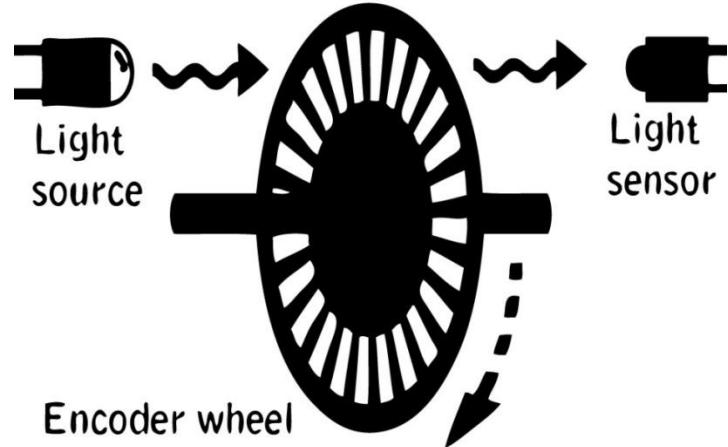


Figura 3.8: Sistema de Control Indirecto.

Los sistemas de conteo anterior pueden realizar la medición de posiciones absolutas (referidas al cero máquina), o incrementales (referidas a un punto significativo distinto del cero máquina).

3.3. Componentes del Sistema de Control Numérico.[16]

Básicamente se distinguen las siguientes partes en los sistemas CNC:

3.3.1. CPU (Unidad Central de Proceso).

Es el corazón del sistema. Su capacidad de cálculo determina el potencial del equipo. En la actualidad existen unidades integradas a las maquinas (**figura 3.9**), y computadoras convencionales adaptadas mediante paquetes de software especializado.



Figura 3.9: CPU Dedicada Marca FANUC.

Entre las funciones que tiene que realizar están las siguientes:

- Cálculo de la posición de ejes y los desplazamientos de la máquina.
- Control de los modos de operación.
- Dirigir señales de entrada y salida de los diferentes periféricos.
- Control de tráfico de datos.

3.3.2. Interfaz.

Es la unidad encargada de transmitir la información a los diferentes órganos de la maquina una vez procesada la información. Para grandes sistemas CNC se utilizan módulos PLC (controlador Lógico Programable), como el de la **figura 3.10**.



Figura 3.10: PLC de la Familia Siemens.

3.3.3. Periféricos de Entrada y Salida.

Son elementos que se comunican con la CPU a través de la interfaz para recibir o entregar información. Entre los más importantes se encuentran las interfaces hombre máquina (HMI), los sistemas de posicionamiento, los protocolos de comunicación (serie y USB), las botoneras y sensores.

3.4. Programación. [1],[3],[16],[17]

Un programa CNC es una lista secuencial de instrucciones de maquinado que serán ejecutadas por la máquina.

El lenguaje para elaborar programas CNC está compuesto por una serie de letras y números, conocidas como palabras. Una cantidad determinada de palabras forman un bloque y una serie sucesiva de bloques conforman el programa.

Ejemplo:

Palabras.

N003

G00

X12.5

Z-32.35

M08

Bloque.

N003 G00 X12.5 Z-32.35 M08

Programa.

N001 G28 X0. Z0.

N002 G90 G20 G18

N003 G00 X12.5 Z-32.35 M08

N004 G01 Z-50.62 F12.5

N005 G28 X0. Z0. M09

N006 M30

3.4.1. Variables de Programación CNC.

La mayoría de los programas contiene variables (direcciones), definidas por el programador para cada función específica.

- N: Número de bloque (inicio de bloque).
- G: Función preparatoria.
- X: Coordenada X.
- Y: Coordenada Y.
- Z: Coordenada Z.
- I: Localización en X del centro de un arco.
- J: Localización en Y del centro de un arco.
- K: Localización en Z del centro de un arco.
- S: Velocidad del husillo.
- F: Asigna velocidad de corte.
- M: Función miscelánea.

3.4.2. Fases de un Programa.

Se distinguen 3 fases en la estructura de un programa, estas son:

- Inicio: Contiene todas las instrucciones que preparan a la máquina para su operación.
- Remoción de material: Contiene las velocidades y movimientos de corte circular, lineales, movimientos rápidos, ciclos de corte, etc.
- Apagado de sistema: Contiene todos los códigos G y M que desactivan todas las opciones que fueron activadas en la fase de inicio. Funciones como el refrigerante y la velocidad de husillo deberán ser desactivadas antes de remover la pieza de la máquina.

Los bloques dentro de estas fases tienen las siguientes restricciones:

- Deben contener únicamente un solo movimiento de herramienta.
- Deben contener una única velocidad de corte.
- Deben contener únicamente una herramienta o velocidad de husillo.
- El número del bloque debe ser secuencial.

3.4.3. Estándares de Programación.

Normalmente se siguen 2 estándares mundiales:

- ISO 6983.
- EIA RS274.

Estos estándares rigen las instrucciones de programación (código), que permiten a la máquina herramienta llevar a cabo ciertas operaciones.

Por ejemplo las siguientes líneas ordenan que una fresadora CNC ejecute en la línea de código 100 un corte relativo al origen con un avance de 20[in/min] a lo largo del eje X 1.25 [in] y del eje Y 1.75[in].

N95 G90 G20

N100 G01 X1.25 Y1.75 F20

3.4.4. Sistema de Coordenadas Cartesiano.

Según los estándares anteriores, la programación de cualquier MHCN considera el sistema de coordenadas cartesiano para especificar las instrucciones relativas al movimiento que le indican a la herramienta las posiciones a alcanzar dentro de un plano definido. Las herramientas, según el tipo de máquina, se moverán en 2D ó 3D.

Las coordenadas 2D se utilizan fundamentalmente en tornos pues dispone solo de un plano de trabajo en el que se puede mover la herramienta. Las fresadoras también usan estas coordenadas cuando el desplazamiento se realiza exclusivamente a lo largo de cualquier plano de los 3 que dispone.

Las coordenadas 3D quedan exclusivamente para máquinas con más de 2 ejes de trabajo simultáneos, como la fresadora, y siempre que el movimiento se realice en los 3 ejes.

Las letras que se utilizan para identificar los ejes coordinados son las siguientes:

- X: Eje de abscisas.
- Y: Eje de ordenadas.
- Z: Eje de profundidad.

Es importante destacar que los signos matemáticos + y – no tienen sentido positivo o negativo sino un sentido de dirección. Los ejes están graduados para poder determinar un punto concreto.

3.4.4.1. Coordenadas Absolutas.

Son aquellas en las que cualquier punto definido en el plano toma como referencia el origen (cero), del sistema de coordenadas. Para coordenadas 2D el punto de origen es (0,0) mientras que para coordenadas 3D este punto es (0,0,0).

3.4.4.2 Coordenadas Relativas.

Este sistema de coordenadas se basa en indicar las coordenadas desde el último punto alcanzado hasta el siguiente, es decir que el origen se traslada al punto alcanzado.

3.4.5. Códigos G (G-Codes).

Son instrucciones que comandan cualquier tipo de movimientos que realicen tanto los ejes como el usillo del CNC, además rigen, controlan y verifican estos movimientos.

Existen 3 instrucciones básicas de movimiento; G00 (movimiento rápido), G01 (movimiento de avance lineal), y G02/03 (interpolación circular o avance de arcos). A partir de la combinación de estas instrucciones se crean ciclos más complejos.

Reglas de Uso.

Las siguientes reglas gobiernan el uso de códigos G en programación.

- i. Los códigos G se clasifican en grupos. Cada grupo de códigos tiene un número determinado donde cada uno de ellos tiene una instrucción específica.
- ii. Un código G del mismo grupo reemplaza a otro del mismo grupo. La regla universal en programación es que códigos G del mismo conjunto no se pueden usar en el mismo bloque, pues estos se cancelan entre sí.
- iii. Hay códigos modales, esto significa que permanecen activos hasta que otro código del mismo grupo los reemplace.
- iv. Hay códigos no-modales que solo son efectivos en la línea de programación e inmediatamente son olvidados por el control.

3.4.5.1. Software para la Elaboración de G-Codes.

Existe una gran variedad de programas gratuitos y de pago para la elaboración de G-Codes en el computador. Estas suites se conocen como programas CAM (manufactura asistida por computador), y son capaces tanto de crear el código G como de simularlo en tiempo real de manera interactiva.

El código G puede ser creado a partir de diversos formatos de imagen en 2D o modelos tridimensionales. Las extensiones de archivo más comunes son:

- SVG (Contornos 2D).
- DXF (Contornos 2D).
- STL (Modelos 3D).
- PS (Contornos 2D).

Los formatos de salida del G-Code dependen del tipo de trabajo a realizar. El más utilizado y además el que se usará en el software del taladro CNC propuesto es el formato NGC.

3.4.6. Códigos M (Miscellaneous).

Son Instrucciones que sirven para preparar el funcionamiento del equipo CNC. Estos códigos permiten la puesta en marcha de funciones complementarias en un proceso de mecanizado tales como arranque y paro de husillo, cambio de herramienta, refrigerante, paro de programa, etc.

Tanto los códigos G como los códigos misceláneos no mantienen una consecutividad uniforme por tratarse de códigos normalizados para una maquina específica, por lo tanto no todos ellos están presentes en la computadora de la máquina.

3.5. Puntos de Referencia en el Mecanizado.[1]

Al realizar la tarea de mecanizado es necesario que tanto la maquina como la pieza programada cuenten con un sistema de referencia adecuado que sirva como punto de orientación. Estos puntos se conocen como origen de máquina y origen de pieza.

3.5.1. Origen de Máquina.

Para poder mecanizar es necesario tener un punto fijo en algún lugar desde donde poder diferenciar los datos. Este punto se llama Origen Máquina o Cero Máquina y lo fija el fabricante de la misma (su ubicación depende de las características de la máquina).

El origen maquina se identifica con la letra **M** y su símbolo es el de la **figura 3.11**. Corresponde al origen del sistema de coordenadas de la máquina y es el punto de referencia para todo el resto del sistema de coordenadas.

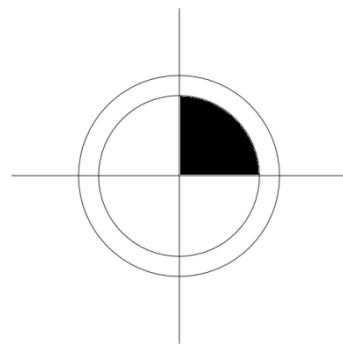


Figura 3.11: Símbolo de Cero Máquina.

3.5.2. Origen Pieza.

Al iniciar la programación de una pieza el programador debe conocer donde referenciar todas las medidas de dicha pieza. Este punto de referencia se llama Cero Pieza y es el programador quien decide cuál será su ubicación.

El origen pieza se identifica con la letra **W** y su símbolo asociado es el que muestra la **figura 3.12**.

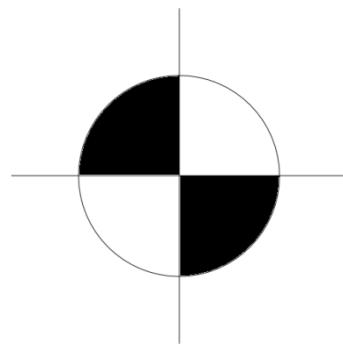


Figura 3.12: Símbolo de Cero Pieza.

CAPITULO 4: ANALISIS DE DISEÑO.

4. Análisis de Diseño.

En el capítulo anterior se abordaron los fundamentos básicos referentes al CNC. A partir de esa información es posible idear un esquema de diseño que permite la transformación de un taladro eléctrico de operación manual en un sistema automatizado basado en tecnología de control numérico.

En este capítulo se realiza una detallada descripción¹ del proceso de diseño que considera los siguientes sistemas de hardware y software:

- Sistema Mecánico: Incluye la mecánica estructural y de desplazamiento basada en algunos materiales reacondicionados para satisfacer los requerimientos de diseño.
- Sistema Electromecánico: Incluye los motores de precisión y el taladro.
- Sistema Electrónico: Incluye los dispositivos de control y potencia que conforman la unidad de control.
- Sistema de Software: Incluye las herramientas de control y creación de programas basados en G-code.

4.1. Descripción General del Sistema Propuesto.

Para saber que componentes requiere la maquina se han observado las características técnicas de algunos equipos comerciales de la compañía “JINAN EAGLE CNC MACHINE CO. LTD”[18]. La **figura 4.1** muestra los principales elementos presentes en el prototipo a diseñar; un computador con el software CNC, un sistema electrónico llamado unidad de control y la máquina herramienta.

¹ Todas las dimensiones se especifican en los Anexos A, B y C.



Figura 4.1: Esquema General del Prototipo.

El software CNC contiene las utilidades para la generación de archivos G-code y la interfaz gráfica de usuario (GUI), para el control de la máquina herramienta. La unidad de control incluye todo el hardware electrónico de control y comunicación. Por último, la máquina herramienta es el conjunto que realiza el trabajo sobre la PCB (placa de circuito impreso).

Para el modelado 3D se ha empleado el software Sketchup versión 2013. Mientras que el diseño de placas de circuito impreso se ha hecho con el software Eagle versión 6.1.0.

4.2. Sistema Mecánico.

En el ámbito estructural se ha ideado un esquema del tipo puente fijo. Este se compone de un primer soporte rectangular que actúa de base y dos pilares que sostienen un segundo soporte rectangular.

La mecánica de desplazamiento por su parte se compone de un sistema de transmisión que permite el movimiento de 3 plataformas. Las plataformas se han dispuesto de la siguiente forma; 2 plataformas móviles verticales (ejes Z e Y), y 1 plataforma móvil horizontal (eje X). La **figura 4.2** permite visualizar la descripción de la estructura y la ubicación de las plataformas.

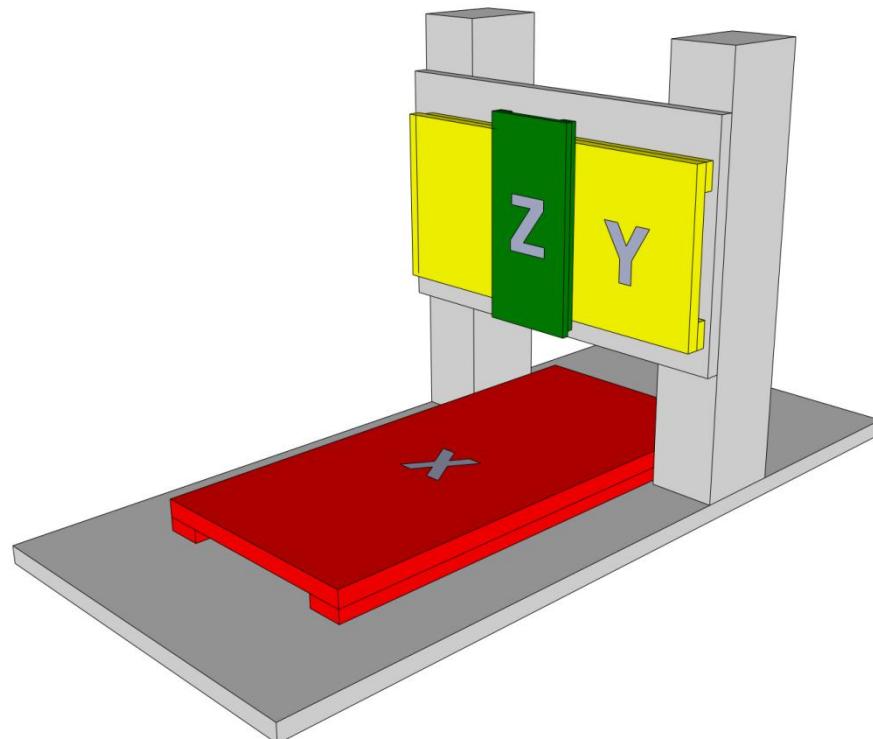


Figura 4.2: Ubicación de Plataformas Móviles en la Estructura.

Función de las Plataformas:

- Plataforma X: Realiza el desplazamiento en el eje X y además es el punto de fijación de la placa de circuito impreso. Está apoyada sobre el soporte base de la estructura por medio de un par de guías.
- Plataforma Y: Realiza el desplazamiento en el eje Y. Se apoya sobre el soporte vertical mediante un par de guías.
- Plataforma Z: Realiza el desplazamiento en el eje Z para controlar el acenso/descenso de un cabezal que sostiene el mini taladro. Se apoya sobre la plataforma Y por medio de un par de guías.

La **figura 4.3** y la **tabla 4.1** describen los diferentes componentes que forman parte del sistema mecánico.

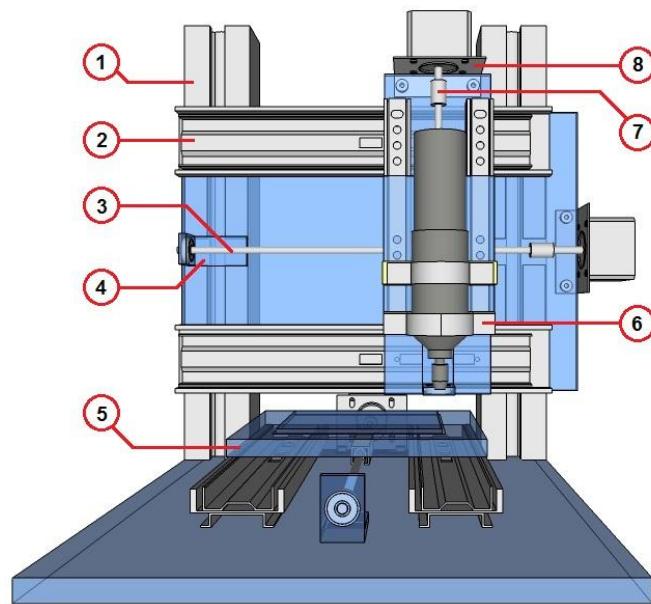


Figura 4.3: Sistema Mecánico.

Tabla 4.1: Descripción de Componentes

Número	Descripción
1	Pilares
2	Guías
3	Sistema de Transmisión
4	Soportes para Varillas Roscadas
5	Plataformas móviles
6	Cabezal
7	Coplas
8	Soportes para Motores.

El volumen máximo de trabajo de la máquina herramienta es de $\approx 57.600 [cm^3]$ como muestra la **figura 4.4**. Se ha considerado la extensión máxima de las correderas y la altura de los pilares para determinar las medidas.

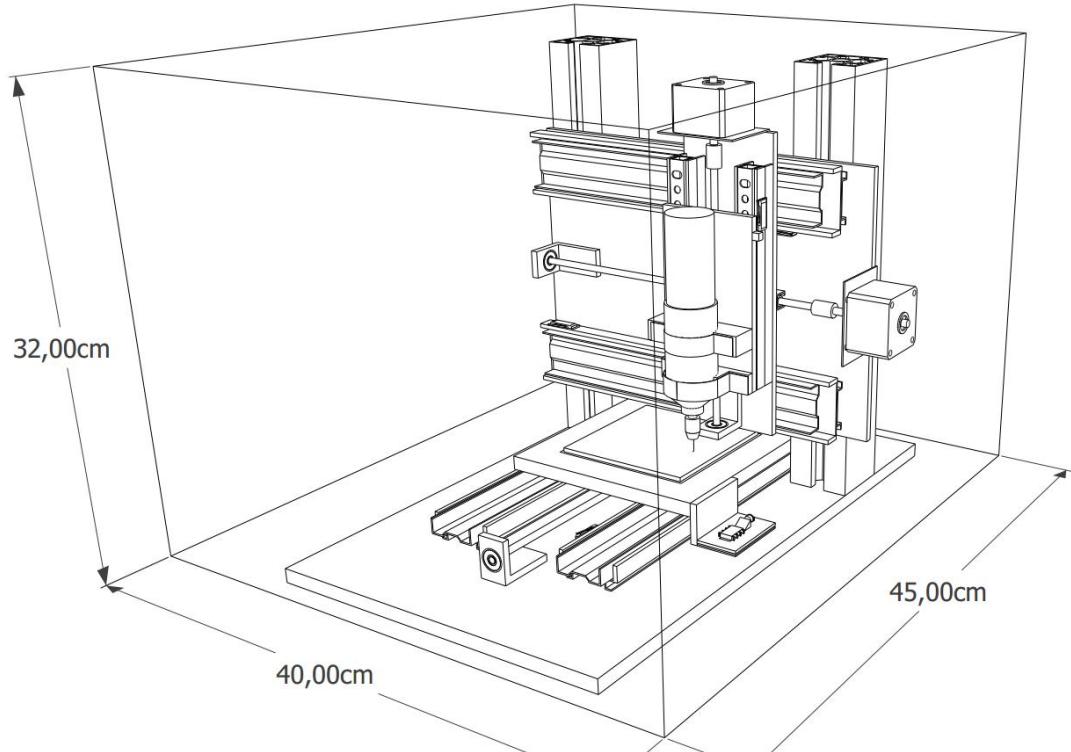


Figura 4.4: Volumen de Trabajo Máximo del Taladro CNC.

4.2.1. Selección de Materiales.

Existen diversas alternativas en cuanto a los materiales que se pueden emplear para construir la estructura del taladro CNC. A nivel comercial el material más usado para la construcción de pequeñas máquinas de control numérico es el aluminio (**figura 4.5**), sin embargo existen otros elementos que comparten características similares a este último y que se han considerado. La **tabla 4.2** muestra una comparativa de diferentes materiales candidatos para el diseño del sistema mecánico.



Figura 4.5: Fresadora CNC Típica Construida en Aluminio.

Tabla 4.2: Comparativa de Diferentes Materiales.

[19],[20],[21],[22],[23]

Material	Ventajas	Desventajas
Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> Ligero (pesa 1/3 del acero con igual volumen). Resistente. Inmune al oxido y a la corrosión. Estructura uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> Dificultad de unir con otros materiales.
Acero	<ul style="list-style-type: none"> Alta resistencia mecánica. Dúctil. Se puede soldar. Estructura uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> Susceptible a oxidación y a corrosión. Pesado.
Madera aglomerada	<ul style="list-style-type: none"> Económica. Fácil de trabajar. Ligera. 	<ul style="list-style-type: none"> Susceptible a dilatación por temperatura y/o humedad. Inestabilidad dimensional.
Acrílico	<ul style="list-style-type: none"> Ligero. Durable. Resistente. Uniforme 	<ul style="list-style-type: none"> Susceptible a rayas.

Debido a que los materiales de la tabla anterior presentan diversas características se han considerado los siguientes factores de diseño para elegir los más adecuados.

- a. Peso: Peso de la maquina en relación a su tamaño.
- b. Resistencia mecánica: Resistencia de la estructura frente al esfuerzo mecánico que provoca la maquina en régimen activo.
- c. Durabilidad: Resistencia de los materiales a factores como la temperatura y la humedad.
- d. Precisión: Capacidad de la máquina de posicionar el cabezal en algún punto requerido. La precisión tiene directa relación con la mecánica de la estructura.

Al contrastar la tabla anterior con los factores de diseño se ha determinado que el acrílico y el aluminio son los candidatos que poseen las mayores prestaciones y que son aptos para conformar todo el sistema estructural y de plataformas. Ambos materiales son livianos, ofrecen buena resistencia mecánica, son duraderos y no presentan problemas de dilatación. La madera se ha descartado de plano debido a que su inestabilidad dimensional puede influir negativamente en la precisión del sistema ante variaciones térmicas. Por su parte el acero ha sido considerado exclusivamente en el diseño del sistema móvil de la estructura para evitar que el conjunto tenga un peso excesivo. Respecto de este último material se ha considerado pertinente el uso de estructuras recubiertas de zinc o de algún esmalte protector para evitar la corrosión.

4.2.2. Especificaciones de Diseño.

- **Soportes Principales:** Estos soportes son el sostén de toda la mecánica. Se han dispuesto dos placas de acrílico rectangulares de la forma descrita en la **figura 4.6**. Para el soporte base y para el superior se han elegido espesores de 10mm y 5mm respectivamente.

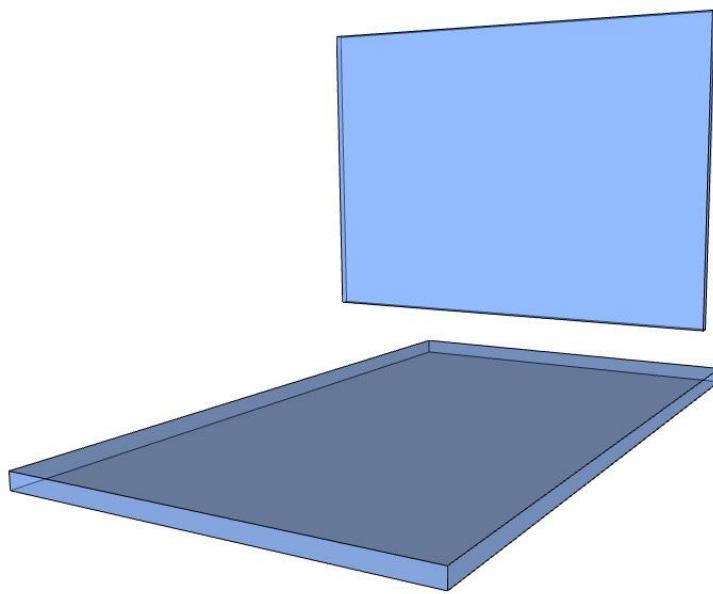


Figura 4.6: Disposición de Soportes Principales.

- **Pilares:** Estas piezas son el apoyo del soporte vertical anteriormente descrito. Para su diseño se ha pensado en un perfil de aluminio como el de la **figura 4.7** que se caracteriza por tener un ranurado en la parte frontal además de un hueco central para su fijación mediante una varilla roscada. El diseño de los pilares incluye 4 separadores rectangulares de goma que ayudan a absorber las vibraciones de la máquina.

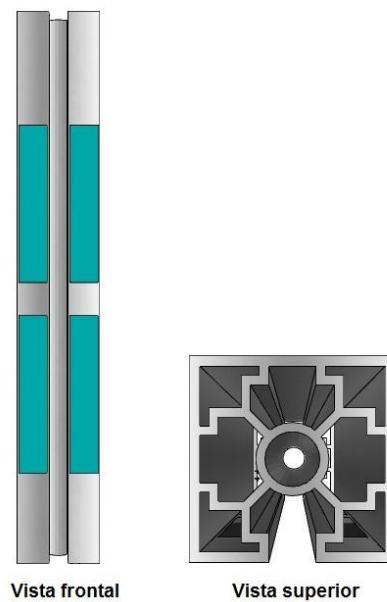


Figura 4.7: Pilar de Aluminio.

- **Plataformas Móviles:** Se han dispuesto según el estándar EIA-267-C (ver **figura 4.8**). Las plataformas Z e Y tienen un espesor de 5mm mientras que la plataforma X tiene un espesor de 10mm debido a que soporta la fuerza ejercida por la herramienta al momento de perforar la pieza . El material empleado para todas las plataformas es acrílico.

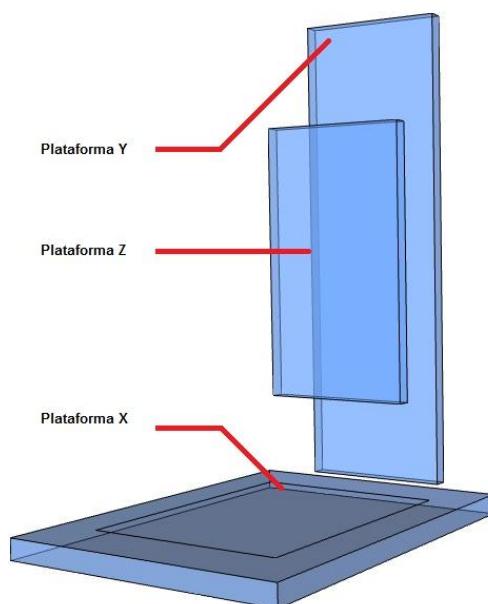


Figura 4.8: Disposición de Bases Móviles X, Y, Z.

- **Guías:** Se ha ideado un sistema basado en correderas para conseguir un movimiento suave y sin holguras de las plataformas móviles. En los ejes X e Y se ha planteado un diseño de correderas telescópicas de acero esmaltado modificadas (**figura 4.9**). [24] Considerando el tamaño de la plataforma Z se han elegido correderas simples de acero zincado modificadas (**figura 4.10**).

Adicionalmente el sistema de correderas incluye un sistema de soportes de acero zincado para dar mayor altura a las plataformas.

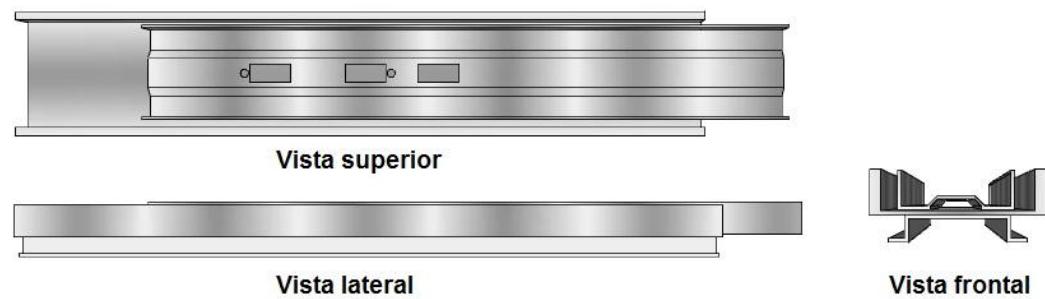


Figura 4.9: Corredera y Soporte para X e Y.

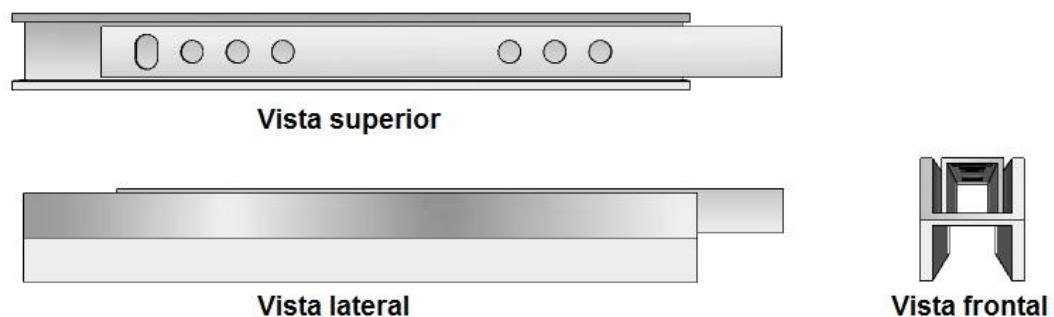


Figura 4.10: Corredera y Soporte para Z.

- **Soporte de Motores:** El perfil diseñado para esta tarea es el mostrado en la **figura 4.11**. El material de construcción de este elemento es acero esmaltado.

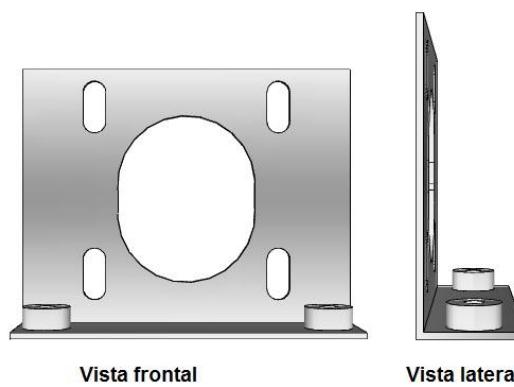


Figura 4.11: Soporte para Motores Paso a Paso.

- **Cabezal:** Se han diseñado 2 soportes base de material plástico como elementos de apoyo para el mini taladro. Para la sujeción de este último se ha desarrollado un sistema de abrazaderas de acero plata. La **figura 4.12** ofrece diferentes vistas de los elementos que conforman el cabezal.

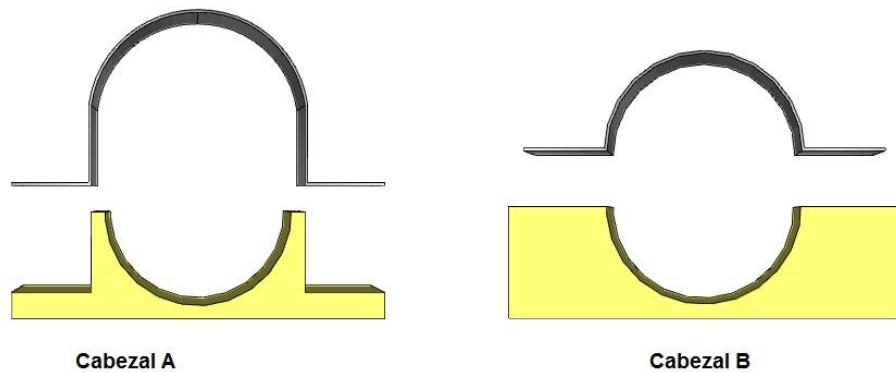


Figura 4.12: Elementos del Cabezal.

- **Transmisión:** Para el desplazamiento en los ejes se ha diseñado un sistema de transmisión que transforma el movimiento angular en movimiento lineal mediante una varilla roscada [25] y un perfil de aluminio de doble tuerca que actúa como soporte móvil (ver **figura 4.13**). Se ha pensado en una unión rígida como elemento de acople entre el motor y la varilla roscada. Además se ha incluido un rodamiento de descanso apoyado en un soporte tipo L para evitar vibraciones producidas por el descentrado de la varilla.

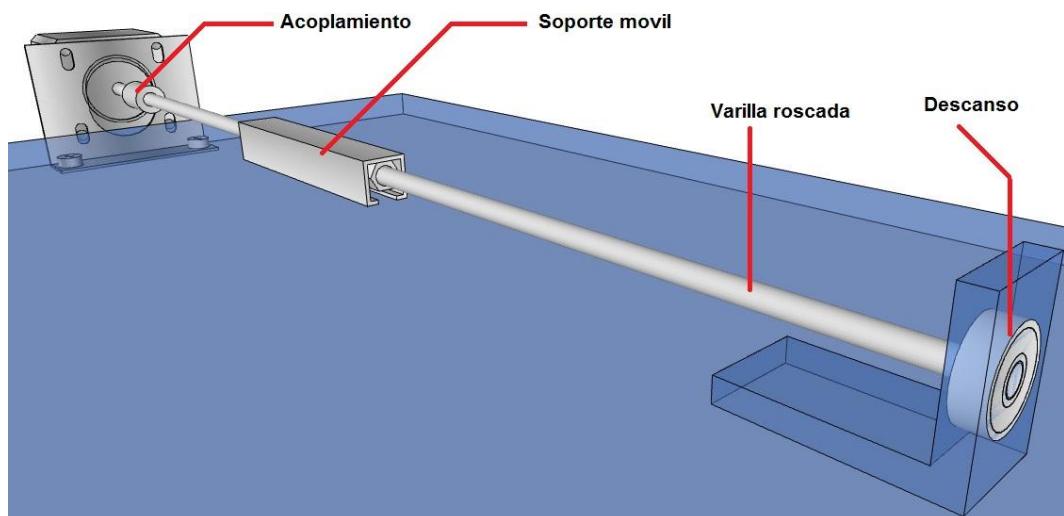


Figura 4.13: Sistema de Transmisión.

4.3. Sistema Electromecánico.

4.3.1. Elección del Motor de Precisión.

En el mercado existen dos alternativas para aplicaciones que requieran precisión, motores paso a paso (de ahora en adelante motor pap) y servomotores (**figura 4.14**).

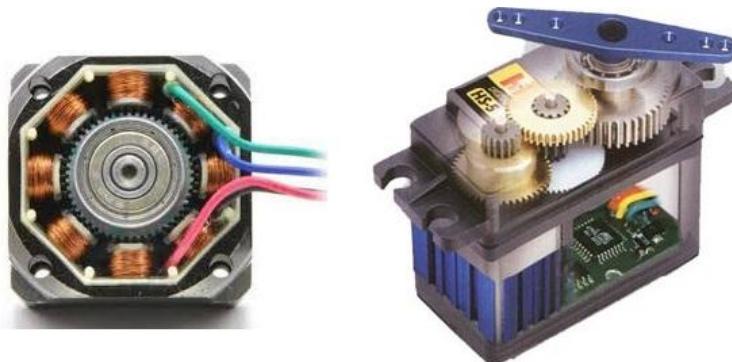


Figura 4.14: Motor Paso a Paso (Izq.) Motor Servo (Der.).

Para elegir el motor más adecuado ha sido necesario hacer el siguiente contraste de características con el objeto de desvelar las ventajas de cada sistema.[26]

a. Velocidad.

Existe una relación inversa entre velocidad y torque para los motores pap, es decir que a mayor velocidad el torque decrece. Por su parte los servomotores mantienen un torque constante hasta su velocidad nominal. Como criterio general por encima de 1000RPM debe usarse un servomotor, mientras que si se requieren velocidades inferiores a las 500RPM es mejor pensar en un motor paso a paso ya que tiene un torque más alto que un servomotor de tamaño equivalente.

b. Realimentación.

Los motores pap son de lazo abierto mientras que los servomotores son de lazo cerrado.

c. Resolución.

Se refiere al paso más pequeño al que puede moverse un motor. Los motores paso a paso típicos tienen 200 pasos por vuelta ($1.8^\circ/\text{paso}$). Además el driver puede configurarse en modo medio paso (400 pasos/vuelta) o incluso micro pasos (hasta 25000 pasos/vuelta). La resolución del servomotor se basa en un codificador con valores típicos de 500 hasta 2000 pasos/vuelta. Si se usa un codificador de cuadratura la resolución se multiplica por cuatro.

d. Precio.

Los motores paso a paso tienen a ser hasta un 20% más económicos que un servomotor.

e. Mantención.

Los motores paso a paso no tienen escobillas y por ende no requieren mantenimiento. Los servomotores sin embargo necesitan mantención de escobillas. Existen actualmente servomotores sin escobillas (brushless).

Luego de la comparación anterior se ha elegido el motor paso a paso debido a sus mejores prestaciones en cuanto a fuerza, resolución y tamaño.

Para compensar ausencia de un sistema de realimentación en el motor pap se ha ideado el diseño de un sistema de posicionamiento externo que será estudiado posteriormente.

4.3.1.1. Criterio de Selección del Motor Paso a Paso.[27]

El taladro CNC requiere 3 motores pap (uno por cada eje) para que el cabezal con la herramienta se desplace sin problemas en el espacio. Por conveniencia se ha elegido el uso de un solo tipo de motor para esta aplicación debido a que se simplifica el diseño de soportes, controladores, sistemas de transmisión y acoplamiento.

Para una correcta elección del motor se ha aplicado el criterio descrito en el manual de motores paso a paso Surestep. Este criterio consta de 5 pasos que permiten elegir el equipo adecuado según los requerimientos establecidos.

Paso 1: Definición de Necesidades del Actuador y del Movimiento.

Tipo de Actuador: Varilla roscada.

Eficiencia: 0.5.

ρ : 7700Kg/m³ (densidad del acero).

Peso de la base: 1[kg].

Angulo de inclinación: 0°.

Diámetro del tornillo: 5[mm].

Longitud del tornillo: 350[mm].

Paso del tornillo (pitch): 0.8[mm/vuelta] (1.25[vueltas/mm] ó 1250[vueltas/m])

Material del tornillo: Acero Galvanizado.

Resolución deseada: 0.005[mm/paso].

Movimiento: 100[mm].

Coeficiente de fricción de superficies que se deslizan: 0.05. (metal sobre metal)

Tiempo Total: 10[s].

Tiempo de aceleración (25% del tiempo total): 2.5[s].

Frecuencia inicial de partida: 0[Hz].

Paso 2: Determinación de la Resolución de la Carga.

Resolución requerida: **0.005[mm/paso]**

$$0.005\text{mm} \rightarrow 1 \text{ paso}$$

$$0.8\text{mm} \rightarrow x \text{ pasos}$$

$$x = \frac{1 * 0.8}{0.005} = 160 \text{ pasos.}$$

Finalmente el ángulo de paso mínimo que requiere el motor es:

$$\frac{360^\circ}{160} = 2.25^\circ/\text{paso}.$$

Por lo tanto un motor que tenga un ángulo de paso de $1.8^\circ/\text{paso}$ cumple el requerimiento ya que:

$$\frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200 \text{ pasos}$$

$$0.8\text{mm} \rightarrow 200 \text{ pasos}$$

$$x \rightarrow 1 \text{ paso}$$

$$x = \frac{0.8}{200} = 0.004\text{mm}.$$

Lo que significa que se tiene una resolución de 0.004mm/paso .

Paso 3: Determinación del Perfil de Movimiento.

El tipo más básico de maniobra es un perfil “partir-parar” donde no hay un periodo de aceleración o uno de desaceleración. Este tipo de perfil de movimiento se usa solamente para aplicaciones de baja velocidad porque la carga “se mueve de un tirón” a partir de una velocidad a otra y el motor que gira se atascara o le faltaran pulsos si se trata de hacer cambios excesivos de velocidad. La fórmula para encontrar la velocidad del tren de pulsos para el movimiento partir parar es:

$$F_{ss} = \frac{P_{total}}{t_{total}} [\text{Hz}] \quad (2)$$

Dónde:

P_{total} =Pulsos totales.

t_{total} = Tiempo del movimiento.

F_{ss} = Frecuencia de pulsos.

Los pulsos necesarios para hacer un movimiento de 100[mm] se calculan mediante la expresión:

$$P_{total} = \frac{D_{total} * P_{motor}}{Pitch} \quad (3)$$

Dónde:

D_{total} = Distancia total de movimiento.

P_{motor} = Pasos por vuelta del motor.

$Pitch$ = Paso del tornillo.

Calculando:

$$P_{total} = \frac{100 * 200}{0.8} = 25.000 \text{ pulsos}$$

Frecuencia del tren de pulsos.

$$F_{ss} = \frac{25000}{10} = 2500[\text{Hz}]$$

Por otro lado es necesario calcular las RPM del motor.

$$1 \text{ vuelta} \rightarrow 0.8 \text{ mm}$$

$$x \rightarrow 100 \text{ mm}$$

$$x = \frac{100*1}{0.8} = 125 \text{ vueltas}$$

Por lo tanto se necesitan 125 vueltas para avanzar 100[mm]. Entonces en 10 segundos el eje del motor debe dar 125 vueltas.

Por lo tanto:

$$125 \text{ vueltas} \rightarrow 10 \text{ s}$$

$$y \rightarrow 60 \text{ s}$$

$$y = \frac{60*125}{10} = 750[\text{RPM}]$$

Es decir que el motor necesita una velocidad de 750 rpm para desplazar la carga una distancia de 100[mm] en 10[s].

Paso 4: Determinación del Torque Necesario para Mover la Carga.

$$J_{total} = J_{motor} + J_{reductor} + \left(\frac{J_{acoplamiento} + J_{tornillo} + J_{carga}}{i^2} \right) \quad (4)$$

Se puede despreciar la inercia del reductor y del acoplamiento para simplificar la ecuación.

$$J_{total} = J_{motor} + \left(\frac{J_{tornillo} + J_{carga}}{i^2} \right) \quad (5)$$

$$J_{carga} = \frac{masa}{e} * \left(\frac{1}{2\pi P} \right)^2 \quad (6)$$

$$J_{carga} = \frac{1}{0.5} * \left(\frac{1}{2\pi * 1250} \right)^2 = 0.03242 * 10^{-6} [kg \cdot m^2]$$

$$J_{tornillo} = \pi * L * \rho * r^4 \quad (7)$$

$$J_{tornillo} = \pi * 0.35 * 7700 * 0.0025^4 = 0.3307 * 10^{-6} [kg \cdot m^2]$$

La inercia de la carga y el tornillo reflejados al eje del motor es:

$$\begin{aligned} J_{(tornillo+carga)|motor} \\ = \left((J_{tornillo} + J_{carga}) \div i^2 \right) [kg \cdot m^2] \end{aligned} \quad (8)$$

$$J_{(tornillo+carga)|motor} = \left((0.03242 * 10^{-6} + 0.3307 * 10^{-6}) \div 1^2 \right) [kg \cdot m^2]$$

$$J_{(tornillo+carga)|motor} = 0.36312 * 10^{-6} [kg \cdot m^2]$$

Torque requerido para acelerar la inercia.

$$T_{acel} = J_{total} * \left(\frac{\Delta_{velocidad}}{\Delta_{tiempo}} \right) * 2\pi * \frac{1}{60} \quad (9)$$

$$T_{acel} = 0.36312 * 10^{-6} * \left(\frac{750}{2.5}\right) * 2\pi * \frac{1}{60} = 11.41 * 10^{-6} [N \cdot m]$$

Calculo de torque resistivo.

$$T_{resist} = \frac{\left(\frac{F_{total}}{2\pi P}\right)}{i} \quad (10)$$

$$F_{total} = F_{ext} + F_{friccion} + F_{gravedad} \quad (11)$$

$$F_{total} = 0 + \mu * masa * cos\theta * 9.81 + 0 = 0.05 * 1 * 1 * 9.81 = 0.4905 [N]$$

$$T_{resist} = \frac{\left(\frac{0.4905}{2\pi * 1250}\right)}{1} = 62.45 * 10^{-6} [N \cdot m]$$

Torque suministrado por el motor:

$$T_{movimiento} = T_{acel} + T_{resist} \quad (12)$$

$$T_{movimiento} = 11.41 * 10^{-6} + 62.45 * 10^{-6} = 73.86 [N \cdot m]$$

Sin embargo el torque anterior no incluye la inercia del motor ya que aún no se elige uno.

Paso 5: Selección y Confirmación del Motor.

Se ha seleccionado como candidato uno cuya inercia de motor es la siguiente:

$$J_{motor} = 0.0000024 [kg \cdot m^2]$$

El torque real del motor es:

$$T_{acel} = (J_{total} + J_{motor}) * \left(\frac{\Delta_{velocidad}}{\Delta_{tiempo}} \right) * 2\pi * \frac{1}{60} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} T_{acel} &= (0.36312 * 10^{-6} + 2.4 * 10^{-6}) * \left(\frac{750}{2.5} \right) * 2\pi * \frac{1}{60} \\ &= 86.81 * 10^{-6} [N \cdot m] \end{aligned}$$

$$T_{motor} = T_{acel} + T_{resist} \quad (14)$$

$$T_{motor} = 86.81 * 10^{-6} + 62.45 * 10^{-6} = 0.14926 * 10^{-3} [N \cdot m]$$

$$T_{motor} = 0.00014926 [N \cdot m]$$

Considerando un margen de seguridad del 100%

$$T_{motor} = 0.00029852 [N \cdot m]$$

Una vez que se han hecho los cálculos necesarios ya es posible elegir un motor que cumpla con los requerimientos de resolución y torque especificados. En el mercado nacional “CASA ROYAL” tiene en su catálogo algunos motores paso a paso de la empresa “CHANGZHOU FULLING MOTOR CO. LTDA.” Se ha seleccionado el modelo FL39ST38-0504A cuyas especificaciones técnicas son las que se muestran en la **tabla 4.3**.

Tabla 4.3: Especificaciones del Motor Paso a Paso Bipolar.

Marca	Fulling Motor.
Modelo	FL39ST38-0504A
Tipo de motor	Híbrido.
Pasos por vuelta	200
Ángulo de paso	1.8°
Voltaje	12[V]
Corriente	0.5[A]

Exactitud de ángulo por paso	$\pm 5\%$
Fase	Bipolar
Resistencia de fase	24 Ohm
Exactitud de resistencia	$\pm 10\%$
Inductancia de fase	45[mH]
Exactitud de inductancia	$\pm 40\%$
Torque de enganche	2900[g · cm]
Temperatura	-20°C a 50°C
Fuerza radial máxima	28[N]
Fuerza axial máxima	10[N]
Nº de cables	4
Inercia de rotor	24[g · cm ²]
Torque de detección	0.2[kg · m ²]
Longitud	38mm
Peso	0.2kg

Para saber si el motor es capaz de generar el torque requerido a una velocidad de 750RPM es necesario observar su gráfico asociado (**figura 4.15**).

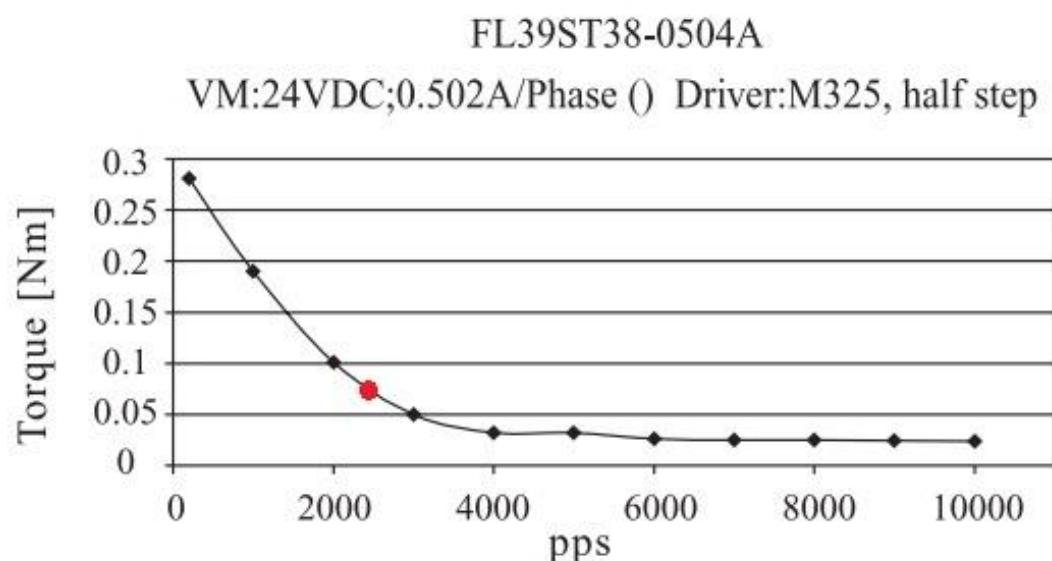


Figura 4.15: Curva de Respuesta del Torque ante Variaciones de Velocidad.

La velocidad del motor se muestra en pps (pasos por segundo), por lo tanto es necesario hacer la conversión correspondiente de la velocidad calculada en RPM.

$$750[\text{RPM}] = 750 \text{ vueltas por minuto}$$

$$750 \text{ vueltas} \rightarrow 60 \text{ segundo}$$

$$x \text{ vueltas} \rightarrow 1 \text{ segundo}$$

$$x = \frac{750}{60} = 12.5 \text{ vueltas}$$

$$\text{el motor gira a } 12.5[\text{vueltas/s}]$$

$$12.5 * 200 = 2500 \text{ pps}$$

Observando la **figura 4.15** se aprecia que a una velocidad de 2500pps se tiene aproximadamente un torque de 0.075[N·m].

Comparando los parámetros calculados y los especificados por el motor (**tabla 4.4**) se puede afirmar que el motor elegido es adecuado ya que cumple los requerimientos.

Tabla 4.4: Comparación de Requerimientos.

Parámetros	resolución	Torque [N · m]
calculados	0.005mm/paso	$298.52 * 10^{-6}$
motor	0.004mm/paso	$75000 * 10^{-6}$

4.3.2. Elección del Taladro.

El criterio de selección para esta herramienta ha sido sencillo debido a que en el mercado existen taladros especialmente fabricados para la perforación de PCB's. Nuevamente se ha observado el catálogo de productos de CASA ROYAL y se ha elegido el modelo cuyas características se exponen en la **tabla 4.5**.

Tabla 4.5: Características del Mini Taladro para PCB.

Marca	Genérico
Modelo	AD 18
Tensión de alimentación	12[v] cc (requiere fuente externa)
Potencia de consumo	6[w]
Velocidad de rotación	14.000[rpm] (no regulable)
Diámetro de las brocas	0.8 a 3[mm]
Dimensiones aproximadas	L15.65xD3.5[cm]

En la **figura 4.16** se muestra el mini taladro seleccionado.



Figura 4.16: Mini Taladro AD18.

4.4. Sistema Electrónico (Unidad de Control).

Se han planteado los siguientes componentes como parte de la unidad de control.

- Fuente de Alimentación: Sistema que energiza toda la unidad de control.
- Interfaz: Dispositivo que permite la comunicación entre el taladro y el software controlador.
- Controlador: Elemento que gobierna el motor.
- Realimentación: Grupo de elementos encargados de verificar y corregir la posición de las plataformas móviles.

En la **figura 4.17** se exhibe un modelo simplificado de la unidad de control. En la vista superior se puede ver la distribución de componentes según sus dimensiones (estas se especifican en el **anexo B**). Por su parte la vista frontal muestra una idea de lo que podría ser un panel frontal simple; un interruptor general y uno de activación de la herramienta, junto con luces que indican el estado de los motores.

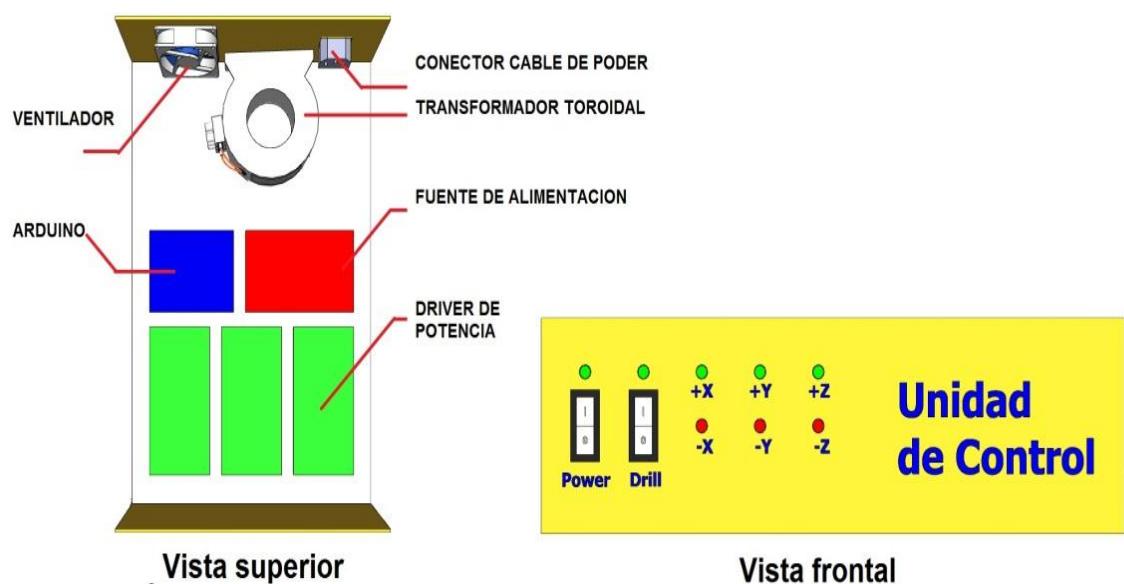


Figura 4.17: Componentes de la Unidad de Control.

La realimentación es el único elemento externo que no aparece en la **figura 4.17** ya que se incorpora en la máquina herramienta.

4.4.1. Fuente de Alimentación.[28]

Para esta aplicación se requiere una fuente de alimentación simple que permita energizar tanto la etapa de potencia (motores) como la etapa de control (Tarjetas electrónicas). Lo anterior implica que se requieren 2 tensiones diferentes para alimentar todo el sistema. La **tabla 4.6** muestra los requerimientos de la fuente calculados a partir de las especificaciones detalladas en la hoja de datos de los componentes.

Tabla 4.6: Requerimientos de la Fuente.

Elemento	Tensión [v]	Corriente [A]	Potencia [W]
Encoders*	5	0.090	0.45
Hex Inversor	5	0.020	0.1
Driver de Potencia Etapa Lógica*	5	0.108	0.54
Driver de Potencia Etapa de Potencia*	12	3	36
Mini Taladro	12	1	12
Total	No Aplica	4.218	49.09

*Consumos Totales que consideran el consumo máximo de los C.I. L298N y MCS12085. Ademas se considera el factor de seguridad de 100% para el consumo de corriente de los motores.

Diseño.

Se ha realizado el diagrama de la **figura 4.18** como propuesta de diseño.

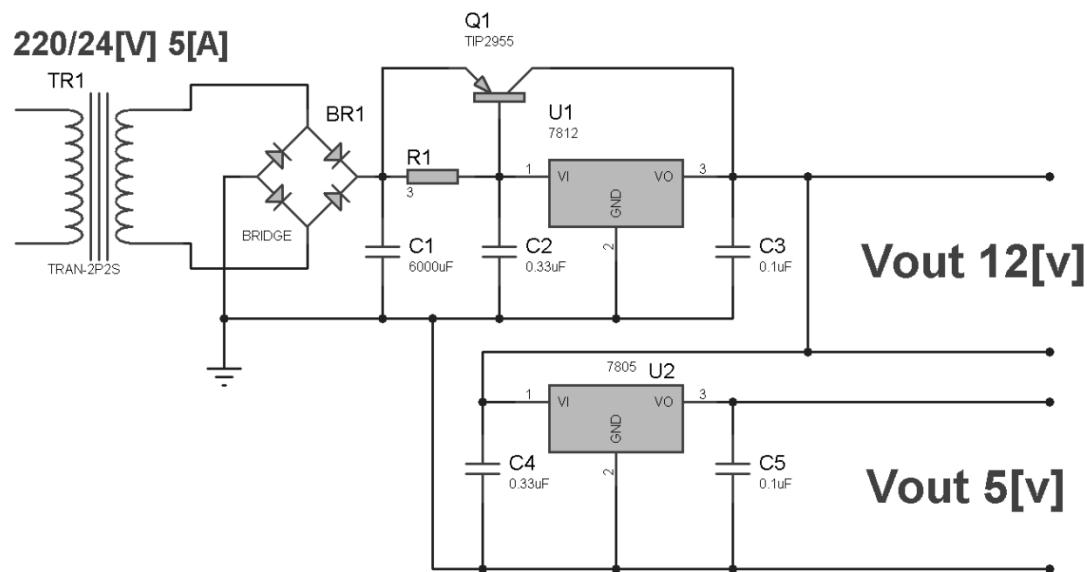


Figura 4.18: Fuente de Alimentación con Salidas de 12[v] y 5[v].

Interpretación del diagrama: El transformador TR1 reduce la tensión de la red a 24vrms ac. Luego el puente rectificador BR1 transforma la tensión ac a tensión DC.

Posteriormente el condensador C1 transforma la tensión DC a tensión CC no regulada. La siguiente etapa consiste en un regulador de tensión 7812 que reduce la tensión a 12v cc regulados. Para poder satisfacer la demanda de corriente se ha conectado un transistor PNP complementario según especificaciones del datasheet ya que el C.I. 7812 solo soporta 1[A] como corriente de carga. Por último, se ha conectado un regulador 7805 paralelo al regulador anterior. Este regulador disminuye la tensión de 12[v] a 5[v].

Elección de Componentes.

Se ha considerado un transformador de 220/24vrms y 5[A] para poder asegurar una tensión de trabajo adecuada a la entrada del regulador y una corriente holgadamente mayor a la requerida por la carga.

El condensador necesario para actuar de filtro se ha calculado mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{I_c}{2 * F * V_r} \quad (15)$$

Dónde:

I_c : Corriente de la carga en Amperes.

F : Frecuencia de la red.

V_r : Voltaje de rizado en volts.

Arbitriariamente se ha considerado un voltaje de rizado de 7.5[v] ($\approx 22\% \text{ de } V_{peak}$) a la salida del condensador que actúa de filtro (C1).

$$C = \frac{4.5}{2 * 50 * 7.5} = 6000 \mu F$$

Por seguridad se ha elegido un puente rectificador capaz de soportar corrientes de hasta 6[A].

Los reguladores elegidos son el LM7805 y LM7812 para las tensiones de 5[v] y 12[v] respectivamente. Como transistor complementario se ha seleccionado el TIP2955 ya que disipa una potencia máxima de 100[w].

La **tabla 4.7** incluye todos los elementos necesarios para construir la fuente de alimentación a excepción de los disipadores de temperatura.

Tabla 4.7: Componentes de la Fuente de Alimentación.

Elemento	Características	Cantidad
Transformador T050 (toroidal)	220/24[v] 5[A]	1
LM7805	Vin(max)=35[v] cc Imax=1[A]	1
LM7812	Vin(max)=35[v] cc Imax=1A	1
KBU6A	Vin=250[v] ac Imax=6[A]	1
Transistor PNP TIP2955	100[w]	1
Condensador Electrolítico	6000[uF] / 50[v]	1
Condensador Electrolítico	0.33[uF] / 50[v]	2
Condensador Electrolítico	0.1[uF] / 50[v]	2
Conecotor Molex	Macho de 2 pines	1
Conecotor Molex	Macho de 3 Pines	1

Diseño de la Placa de Circuito Impreso.[29]

Calculo del ancho de pista: Este parámetro depende de la corriente que circula por el circuito. Se ha considerado la corriente nominal más un factor de seguridad del 100% para calcular el ancho de las pistas.

$$A_{pista} = \frac{A}{h * 1.378} [mils] \quad (16)$$

Dónde:

A_{pista}: Ancho de Pista.

h: Altura ó grosor del cobre.

A: Área.

$$A = \left(\frac{I}{k_1 * \Delta T^{k_2}} \right)^{1/k_3} [mils^2] \quad (17)$$

Dónde:

I: Corriente máxima en amperes.

k1 = 0.0647

k2 = 0.4281

k3 = 0.6732

ΔT: Incremento de temperatura respecto de la temperatura ambiente (25°C).

$$A_{pista} = \frac{\left(\frac{I}{k_1 * \Delta T^{k_2}} \right)^{1/k_3}}{h * 1.378} \quad (18)$$

Datos de entrada:

$$I = 3.5[A]$$

$$h = 1 [Oz] (35[\mu m])$$

$$\Delta T = 20^\circ$$

Aplicando la fórmula 18 se obtiene:

$$A_{pista} = \frac{\left(\frac{4.5}{0.0647 * 20^{0.4281}} \right)^{\frac{1}{0.6732}}}{1 * 1.378} = 58.8906[mils]$$

Expresado en milímetros:

$$A_{pista} = 1.5[mm]$$

El cálculo anterior determina que para hacer circular una corriente de 4.5[A] en ancho de pista debe ser como mínimo de 1.5[mm].

Diseño de las pistas: Se ha seleccionado un ancho de pista único de 1.7[mm]. La **figura 4.19** muestra el diseño realizado.

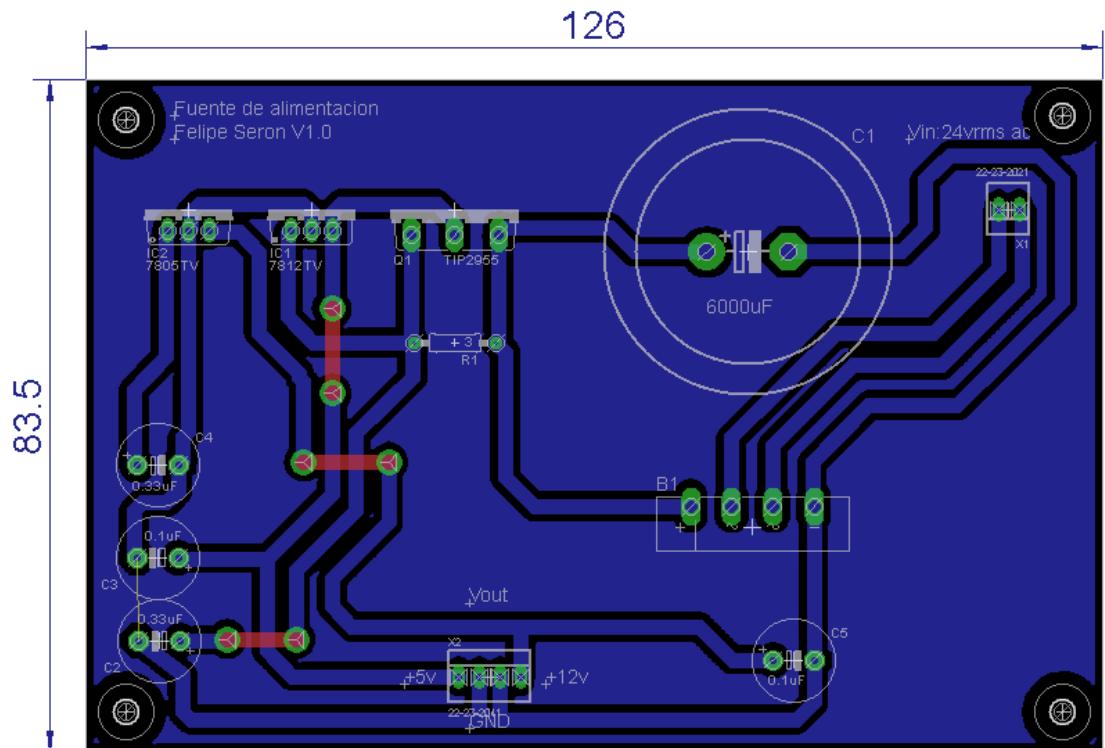


Figura 4.19: Vista de Diseño de la PCB para la Fuente de Alimentación.

4.4.2. Controlador.

En el diseño del controlador del motor paso a paso bipolar se han contemplado dos etapas. La **figura 4.20** muestra el diagrama de bloques del esquema.

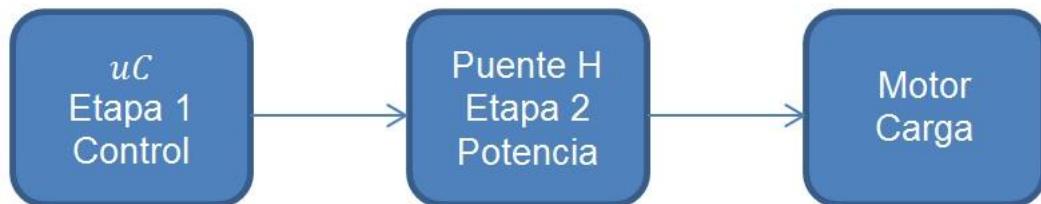


Figura 4.20: Diagrama de Bloques del Controlador.

- Microcontrolador: Etapa de baja potencia en la que se generan distintas secuencias de pulsos según las configuraciones Wave Drive, Half Step ó Full Step.
- Driver de Potencia: Etapa de potencia que maneja el flujo de corriente en las bobinas del motor. Para controlar un motor bipolar se necesita manipular el sentido de la corriente que circula por las bobinas ya que

solo cuenta con dos de estas. Lo anterior se logra a través de una configuración conocida como puente H (**figura 4.21**).

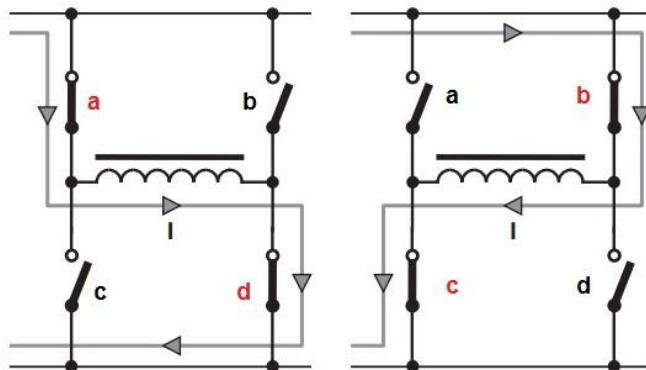


Figura 4.21: Comutación de Fases de un Motor Bipolar.

Funcionamiento del Puente H.

El puente H es una configuración que controla la dirección de la corriente mediante 4 interruptores; dos interruptores superiores (a,b) y dos interruptores inferiores (c y d). En la figura se aprecia el funcionamiento de esta configuración. En un primer instante se activa el par de interruptores a,d para que la corriente circule de izquierda a derecha. Posteriormente se desactiva el par anterior y se activa el par de interruptores b,c para que la corriente circule de derecha a izquierda. La precaución que se debe tener en este tipo de circuitos es no activar dos interruptores adyacentes ya que esto implica un cortocircuito.

Especificaciones.

El microcontrolador elegido para realizar las secuencias de pulsos es una tarjeta Arduino. Este dispositivo es a la vez la interfaz de la unidad de control, por ende sus características se describen posteriormente.

Existen diferentes opciones para implementar un puente H. Dependiendo de la potencia necesaria este último se puede hacer con circuitos integrados o con transistores de potencia. La corriente nominal de los motores elegidos es de 0.5[A], por lo tanto se ha optado por el circuito integrado L298N que contiene dos puentes H y es capaz de soportar una corriente de 2[A] por fase en cada puente.

Descripción del C.I. L298N.[30]

El L298N es un circuito integrado monolítico en un encapsulado MULTIWATT15. En su interior contiene un controlador de puente h dual de alta tensión y alta corriente que acepta el estar TTL como lógica de control y además permite el control de cargas inductivas como relés, solenoides, motores DC y motores paso a paso (**figura 4.22**). Tiene además 2 entradas de habilitación de los puentes independiente de las señales de entrada.

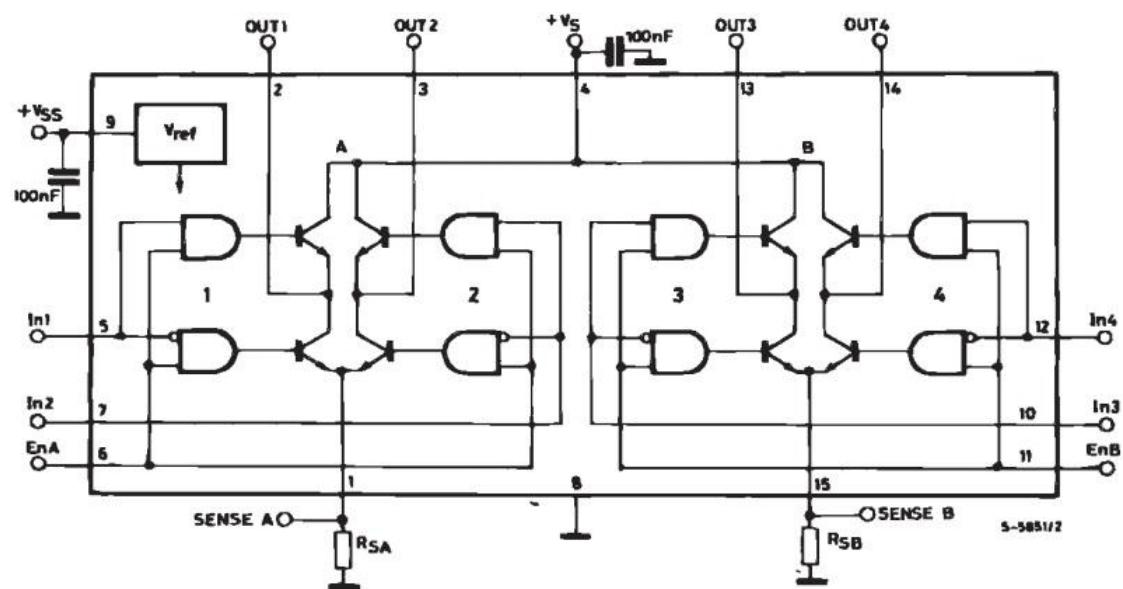


Figura 4.22: Componentes Internos del C.I. L298N.

Los emisores de los transistores inferiores de cada puente están conectados entre sí y su terminal externo correspondiente se puede utilizar para la conexión de una resistencia de censado de corriente. La descripción de cada pin del L298N se hace a través de la **tabla 4.8**.

Tabla 4.8: Descripción de Pines L298N.

Pin	Nombre	Descripción
1;15	Sense A; Sense B	Entre este pin y GND se conecta una resistencia para censar la corriente de la carga.
2; 3	Output 1;Output 2	Salidas del puente A. La corriente fluye a través de la carga conectada entre estos dos pines.
4	Vs	Tensión de alimentación para las etapas de salida de potencia. Un condensador de 100nF debe

		conectarse entre este pin y GND.
5; 7	Input 1; input 2	Entradas del Puente A compatibles con niveles TTL.
6; 11	Enable A; Enable B	Entradas de habilitación compatibles con niveles TTL. El estado Bajo deshabilita el puente A y/o B.
8	GND	Tierra.
9	Vss	Tensión de alimentación para los bloques lógicos. Un condensador de 100nF debe conectarse entre este pin y GND.
10; 12	Input 3; Input 4	Entradas del Puente B compatibles con niveles TTL.
13; 14	Output 3; Output 4	Salidas del puente B. La corriente fluye a través de la carga conectada entre estos dos pines.

Configuración Electrónica del C.I. L298N.

El datasheet del fabricante especifica la configuración de la **figura 4.23** para realizar el control de motores paso a paso bipolares. Los diodos dispuestos en las salidas son del tipo Fast Recovery ($V_F \leq 1.2[v]$; $I = 2[A]$; $t_{rr} \leq 200ns$). Además las resistencias R_s se especifican con valores de 0.5Ω cada una.

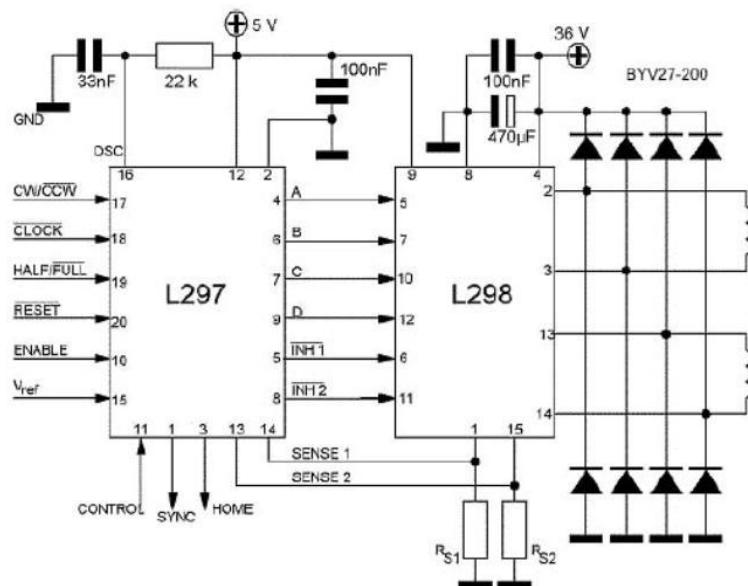


Figura 4.23: Diagrama Electrónico.

Considerando que el control es realizado por la placa Arduino, el diagrama electrónico para el puente H es el que se muestra en la **figura 4.24**.

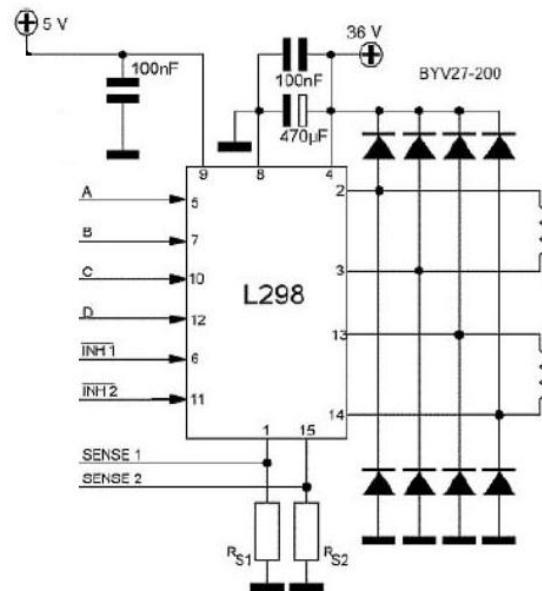


Figura 4.24: Diagrama Electrónico Puente H.

Interpretación del diagrama: El C.I. Es alimentado por una línea de 5v. Las líneas <A:D> envían las secuencias de pulsos para el giro del motor. Las líneas INH 1 y 2 habilitan/deshabilitan los puentes H al interior del L298. Las líneas sense son usadas para el censado de corriente. Las líneas 2, 3, 13 y 14 son línea de salida y envían los pulsos amplificados a las bobinas del motor paso a paso según las secuencias recibidas. Por su parte los diodos de recuperación rápido permiten descargar rápidamente la corriente de las bobinas.

Diseño de la Placa de Circuito Impreso.

Calculo del ancho de pista: Al igual que en diseño de la fuente de alimentación se hace uso de la ecuación **18**.

Datos de entrada:

$$I = 0.5 * 2 = 1[A]$$

$$h = 1 [Oz] (35[\mu m])$$

$$\Delta T = 10^\circ$$

Aplicando la formula se obtiene:

$$A_{pista} = \frac{\left(\frac{1}{0.0647 * 10^{0.4281}}\right)^{\frac{1}{0.6732}}}{1 * 1.378} = 9.79865[mils]$$

Expresado en milímetros:

$$A_{pista} = 0.2489[mm]$$

El cálculo anterior determina que para hacer circular una corriente de 1[A] el ancho de la pista debe ser $\approx 0.25[mm]$ como valor mínimo.

Diseño de las pistas: Para la lógica se ha seleccionado un ancho de pista de 0.6096[mm] mientras que para las pistas de potencia se ha seleccionado un ancho de 1.016[mm]. La **figura 4.25** muestra el diseño realizado.

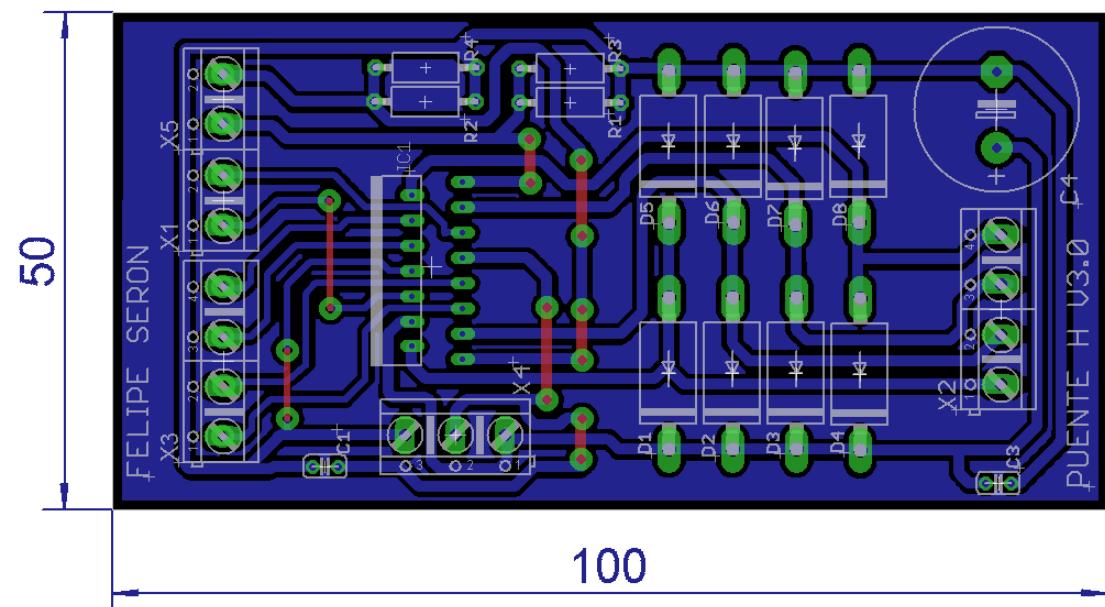


Figura 4.25: Vista de Diseño de la PCB para el Driver de Potencia.

Listado de componentes.

La **tabla 4.9** muestra los componentes en el esquema de la figura anterior.

Tabla 4.9: Listado de Componentes para Puente H.

Nombre	Cantidad
ConeCTOR AK500/3	1
ConeCTOR AK500/2	6
Condensador Electrolítico 470[uF]/50v	1
Condensador cerámico de 100[nF]	2
L298N	1
Diodo FR307	8
Resistencia 0.5[Ω] 1/4 watt	4
Placa de cobre 100x50x1.6mm	1

4.4.3. Interfaz.[31]

Es la encargada de gobernar todos los dispositivos electrónicos asociados a ella. Mediante la conexión al ordenador la interfaz recibe las instrucciones que el programa de control le envía y las traduce a instrucciones para la máquina con ayuda del intérprete de g-code cargado en su firmware. Además censa el estado de switchs y encoders para obtener información del posicionamiento de los ejes.

Como interfaz se ha elegido una placa Arduino (**figura 4.26**), ya que es una plataforma económica de código abierto que cuenta con conectividad usb. Este estándar de comunicación facilita enormemente la conectividad con el computador a diferencia de la interfaz por puerto serie que incorpora la mayoría de las maquinas CNC comerciales. La **tabla 4.10** describe las características de la Tarjeta Arduino elegida.

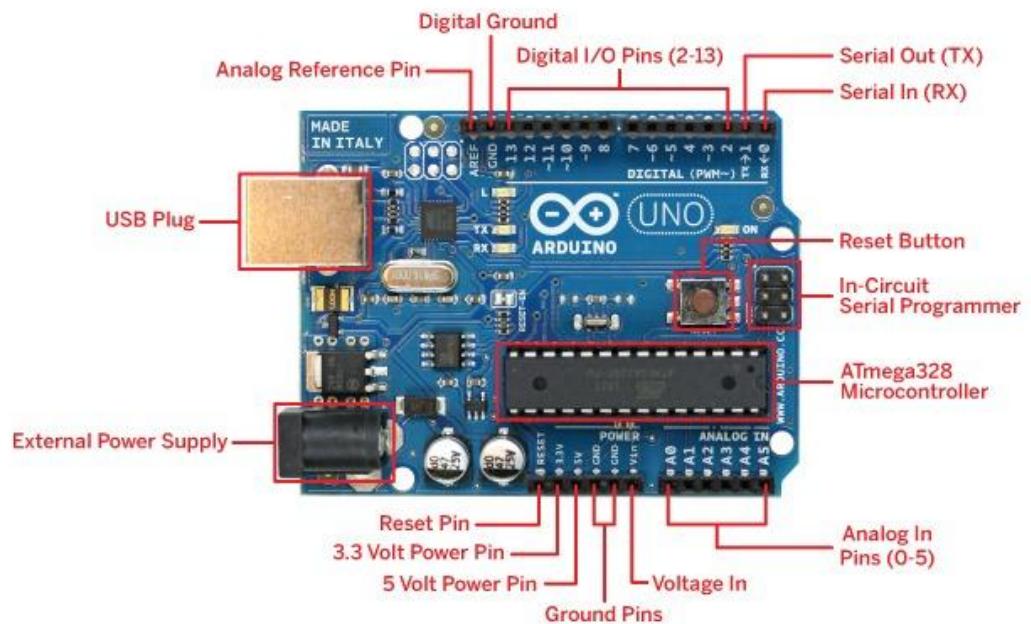


Figura 4.26: Arduino Uno R3.

Tabla 4.10: Especificaciones de la Tarjeta Arduino.

Modelo	Arduino UNO R3.
Microcontrolador	ATmega328.
Voltaje de operación	5v.
Voltaje de entrada recomendado	7-12v.
Pines de entrada/salida digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM).
Pines de entrada analógica	6.
Corriente DC por pin de entrada/salida	40mA.
Corriente DC para pin de 3.3v	50mA.
Memoria Flash	32kb (5kb usada por bootloader).
SRAM	2kb.
EEPROM	1kb.
Velocidad de reloj	16MHz.

Distribución de los Pines.

La placa Arduino cuenta con 14 pines digitales y 6 pines análogos. Estos últimos también pueden configurarse como salidas digitales, por lo tanto se disponen de 20 pines digitales. A continuación se describe la cantidad de pines que necesita cada elemento asociado a la interfaz.

- Driver de Potencia: Cada tarjeta tiene 4 pines de entrada asociados a las bobinas del motor, 2 pines de habilitación de canal y 2 pines para el censado de corriente. Para reducir el número de pines necesarios se ha optado por no usar micropasos (lo que evita el uso de los pines de censado), y además se ha elegido el modo de operación Full-Step que requiere solo 2 pines para operar. Como consecuencia se requiere un total de 7 pines para estos componentes.
- Finales de carrera: Para estos interruptores se necesitan 6 pines.
- Encoders: Para estos dispositivos son necesarios 4 pines.
- Control de Taladro: Solo se requiere 1 pin para el control encendido/apagado.

En total son necesarios 18 pines de salida digital de la placa Arduino. La **tabla 4.12** resume la distribución.

Tabla 4.12: Distribución de Pines.

#	Pin.	Función.	#	Pin.	Función.
1	D0	Habilitación Puente H	10	D9	Dirección Motor X
2	D1	Habilitación Taladro	11	D10	Paso Motor Y
3	D2	Límite Eje Xmax.	12	D11	Dirección Motor Y
4	D3	Límite Eje Ymin.	13	D12	Paso Motor Z
5	D4	Límite Eje Xmin.	14	D13	Dirección Motor Z
6	D5	Límite Eje Ymax.	15	A0	SCK Encoder
7	D6	Límite Eje Zmax.	16	A1	SDIO Eje X
8	D7	Límite Eje Zmin.	17	A2	SDIO Eje Y
9	D8	Paso Motor X	18	A3	SDIO Eje Z

Detalle de la Configuración para el Modo de Control Full-Step.

El modo de control Full-Step requiere de 4 pines que generen la secuencia de pulsos de la **tabla 4.11**. Sin embargo, si se observa bien dicha tabla se puede inferir que 1A siempre es de valor opuesto a 2A y a su vez 1B siempre es de valor opuesto a 2B. Por lo tanto 1A y 1B son la negación de 2A y 2B respectivamente.

Tabla 4.11: Secuencia en Modo Full-Step.

Nº de pasos	1A	2A	1B	2B
1	0	1	1	0
2	0	1	0	1
3	1	0	0	1
4	1	0	1	0

Con el análisis anterior se llega a la conclusión que si se implementa un par de compuertas lógicas negadoras, entonces se puede realizar sin problemas el control en modo Full-Step. Como la interfaz requiere el control de 3 motores, es necesario el uso de una pastilla 74LS04 que contiene 6 compuertas negadoras (**figura 4.27**).

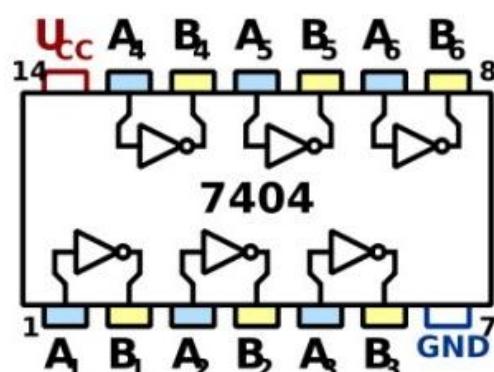


Figura 4.27: C.I. 74LS04.

El circuito de la **figura 4.28** muestra la conexión entre la tarjeta Arduino, la pastilla y uno de los drivers de potencia.

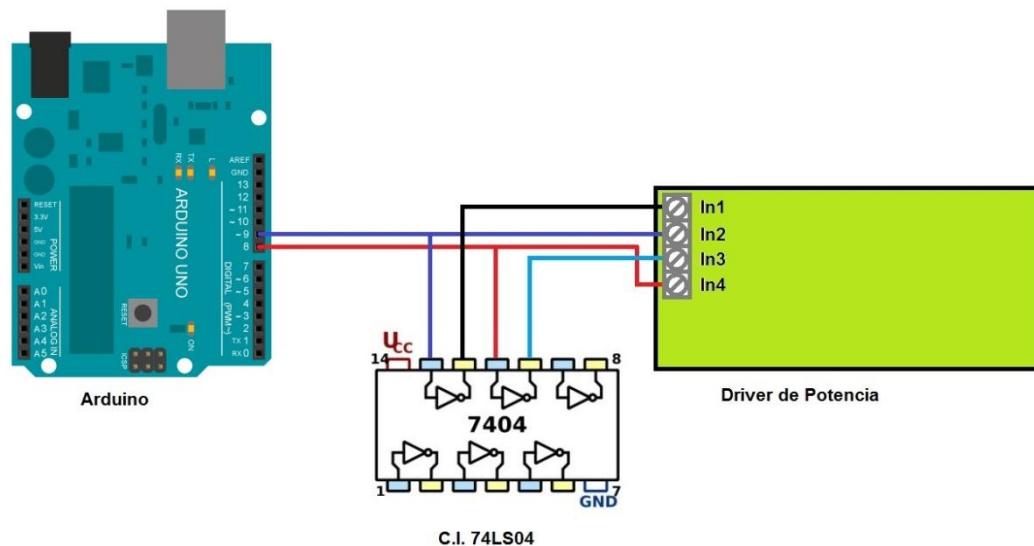


Figura 4.28: Conexión en el Modo Full-Step.

4.4.4. Realimentación.

Dado que los componentes del prototipo ideado se han diseñado a partir de materiales alternativos es probable que la precisión del equipo no sea igual a la de una maquina CNC comercial. Por lo tanto, como solución a esta posible problemática se ha pensado en un sistema de pulsadores que limite el desplazamiento de las partes móviles y además un sistema de codificadores que registre su posicionamiento para hacer correcciones en caso de algún desajuste mecánico.

Límites de Desplazamiento.

Se ha ideado un sistema simple que consiste en pulsadores ubicados en los extremos de cada guía para limitar el movimiento de las plataformas móviles. La **figura 4.29** muestra una propuesta de diseño con los switchs ubicados a los costados de las guías.

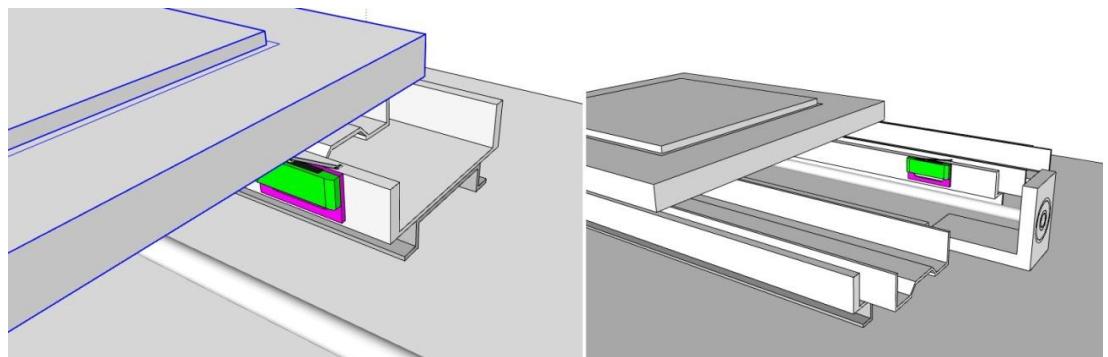


Figura 4.29: Micro Switches.

La conexión de los switches a la interfaz se realiza por medio de resistencias Pull-Up (ver **figura 4.30**).

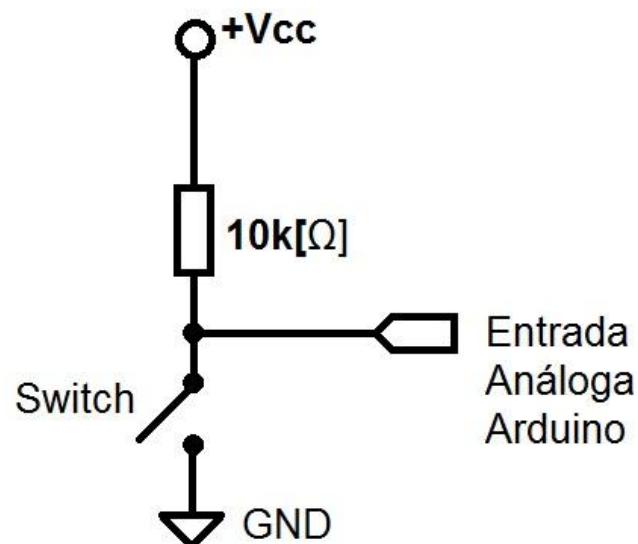


Figura 4.30: Conexión de Switch a la Placa Arduino.

Especificación del Micro Switch.[32]

Se ha seleccionado un micro switch de la familia OMRON modelo SS-5GL13. Este tipo de switch tiene un actuador tipo palanca de rodillo simulado, con una disposición de contactos SPDT (contactos N.O. y N.C. con punto común), y soporta corrientes de hasta 5[A] a una tensión de 125 [v]. La **figura 4.31** muestra las características visuales del dispositivo.



Figura 4.31: Micro Switch SS-5GL13.

Codificadores de Posicionamiento (sistema de control directo).

Para diseñar los encoders se ha considerado el problema de juego mecánico existente en las varillas roscadas. No resulta conveniente acoplar un encoder rotatorio a las varilla ya que el desajuste se produce en la plataforma móvil. Por lo tanto la mejor opción ideada es un encoder lineal acoplado a cada plataforma móvil para el registro de posición.

Un encoder lineal comercial resulta muy costoso, es por eso que se ha pensado en un prototipo económico a partir de un mouse óptico.

Un mouse óptico es un dispositivo capaz de registrar el movimiento bidimensional a partir de imágenes captadas por un circuito integrado que incorpora un sensor de imagen y un DSP. El sensor toma micro fotografías, mientras que el DSP analiza las muestras y las transforma a valores que representan el desplazamiento en los ejes X e Y. Estos valores son almacenados en registros de desplazamiento de 8 bits que pueden leerse por medio de un enlace serial entre el circuito integrado y un microcontrolador como el que incorpora el Arduino.

Especificaciones.

Para esta aplicación se ha elegido un sensor MCS12085.

Descripción del C.I. MCS-12085.[33]

Este C.I. se presenta en un encapsulado tipo DIP (Dual Line Package), de 8 pines. Internamente este sensor posee una arquitectura como la mostrada en la figura 4.32.

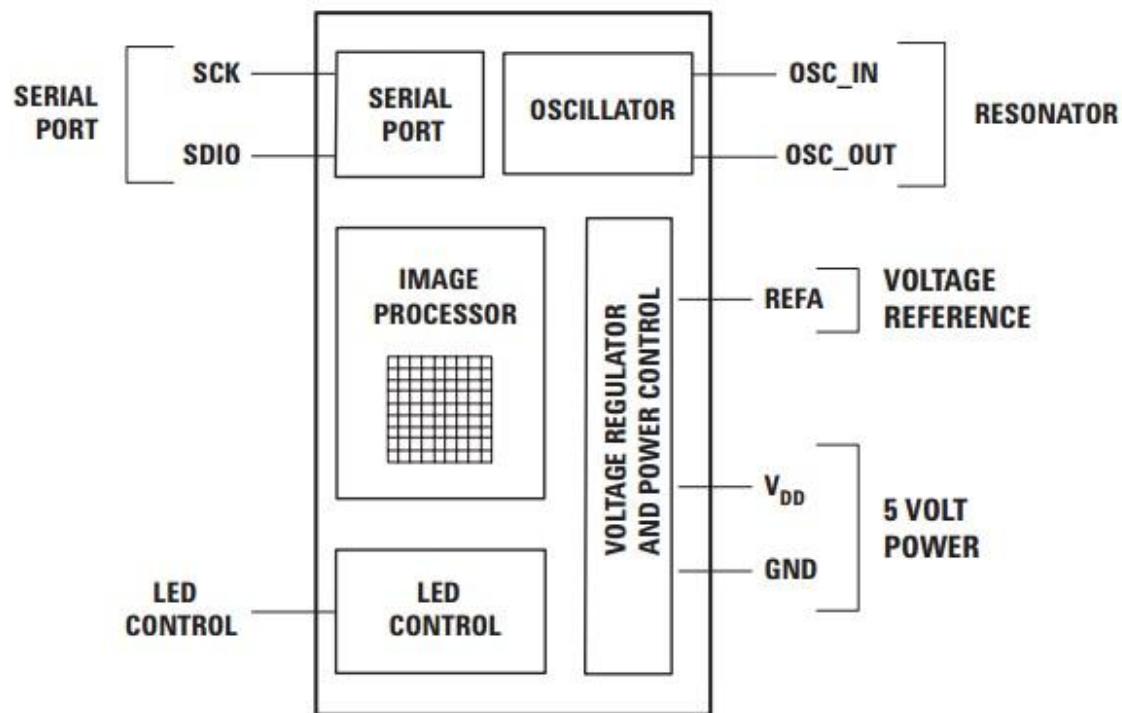


Figura 4.32: Diagrama de Bloques del C.I. MCS-12085.

La **tabla 4.13** muestra las características generales de este integrado.

Tabla 4.13: Características del Sensor MCS-12085.

Parámetro	Asignación.
Resolución	400cpi.
Tipo de posicionamiento	2 dimensiones.
Tensión de alimentación	5[v] cc.
Consumo	30mA (mouse en movimiento).
Consumo	12mA (mouse quieto).
Comunicación con otro hardware	Serial Síncrona.
Frecuencia de Reloj	24MHz.
Tipo de Sensor	CCD.

En la **tabla 4.14** se muestra la descripción de pines para este dispositivo.

Tabla 4.14: Descripción de Pines L298N.

Pin	Nombre	Descripción
1	OSC_IN	Entrada del oscilador.
2	OSC_OUT	Salida del oscilador.
3	SDIO	Puerto serial de datos (entrada y salida).
4	SCK	Reloj del puerto serie (Entrada).
5	LED_CNTL	Salida del activador de señal digital.
6	GND	Tierra del sistema.
7	VDD	Entrada de 5[v] cc
8	REF_A	Referencia interna.

Para comunicar este dispositivo con otro hardware se deben considerar los parámetros de tiempo especificados en la **tabla 4.15**.

Tabla 4.15: Parámetros de Tiempo.

Nombre	Descripción	Valor
t_{SRAD}	Tiempo de retardo entre el byte de dirección y el byte de datos.	100us*
t_{SRR}	Tiempo entre dos comandos de escritura.	250ns
t_{SRW}	Tiempo entre un comando de lectura y uno de escritura.	250ns
t_{RSDIO}	Tiempo del flanco de subida.	30ns
t_{FSADIO}	Tiempo del flanco de bajada.	16ns
t_{HOLD}	Tiempo que el dato permanece hasta el siguiente flanco de bajada del SCK.	100us
t_{SETUP}	Tiempo de datos válido hasta el flanco de subida del SCK.	60ns

*Obtenido mediante osciloscopio.

Configuración Electrónica del C.I. MCS-12085.

El datasheet del fabricante especifica la configuración de la **figura 4.33** para controlar el sensor.

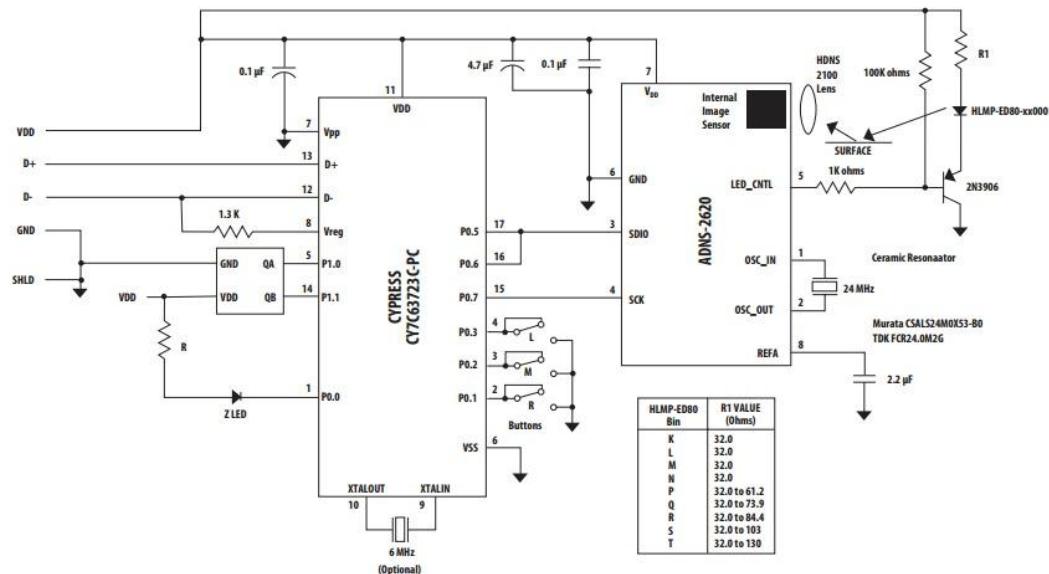


Figura 4.33: Diagrama Electrónico.

El control del sensor es realizado por la placa Arduino, por lo tanto el circuito anterior se reduce a la siguiente configuración de la **figura 4.34**.

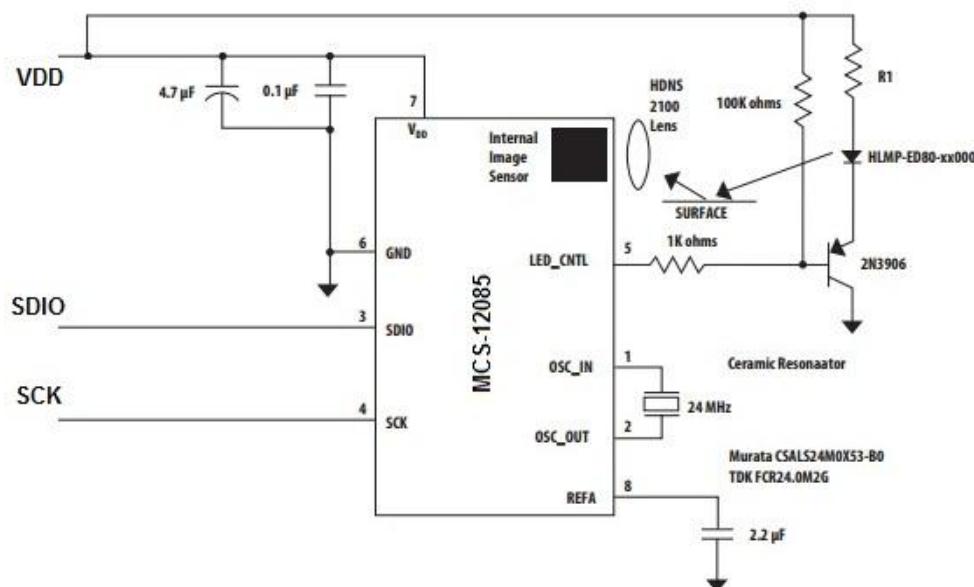


Figura 4.34: Diagrama Electrónico Simplificado.

Funcionamiento: La línea VDD provee la energía para el funcionamiento del MCS12085. Las líneas SDIO y SCK comunican la placa Arduino con el MCS12085. Por su parte dicho integrado registra el movimiento sobre la superficie mediante un sensor de imagen. Para el correcto funcionamiento del sensor se incorpora un led que proyecta un rayo de luz hacia la superficie y luego hacia el sensor mediante un juego de lentes. La intensidad de luz del led es controlada mediante el transistor 2N3906. El oscilador de 24MHz establece la frecuencia de trabajo del circuito integrado.

Diseño de Placa de Circuito Impreso.

Calculo del ancho de pista: Al igual que en los diseños anteriores se hace uso de la ecuación **18**.

Datos de entrada:

$$I = 0.03 * 2 = 0.06[A]$$

$$h = 1 [Oz] (35[\mu m])$$

$$\Delta T = 10^\circ$$

Aplicando la formula se obtiene:

$$A_{pista} = \frac{\left(\frac{0.06}{0.0647 * 10^{0.4281}}\right)^{\frac{1}{0.6732}}}{1 * 1.378} = 0.150031[mils]$$

Expresado en milímetros:

$$A_{pista} = 0.0038[mm]$$

El cálculo anterior determina que para hacer circular una corriente de 30[mA] el ancho de la pista debe ser $\approx 0.0038[mm]$ como valor mínimo.

Diseño de las pistas: Para la lógica se ha seleccionado un ancho de pista de 0.6096[mm]. La **figura 4.35** muestra el diseño realizado.

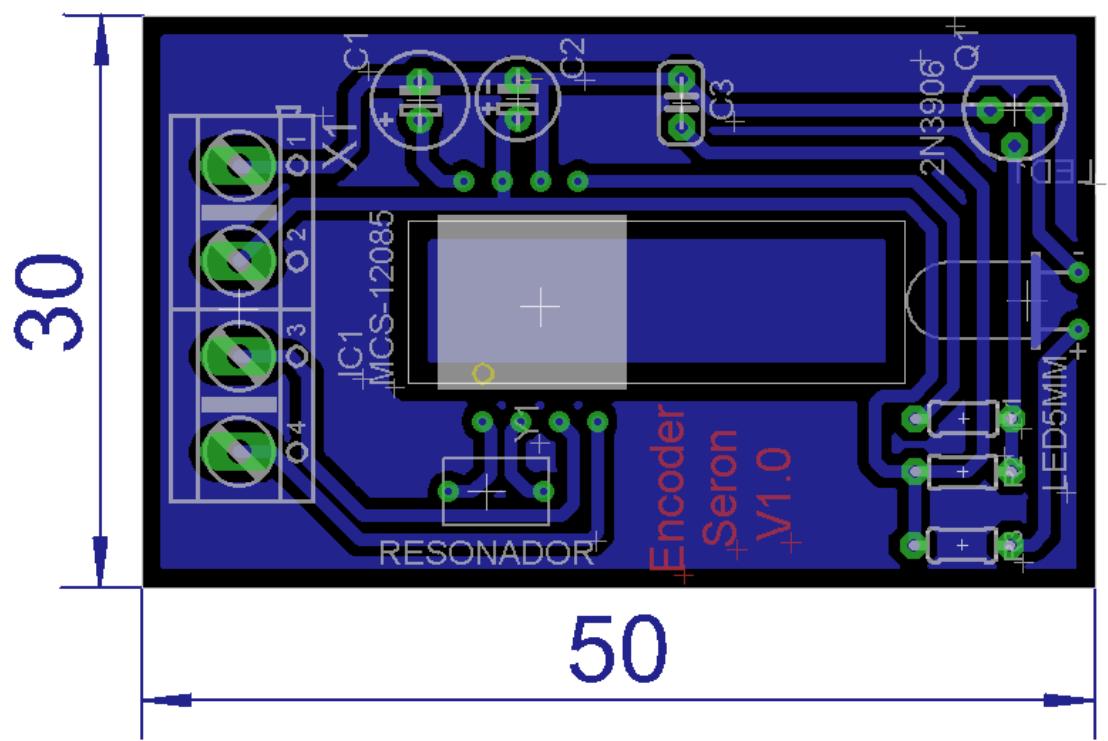


Figura 4.35: Vista de Diseño de la PCB para el Encoder.

Óptica del Sensor.

Todos los mouses ópticos incorporan un sistema de lentes similares al que muestra la **figura 4.36**. Dado que no es posible fabricar un sistema óptico se ha reutilizado toda la óptica del mouse además de la base de soporte.

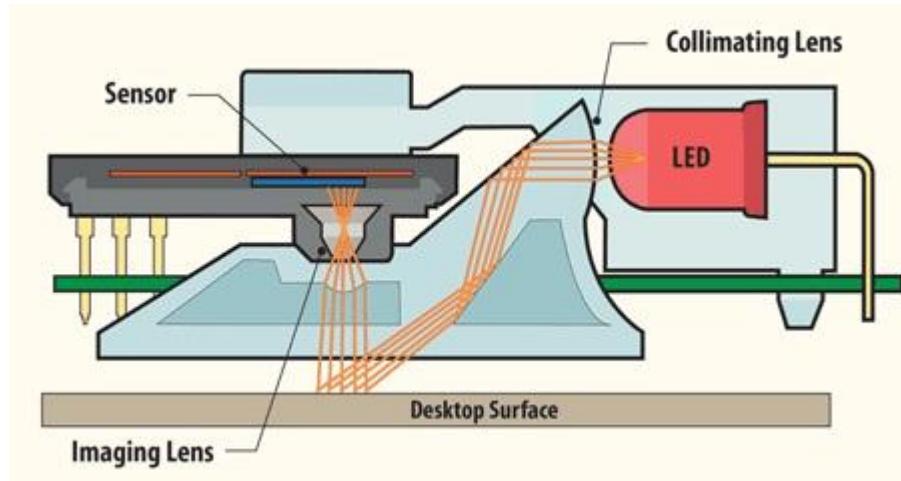


Figura 4.36: Sistema de Lentes de un Mouse Óptico Común.

4.5. Software CNC.[34]

El software CNC considera las herramientas necesarias para el control del taladro CNC y la generación de archivos G-code.

Para controlar la máquina herramienta la CPU (computador), requiere de un programa que sea capaz de establecer la comunicación con la interfaz para el envío de comandos G y la recepción de parámetros de estado de la unidad. A su vez, la interfaz necesita una rutina capaz de recibir los comandos, interpretarlos y enviar una respuesta de ejecución a la UPC.

Como solución a la problemática de control se ha pensado en la implementación de una herramienta llamada ‘Txapu-CNC’. Esta herramienta se encuentra declarada bajo licencia Creative Commons, es decir que su creador permite copiar, distribuir, comunicar públicamente la obra y hacer obras derivadas de la misma, siempre que se respeten los términos de la licencia. Con base en lo anterior, es válido su uso para esta aplicación.

Para la creación de ficheros G-code se requiere de un programa capaz de transformar un trazado en coordenadas de posicionamiento y en instrucciones de maquinado de acuerdo a los estándares ISO 6983 y EIA RS274.

Para dar solución al requerimiento relacionado con G-code se ha considerado la implementación de un programa llamado Inkscape que permite el diseño y conversión de trazados vectoriales a código numérico a través de un complemento llamado Gcodetools. Este programa tiene una licencia GPL, es decir que es libre y de código abierto, por ende también es válido su uso.

4.5.1. Descripción de Txapu-CNC.

Este programa permite el control del taladro CNC u otro dispositivo CNC de 3 ejes mediante un equipo con sistema operativo Linux. La GUI de Txapu-CNC se compone de un editor de programas G-code, un simulador para la

visualización de programas hechos y un subprograma de control que envía comandos G-code a la interface (ver **figura 4.37**).



Figura 4.37: GUI de Txapu-CNC.

- El Editor.

Tiene una barra de herramientas con los siguientes comandos:

- Visualizar: Visualiza en el simulador el programa cargado en el editor.
- Ejecutar: Envía los comandos al Arduino y simultáneamente los visualizar en el simulador.
- Parada: Detiene tanto la simulación como el envío de datos al controlador Arduino.
- Control de Velocidad: Modifica el parámetro de velocidad de avance leído del archivo. Mediante este control se puede modificar la velocidad especificada en cada línea del programa desde 10% a 100%.

- Simulador.

Muestra una visualización del archivo cargado en el editor. La visualización puede ser instantánea o pausada para ver la ejecución de cada instrucción. El modo pausado se activa al hacer clic en el botón con forma de caracol.

- Control.

Desde este componente se pueden mandar los comandos independientes a la interfaz (Arduino).

En la parte superior del control están situados los indicadores de posición. La parte central contiene los botones de desplazamiento en los ejes coordenados. Por último, en la parte inferior se encuentran los controles para seleccionar la cantidad de pasos, la velocidad avance y el encendido/apagado de la herramienta.

Además de la GUI, TxapuCNC requiere la carga de un sketch a la interfaz Arduino. Esta rutina se comunica con el programa de mando, decodifica los comandos G-code y los convierte en comandos a ejecutar por el hardware.

Los comandos reconocidos por el intérprete cargado en Arduino se enlistan en la **tabla 4.16**.

Tabla 4.16: Comandos G de TxapuCNC.

Comando	Ejemplo	Descripción	TX	RX
G0	G0 X10	Movimiento lineal Rápido	Si	Si
G1,G01	G1 X10 Y15 Z0 [F100]	Movimiento lineal Controlado (Avance: 100)	Si	Si
G2,G02	G02 X60 Y30 I30 J-10 F02	Movimiento curvo (sentido horario) Controlado	Si	Si
G3,G03	G03 X60 Y30 I10 J20	Movimiento curvo (anti horario) Controlado	Si	Si

G4,G04	G4 P200	Pausa con retardo (Retardo: 200ms)	Si	Si
G20	G20	Definir Unidades en Pulgadas	Si	Si
G21	G21	Definir Unidades en milímetros	Si	Si
G28	G28	Ir a Origen	Si	Si
G30	G30 X10 Y20 Z30	Ir a Origen a través de un punto	Si	Si
G90	G90	Definir Coordenadas absolutas	Si	Si
G91	G91	Definir Coordenadas relativas	Si	Si
G92	G92	Definir punto actual como origen	Si	Si
M0	M0	Paro (Pausa programada)	Si	No
M3,M03	M3	Marcha del cabezal	Si	Si
M5,M05	M5	Paro del cabezal	Si	Si

4.5.2. Descripción de Inkscape.

Inkscape es un editor de gráficos vectoriales que funciona bajo Windows. Mediante una extensión llamada Gcodetools es posible transformar una imagen en un archivo G-Code con formato ngc. En la **figura 4.38** se muestra la interfaz de programa.

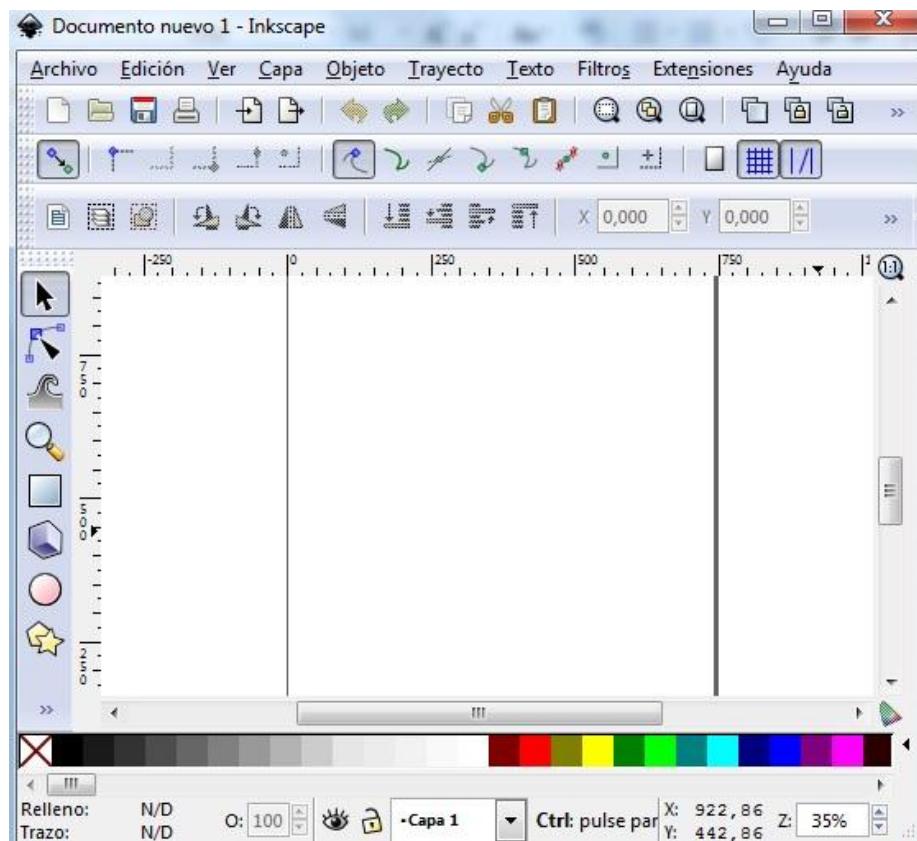


Figura 4.38: GUI de Inkscape.

4.5.2.1. Características de Gcodetools.

De forma nativa la GUI de Inkscape ofrece solamente herramientas orientadas a la creación y edición de textos e imágenes vectoriales. Para dotar a este programa con las utilidades necesarias para la creación de G-codes es necesario instalar un complemento llamado Gcodetools. Esta extensión ofrece variadas opciones que permiten convertir las formas vectoriales a instrucciones de código numérico. A continuación se describen las más importantes.

- Biblioteca de Herramientas: Permite escoger el tipo de herramienta según el tipo de tarea a realizar.
- Puntos-DFX: Transforma el trazado seleccionado en puntos de perforación.
- Puntos de Orientación: Establece el cero de pieza.
- Trayecto a Gcode: Genera el archivo de salida en formato ngc a partir del trazado vectorial.

4.5.2.2. Diseño de un Programa G-Code a Partir de Trazos Vectoriales.

Los siguientes pasos describen el procedimiento general para obtener un archivo ngc con las instrucciones de control numérico a partir de imágenes vectoriales.

- Realizar un dibujo y/o texto.
- Seleccionar el dibujo y/o texto, luego ir al menú “TRAYECTO” y seleccionar las siguientes opciones:
 - Objeto a trayecto (Mayusc.+Ctrl+C).
 - Desvío dinámico (Ctrl+J).
- Ir a Extensiones>>Gcodetools>>Puntos de orientación.
- Ajustar los siguientes parámetros:
 - Tipo de orientación: Modo 2 puntos.
 - Superficie: 0,001 (valor muy cercano a cero).
 - Profundidad Z: 0 (si solo se quiere trazar líneas).
- Clic en botón aplicar.
- Seleccionar texto e ir a menú Extensiones>>Gcodetools>>Biblioteca de herramientas.
- Ajustar los siguientes parámetros:
 - Tipo de herramienta: Por defecto.
- Clic en botón aplicar. En la ventana de dibujo aparecerá un recuadro verde con las opciones de la herramienta.
- Para modificar los parámetros del recuadro verde hacer clic en la herramienta texto. Es recomendable modificar los siguientes parámetros:
 - Diameter (diámetro de herramienta): 1,0 (1mm).
 - Feed (velocidad de avance de herramienta en mm/minuto): 1500. para MDF.
 - penetration feed: 1500.
 - Passing feed (velocidad de paso): 1000.
 - Fine feed (velocidad de paso fino): 2000.
- Hecho lo anterior se debe seleccionar nuevamente la imagen y/o texto e ir a menú>>Extensiones>>Gcodetools>>Trayecto a Gcode.

- Ir a pestaña preferencias y ahí colocarle un nombre al archivo. Además seleccionar un directorio de salida. Por conveniencia puede ser C:\Users\[nombre del usuario]\Desktop para dejarlo en el escritorio.
- Ir a pestaña Trayecto a Gcode, clic en aplicar y luego cerrar.

El archivo ngc creado puede ser abierto desde la GUI de TxapuCNC para su maquinado.

CAPITULO 5: IMPLEMENTACION.

5. Implementación.

En este capítulo se describe el proceso de implementación del taladro CNC. En relación a la mecánica se mencionan algunas pruebas simples realizadas durante el proceso de montaje. Respecto del sistema electrónico, se explica de manera breve el proceso de elaboración de PCB's del sistema de potencia y se muestra el montaje de la unidad de control. Por último, en lo concerniente a software se describen los pasos de configuración del software de control y del entorno Ubuntu para el correcto reconocimiento de la placa Arduino.

5.1 Implementación de la Máquina Herramienta.

Como primera fase se realiza el dimensionamiento y corte del acrílico junto con la elección del perfil de aluminio indicado para los pilares. Para reducir las vibraciones se agregan unos separadores de goma entre el soporte vertical y los pilares como se aprecia en la **figura 5.1**.

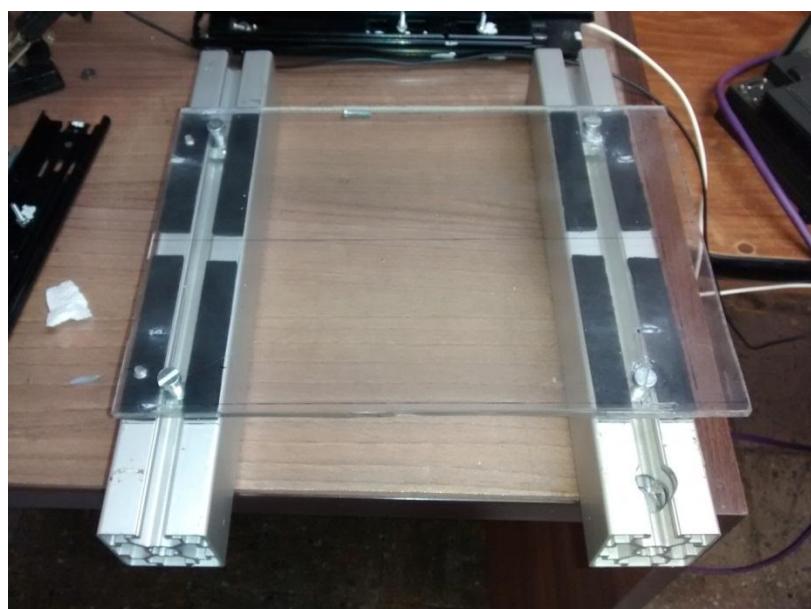


Figura: 5.1: Construcción del Soporte Vertical.

Hecho lo anterior se elaboran las guías a partir de correderas de muebles adaptadas a las dimensiones de la máquina. Se realizan algunas pruebas a las correderas y no se aprecian juegos mecánicos en estas. En la **figura 5.2** se exhibe el desarme de una corredera telescópica para su posterior adaptación.



Figura 5.2: Sistema de Guías Z e Y.

Luego de lo anterior se construye el sistema de transmisión a partir de un perfil de aluminio rectangular, tuercas M5 y una varilla roscada M5 como muestra la **figura 5.3**. La doble tuerca disminuye la holgura presente en la varilla.



Figura 5.3: Elementos del Sistema de Transmisión.

Como siguiente paso se montan las guías, la plataforma móvil X y los pilares para tener una primera impresión de la estructura (ver **figura 5.4**). Los pilares soportan firmemente la estructura vertical, por su parte la base principal acrílica no presenta deformaciones por el peso que debe soportar.



Figura 5.4: Primera Presentación de la Estructura.

Como paso siguiente de la fase de montaje se instalan las otras plataformas junto con la transmisión y los motores paso a paso. En la **figura 5.5** se aprecia en detalle el acoplamiento para fijar las varillas roscadas a los motores y el soporte de estos.

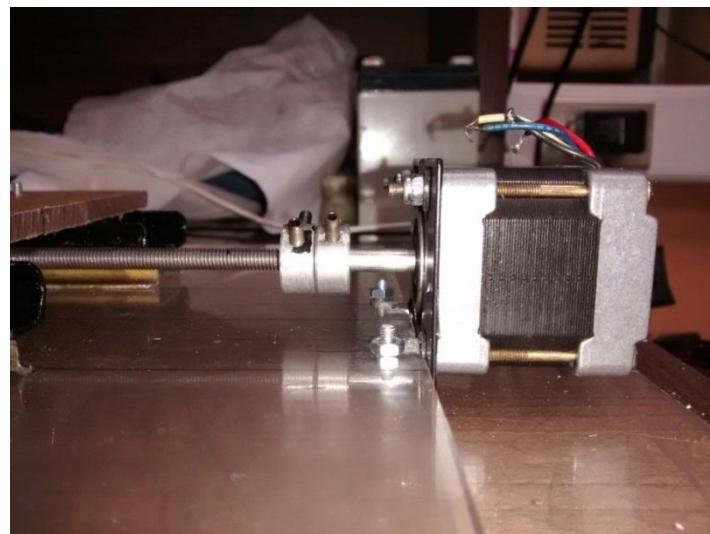


Figura 5.5: Detalle del Acoplamiento de Motores.

Luego del ensamble general de la estructura se elaboran los soportes y abrazaderas del cabezal que sostiene el taladro. En la **figura 5.6** se muestra el cabezal soportando el taladro.



Figura 5.6: Detalle del Sistema de Abrazaderas y Soporte del Cabezal.

Después de montar el cabezal y el taladro se fabrican los soportes que incluyen los rodamientos para el descanso de ejes. La **figura 5.7** expone su diseño final.

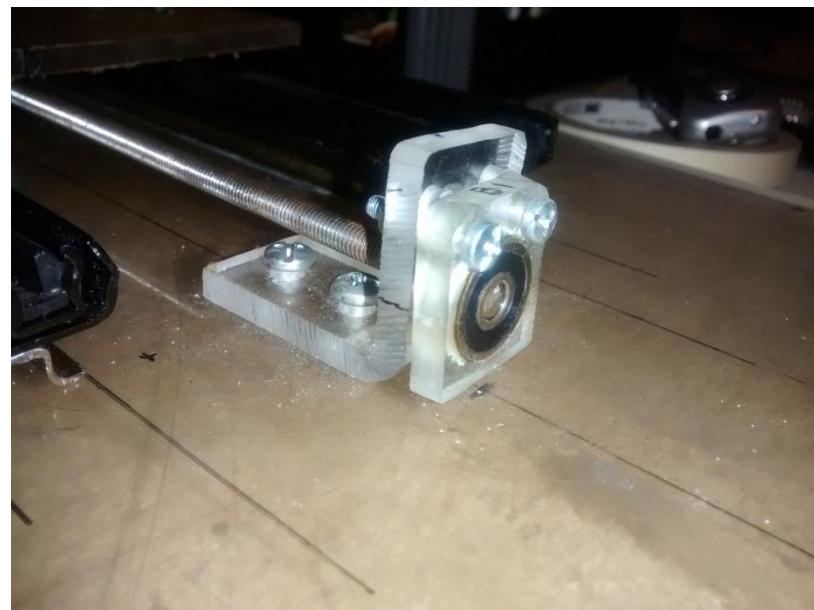


Figura 5.7: Descansos para Ejes (Varillas Roscadas).

Finalmente la **figura 5.8** muestra la máquina herramienta terminada. Como paso extra se incluyen los cables que conectan los motores con la unidad de control.

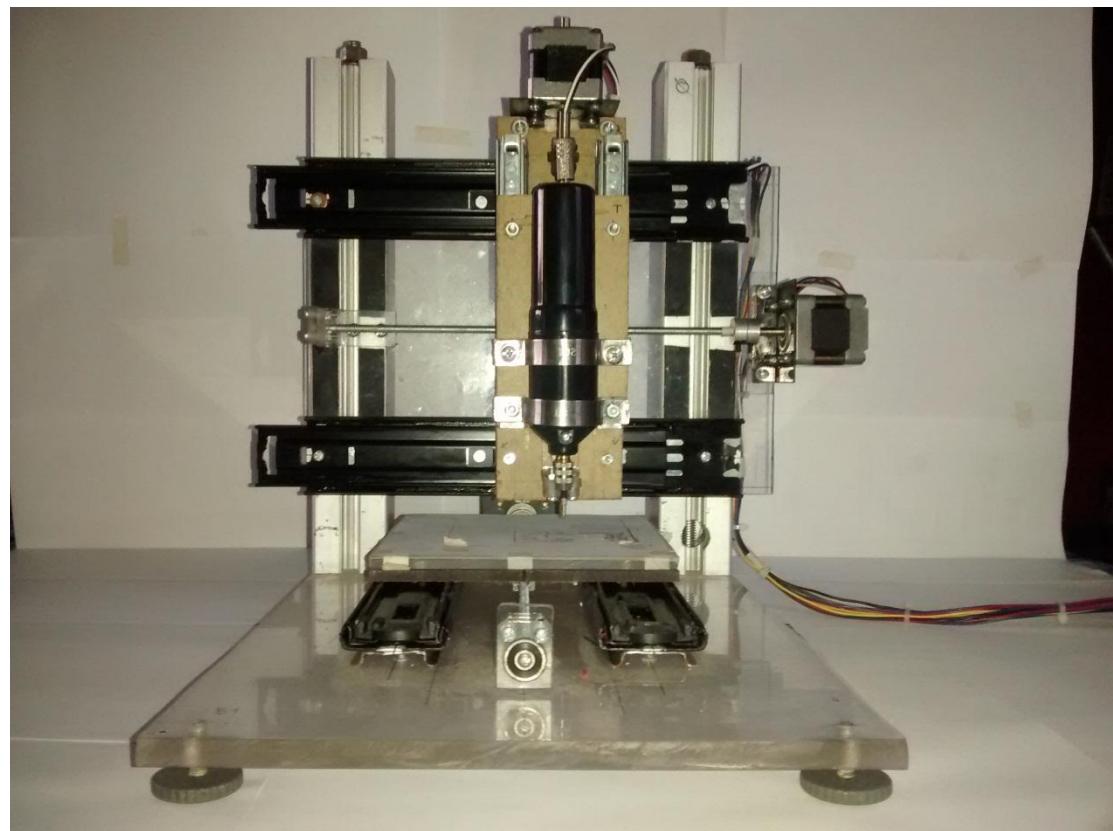


Figura 5.8: Maquina Herramienta Construida.

5.2. Implementación del Sistema Electrónico.

Construcción de los Drivers de Potencia.

Previo a la confección de las placas se hacen algunas pruebas de funcionamiento del controlador de potencia a través de un protoboard. En la **figura 5.9** se puede ver el primer prototipo realizado.

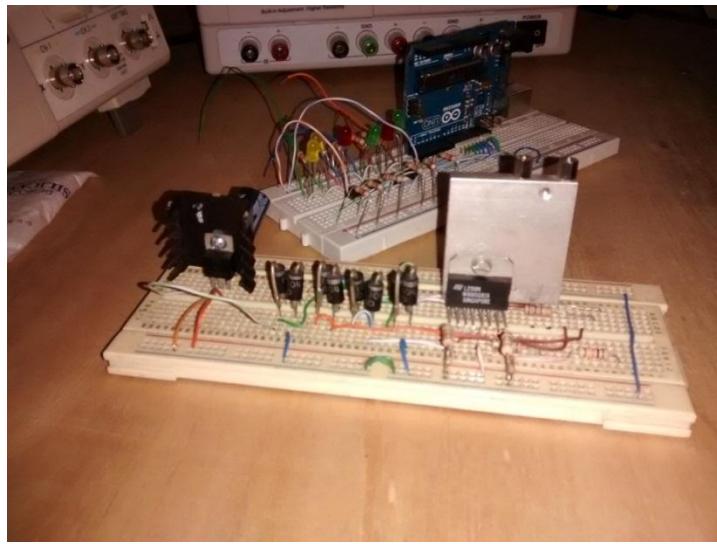


Figura 5.9: Driver de Potencia Montado en Protoboard.

Para la elaboración de las placas electrónicas primero se traspasa el diseño hecho en Eagle a la placa mediante la técnica de la plancha [35]. Esta forma de fabricación de placas consiste en la impresión láser del diseño de PCB en una hoja de papel satinado (couché). La hoja impresa es posteriormente planchada sobre la superficie de cobre que previamente se limpia con alcohol isopropílico para traspasar su diseño de forma íntegra a la PCB (el tóner se transfiere por efecto térmico). En la **figura 5.10** puede verse el diseño del circuito transferido a la PCB.

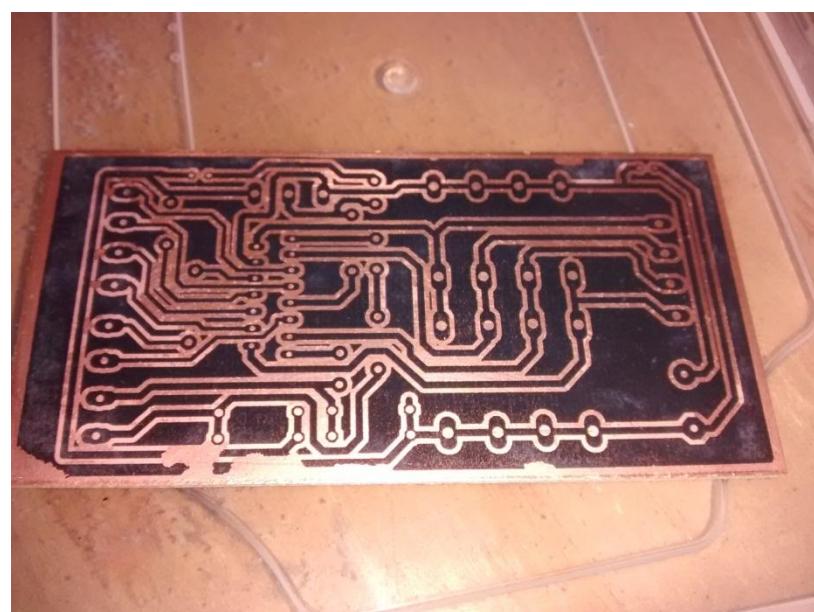


Figura 5.10: Diseño Electrónico Transferido a la PCB.

Luego de quitar los restos de papel de la superficie de la PCB se elimina el cobre innecesario mediante un atacado con cloruro férrico. El resultado del proceso se muestra en la **figura 5.11**.

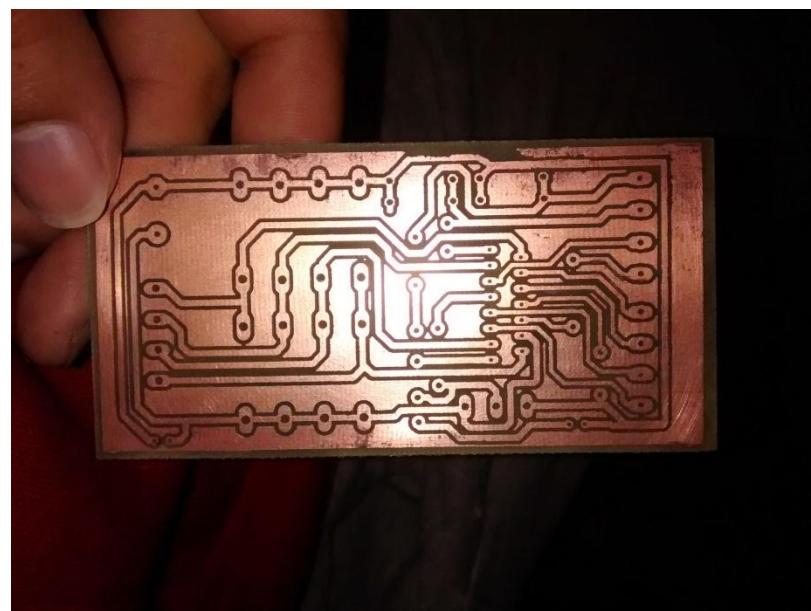


Figura 5.11: Resultado del Ataque Químico a la PCB.

Como último paso en la confección de placas se montan y se fijan los componentes usando estaño y cautín. El resultado final de la placa se aprecia en la **figura 5.12**.

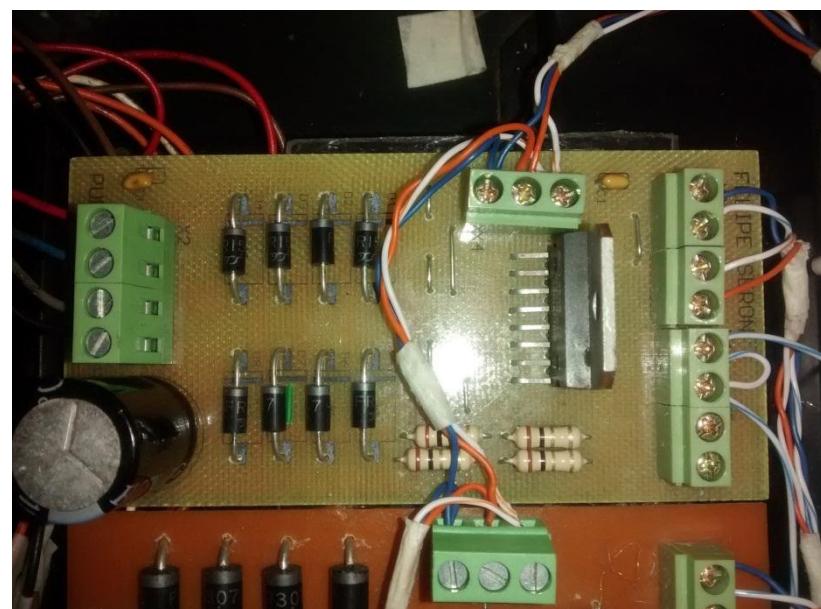


Figura 5.12: Driver de Potencia Terminado.

Luego de confeccionar las placas se realiza el montaje de todo el sistema al interior de un chasis metálico. La placa Arduino es puesta en un protoboard para realizar las conexiones con los drivers. La **figura 5.13** muestra el proceso de montaje mientras la **figura 5.14** muestra la unidad de control terminada.

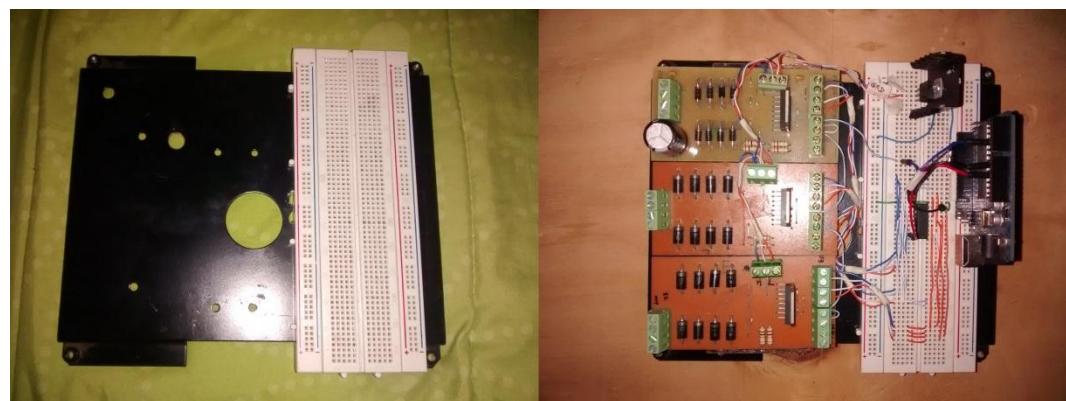


Figura 5.13: Proceso de Montaje de la Unidad de Control.

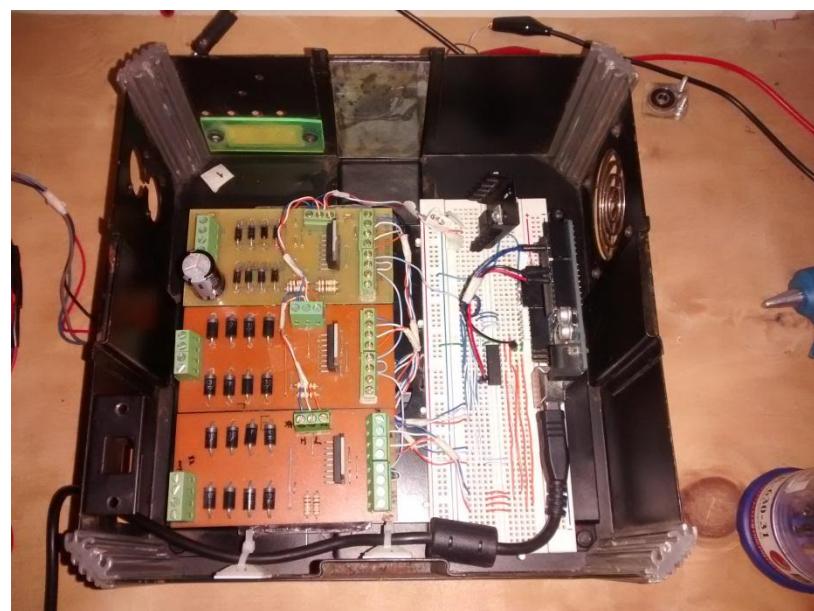


Figura 5.14: Unidad de Control Terminada.

5.3 Instalación y Configuración de Software.

En la **tabla 5.1** se especifican las características de hardware y software empleados.

Tabla 5.1: Especificaciones Técnicas de Software y Hardware.

Parámetro	Especificaciones
Equipo	Hp
Modelo	HP-425
Procesador	AMD Athlon Dual Core 2.2GHz
Memoria RAM	4GB
HDD	320 GB
Sistema Operativo	Windows 7 Ultimate Edition (32 bits)
Software de Virtualización	Oracle VM VirtualBox Versión 4.3.6
Sistema Operativo Virtual	Ubuntu 12.04.4 (32 bits)
Software de control CNC	Txapu-CNC Versión 3.0
Software para creación de archivos NGC	Inkscape Versión 0.47
IDE de Programación para GUI	Gambas Versión 2.23
IDE de Programación para Arduino	Arduino IDE Versión 1.0

Txapucnc.

Para utilizar Txapu-CNC en Windows se realiza una virtualización del entorno Linux a través de VirtualBox (ver **figura 5.15**).[36]



Figura 5.15: Ubuntu Ejecutado Bajo Windows 7 Mediante VirtualBox.

Instalación y Configuración.

Como primer paso se abre una ventana de terminal para instalar el IDE Arduino y el IDE Gambas además de otorgar permisos al puerto USB. Los comandos tecleados son los siguientes:

```
sudo apt - get install arduino.  
sudo apt - get install gembas2.  
usermod - a - G dialout $USER  
chmod a + rw /dev/.
```

El siguiente paso es cargar el sketch TxapuCNC_RX01 en la interfaz mediante el IDE Arduino. Con este sketch el Arduino puede interpretar el G-Code y además comunicarse con la GUI de Txapu-CNC.

El paso final es abrir el archivo TxapuCNC_TX03.gambas para desplegar la ventana con la GUI de TxapuCNC. Si el programa no reconoce el puerto USB de forma automática se debe ir al menú Preferencias>>Puerto Serie y la pestaña puerto se debe elegir la opción /dev/ttyACM0.

Con el programa configurado en Ubuntu y el intérprete instalado en Arduino es posible operar el taladro y cargar ficheros ngc para realizar las pruebas.

CAPITULO 6: PRUEBAS Y RESULTADOS.

6. Pruebas y Resultados.

Este capítulo se divide en dos partes; la primera describe las diferentes pruebas que se realizan al prototipo construido en el capítulo 5 mientras que la segunda describe las pruebas que se realizan al encoder diseñado en el capítulo 4 utilizando el hardware original de mouse.

6.1. Instrumentos Utilizados para las Pruebas.

El equipamiento de pruebas utilizado es el que se detalla en la **tabla 6.1**.

Tabla 6.1: Especificaciones de Instrumentos de Prueba.

	Osciloscopio	Multímetro	Fuente de Alimentación
Marca	RIGOL	UNI-T	ATTEN
Modelo	DS1052E	UT33B	TPR3005T-3C
Tipo de sistema	Digital	Digital	Digital
Características principales	Doble canal 50MHz 1GSa/s	Rango V en cc: 200mv-500v Rango I en cc: 200uA-10A	Doble salida 0-30[v] /5[A].

6.2. Pruebas Realizadas al Taladro CNC.

Se han realizado 3 tipos de prueba al equipo CNC. La primera es la prueba de parámetros eléctricos, la segunda es la prueba de señales y la tercera es la prueba de precisión. Cada una de estas pruebas, incluyendo el análisis de sus resultados se describe a continuación.

6.2.1. Prueba de Parámetros Eléctricos.

El objetivo de esta prueba es registrar los parámetros eléctricos de la máquina con el multímetro para luego compararlos con sus valores máximos y así poder determinar si el diseño realizado es el adecuado. Esta prueba no

considera el consumo de la placa Arduino debido a que esta se alimenta por el puerto USB del computador.

La **tabla 6.2** describe el registro individual de consumo obtenido a partir de las mediciones bajo diferentes condiciones de operación. El grupo A corresponde a las mediciones realizadas con un driver conectado al Arduino a la vez. El grupo B es el registro de consumo en vacío y a plena carga del taladro montado en el cabezal.

El consumo en vacío considera los motores funcionando libremente mientras que el consumo con carga considera la transmisión acoplada a los motores paso a paso y la fuerza ejercida en el taladro al momento de perforar una PCB.

Tabla 6.2: Registro de Parámetros de la Unidad de Control.

Grupo	Elemento	Tensión [v]	Corriente en vacío [A]	Corriente con carga [A]	Corriente máxima [A]
A	Driver x	12.02	0.12	0.13	0.5
	Driver y	12.01	0.11	0.12	0.5
	Driver z	12.02	0.098	0.20	0.5
B	Taladro	12.02	0.23	0.33	0.5

La **tabla 6.3** muestra el registro global obtenido a partir de las pruebas.

Tabla 6.3: Registro de Parámetros de la Fuente de Alimentación.

Estado	Tensión [v]	Corriente [A]	Corriente Máxima [A]
Sistema inactivo	12.02	0.018	5
Sistema activo	12.00	2.032	5

6.2.1.1. Análisis de Resultados.

Los resultados de la **tabla 6.2** demuestran que tanto los drivers como el taladro operan por debajo de sus especificaciones máximas de consumo. Como se esperaba además, la diferencia entre los consumos en vacío y con carga fue pequeña debido a que las plataformas móviles ofrecen poca resistencia al desplazamiento gracias a la suavidad de movimiento conseguida con la implementación de correderas.

Respecto de la **tabla 6.3**, los resultados demuestran que el consumo total de la maquina es inferior a las especificaciones máximas de la fuente diseñada.

En vista de los resultados anteriores se puede afirmar que el diseño realizado es el adecuado para cada componente.

6.2.2. Prueba de Señales.

En esta prueba utiliza el osciloscopio para registrar las señales de cada elemento de la unidad de control. El objetivo de las mediciones es detectar posibles anomalías en los pulsos tales como distorsiones, variaciones de amplitud o retardos no esperados que en algún momento pueden provocar un funcionamiento erróneo de la unidad.

Cabe mencionar que las señales obtenidas son casi idénticas en los 3 drivers, por lo tanto, para fines prácticos solo se exponen las capturas correspondientes al driver X y a la interfaz (**figura 6.1 a figura 6.4**).

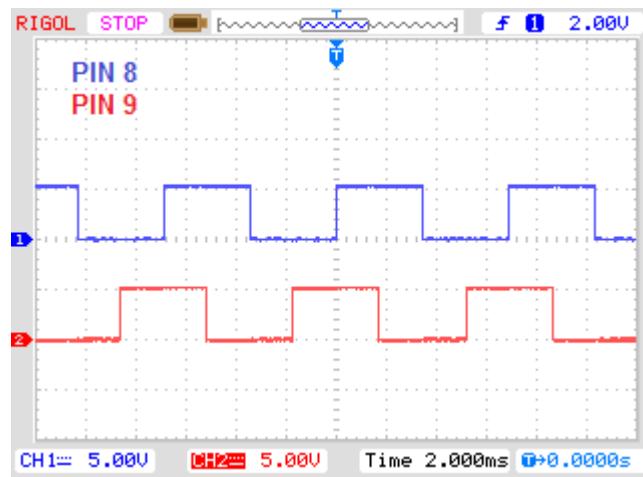


Figura 6.1: Señales de Salida de Arduino para Driver X.

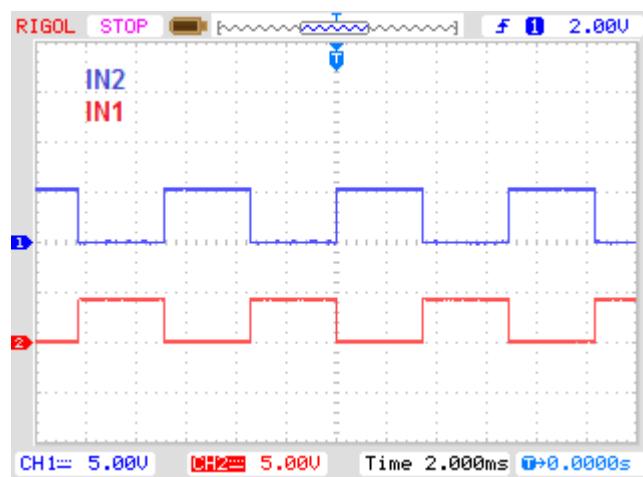


Figura 6.2: Señal In2 y su Inversa In1 para Driver X.

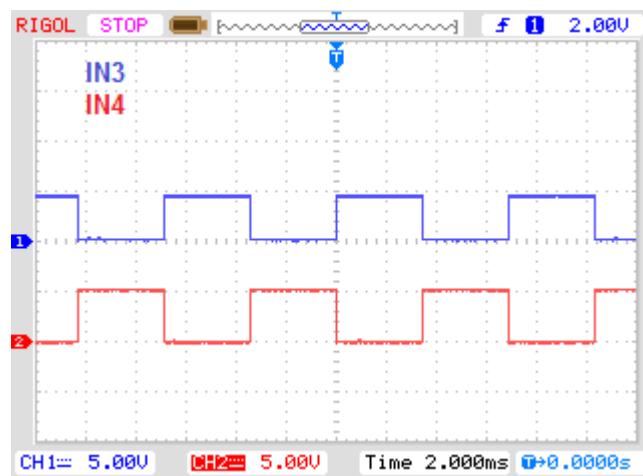


Figura 6.3: Señal In4 y su Inversa In3 para Driver X.

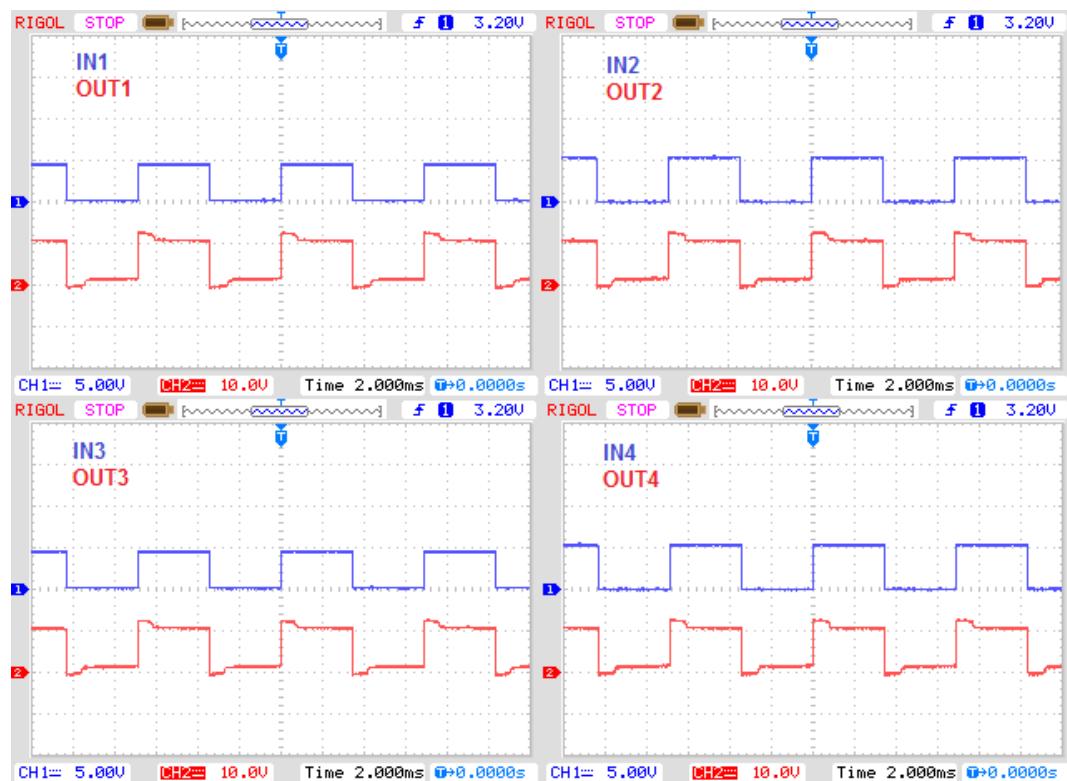


Figura 6.4: Señales de Entrada y Salida del Driver X.

6.2.2.1. Análisis de Resultados.

En la figura 6.1 se observa que las señales de salida del Arduino presentan un desfase de 90° . Tal como se describió en el apartado de diseño el desfase entre ambas señales sumado a la inversión de estados provocada por las compuertas inversoras (**figura 6.2** y **figura 6.3**), generan la secuencia de pulsos para que los motores paso a paso operen en el modo Full-Step, por lo tanto las señales observadas son las esperadas.

Respecto de la **figura 6.4**, se observa que el integrado L298N realiza de forma correcta el trabajo de amplificar las señales de entrada. Se observan unas distorsiones al final del flanco de subida y al final del flanco de bajada de cada pulso, estos corresponden al efecto inductivo que tienen los motores.

Los resultados muestran que no existen anomalías relevantes en cuanto a la amplitud y a las formas de onda asociadas los componentes de la unidad de control. Por lo tanto se puede afirmar que el funcionamiento de la máquina no corre riesgos de inestabilidad al momento de operar.

6.2.3. Pruebas de Precisión.

Estas pruebas son las más importantes ya permiten evaluar el funcionamiento total de la máquina. Para las pruebas que implican el trazado de líneas se ha utilizado una punta de lápiz pasta mientras que para la prueba de perforación se ha usado una broca cuyo diámetro es de 1[mm] (**figura 6.5**).



Figura 6.5: Porta Brocas con Punta de Lápiz (Izq.) y con Broca de 1mm (Der.).

A continuación se describen las pruebas hechas y los resultados obtenidos.

6.2.3.1. Prueba 1: Límites de Trabajo.

En esta prueba se programa la máquina para realizar el trazado de un cuadrado de 100cm^2 con el objeto de determinar la capacidad del taladro CNC para desplazarse en línea recta sin perder precisión. La **figura 6.6** muestra la interfaz de Inkscape con el diseño del cuadrado visible previo a su transformación a G-code.

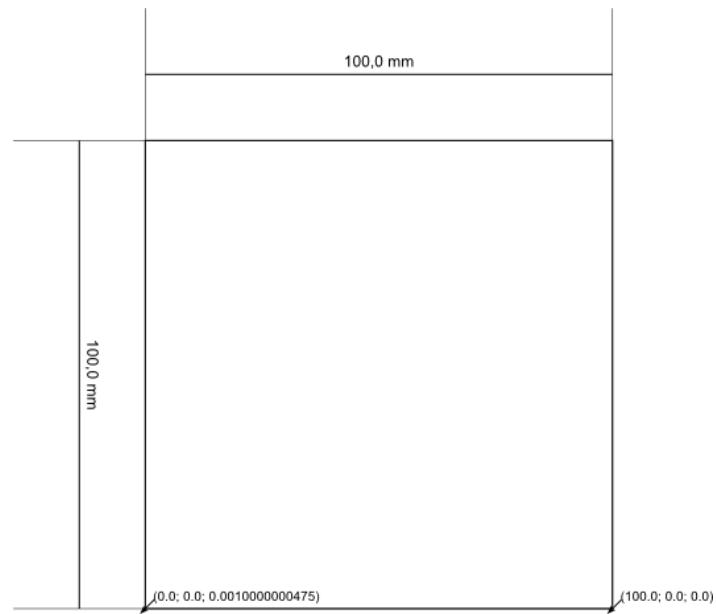


Figura 6.6: Cuadrado de 10x10cms Diseñado en Inkscape.

6.2.3.1.1. Análisis de Resultados.

La prueba se realiza durante 4:30 minutos y el resultado se aprecia en la **figura 6.7**. Se observa que los lados del cuadrado miden 10[cm] tal como lo especifica el diseño. Por lo tanto se puede afirmar que el resultado de la prueba es satisfactorio, es decir que taladro puede moverse de manera rectilínea sin perder precisión en el área trazada.

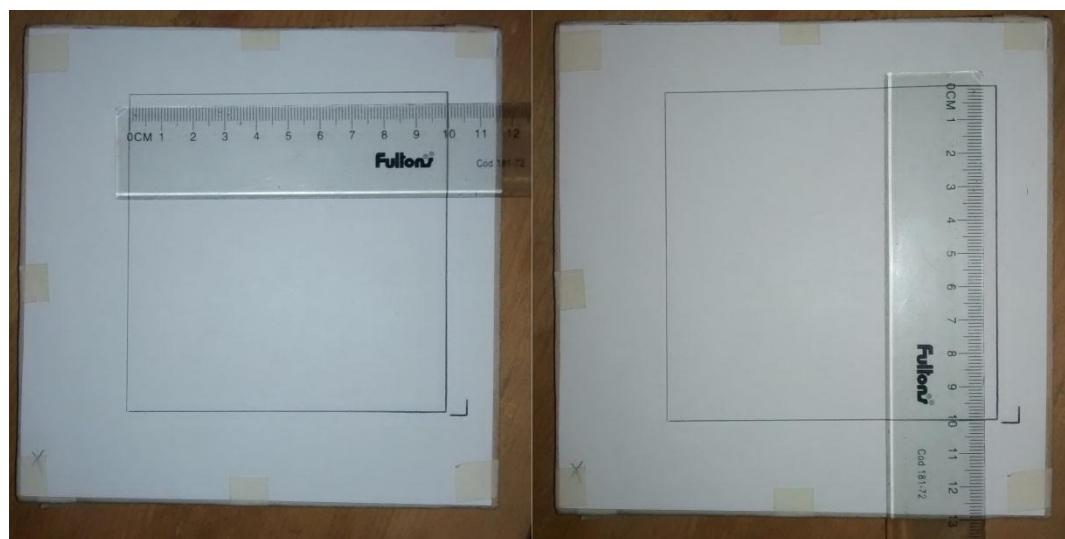


Figura 6.7: Resultado del Trazado de un Cuadrado de 100cm².

6.2.3.2. Prueba 2: Trazado de Círculos.

En esta segunda prueba se programa el taladro CNC para trazar un total de 6 círculos concéntricos (**figura 6.8**). El círculo externo tiene un diámetro de 30 [mm] mientras que los otros círculos tienen diámetros de 25, 20, 15, 10 y 5 [mm]. El objetivo de esta prueba es verificar la capacidad de la máquina para aproximar el trazo de círculos mediante rectas.

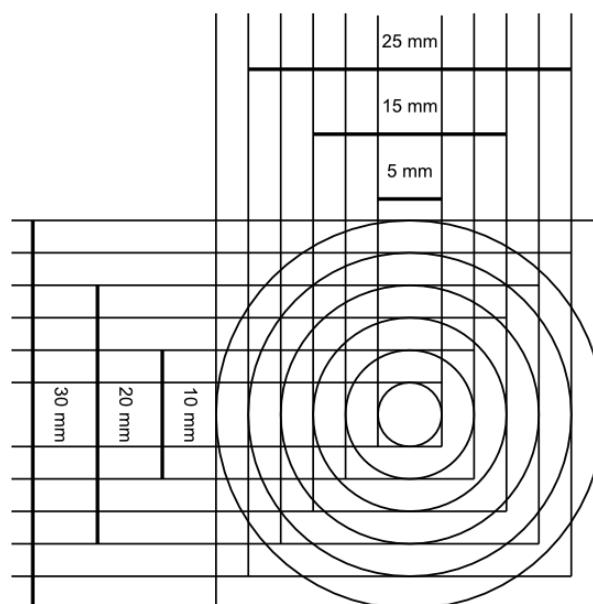


Figura 6.8: Círculos Concéntricos Diseñados en Inkscape.

6.2.3.2.1. Análisis de Resultados.

El proceso se realiza durante 3:45 minutos y el resultado se muestra en la **figura 6.9**.

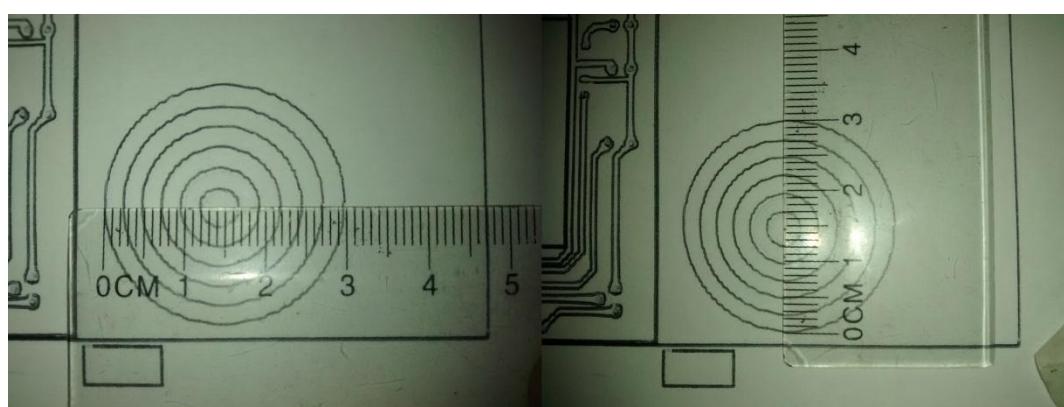


Figura 6.9: Resultado del Trazado de Círculos Concéntricos.

Cada círculo concéntrico es dibujado según las dimensiones especificadas en el G-Code cargado a TxapuCNC por lo tanto se puede afirmar que la prueba ha sido satisfactoria, ya que el taladro se ha desplazado sin problemas en las trayectorias circulares.

6.2.3.3. Prueba 3: Perforación de Pieza.

El objetivo de esta última prueba es poner a prueba la capacidad del eje Z para desplazar el cabezal mientras se realiza la perforación de la placa de circuito impreso.

Para la prueba se realiza un diseño de perforación tomando como referencia las medidas de un circuito integrado MAX232 de 16 pines (**figura 6.10**).

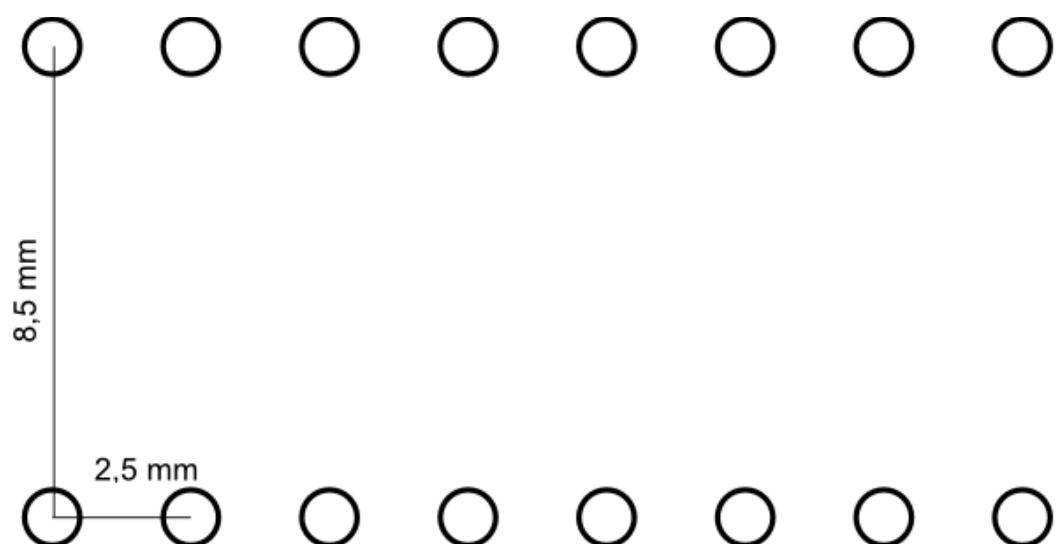


Figura 6.10: Diseño Basado en el Integrado RS232 Realizado en Inkscape.

Según las especificaciones de la hoja de datos, la separación de agujeros entre pines es aproximadamente 2.54 [mm] mientras que la separación entre filas es aproximadamente 8.5[mm].

6.2.3.3.1. Análisis de Resultados.

El proceso se realiza durante 9:55 minutos y sus resultados se muestran en la **figura 6.11**.



Figura 6.11: Perforación de PCB.

Como se aprecia en la **figura 6.12** el integrado se puede montar sin ninguna dificultad sobre la PCB. Los pines atraviesan la placa asentando la pastilla correctamente.

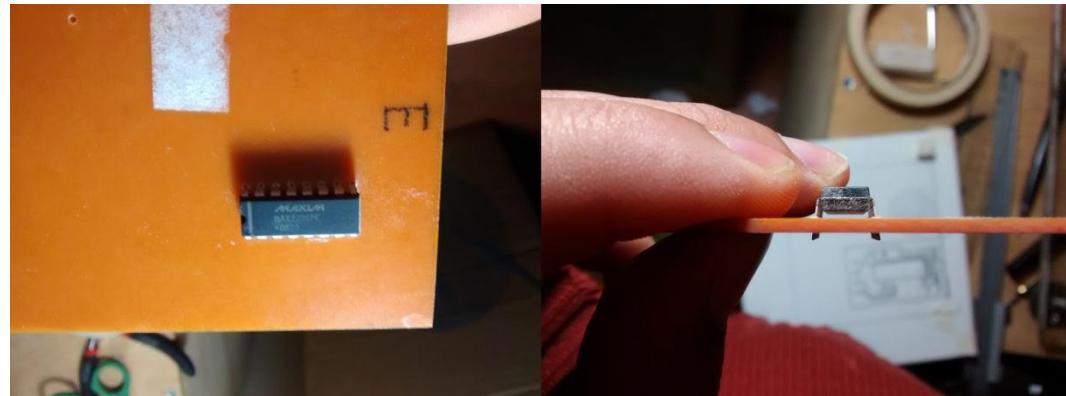


Figura 6.12: C.I. MAX232 Montado en la PCB.

La prueba deja en evidencia la capacidad del eje Z para soportar y desplazar la herramienta en todo momento por lo tanto se puede afirmar que los resultados del proceso son satisfactorios.

6.3. Pruebas Realizadas al Mouse Óptico.

Se han realizado 2 tipos de prueba al mouse óptico. La primera es la prueba de sensor mientras que la segunda es la prueba de señales. Cada una de estas pruebas, incluyendo el análisis de sus resultados se describe a continuación

6.3.1. Conexión entre Elementos.

Para el desarrollo de las pruebas se realiza la conexión entre el mouse y el Arduino según el circuito de la **figura 6.13**.

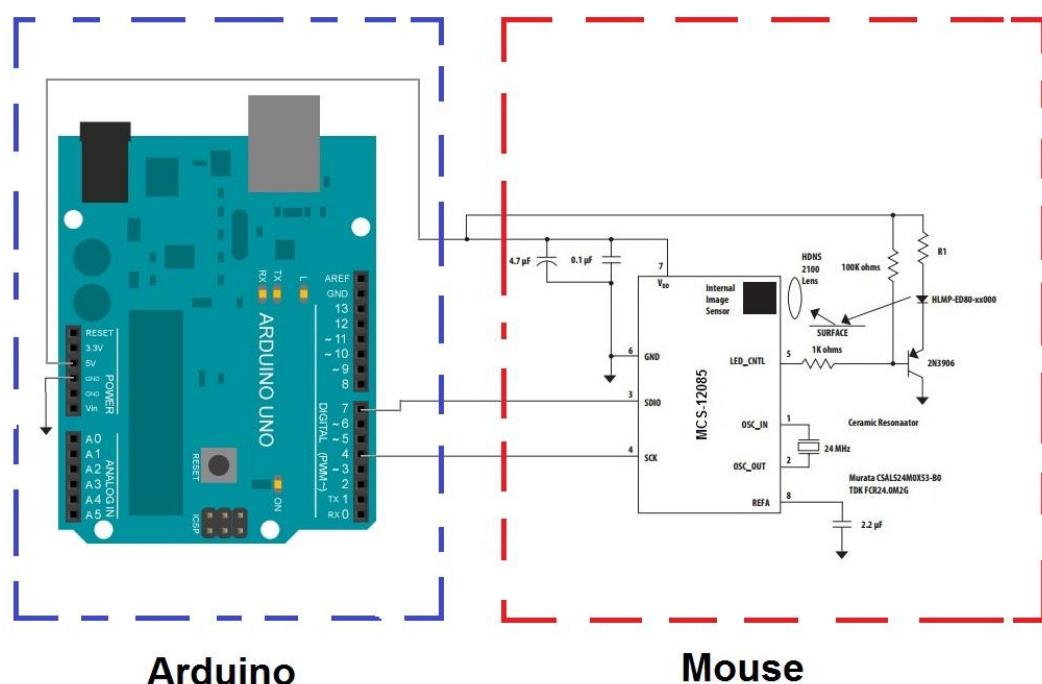


Figura 6.13: Conexión entre Arduino y Mouse Óptico.

6.5.1. Prueba de Sensor.

Para esta prueba se realiza una pequeña rutina que permite monitorear la lectura del registro Delta X del MCS12085 con el objetivo de detectar el desplazamiento del mouse. El algoritmo de la **figura 6.14** obtiene el dato proveniente del registro de desplazamiento del MCS12085 y luego de acumularlo en una variable lo imprime mediante el monitor de puerto serie. El código del programa se especifica en el **Anexo D**.

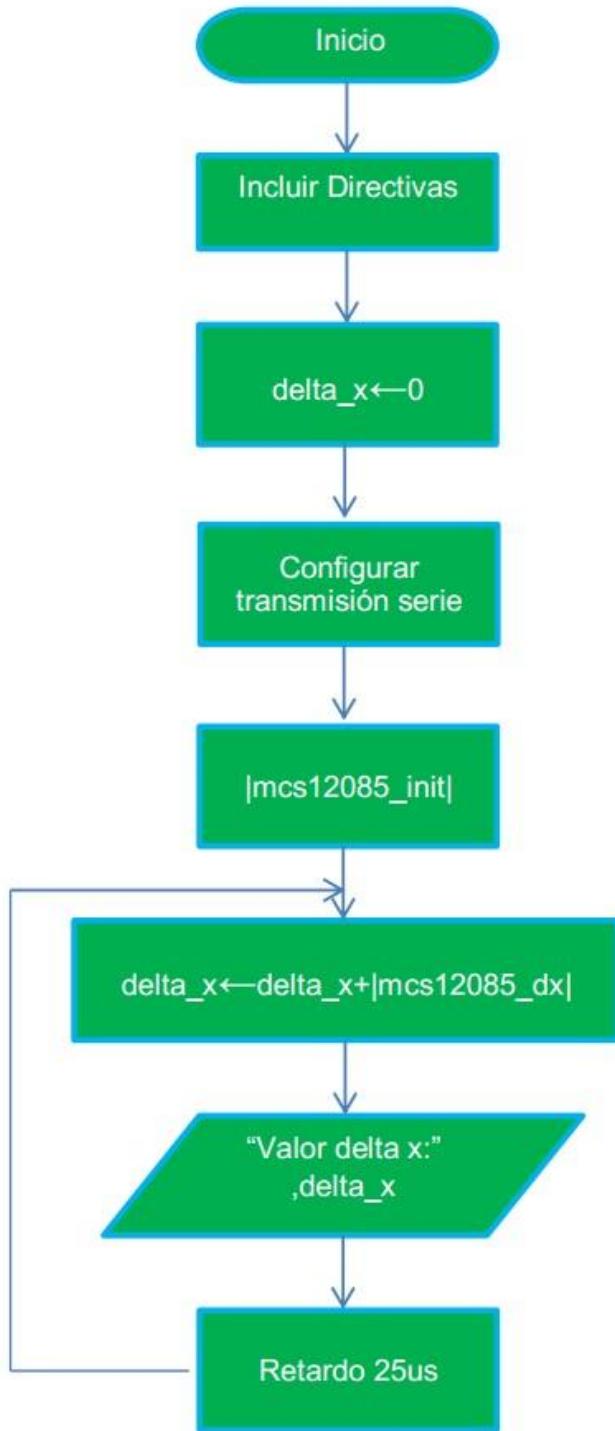


Figura 6.14: Algoritmo del Programa.

Las subrutinas `mcs12085_init` y `mcs12085_dx` [37] se encargan de realizar la adquisición del dato proveniente del registro Delta X ubicado en la dirección de memoria 0x02 del MCS12085. Por otro lado la rutina de retardo pertenece a las librerías originales de Arduino.

6.5.1.1. Análisis de Resultados.

Al iniciar la rutina en la IDE Arduino el monitor de puerto serie muestra valores iguales a cero (**figura 6.15**).

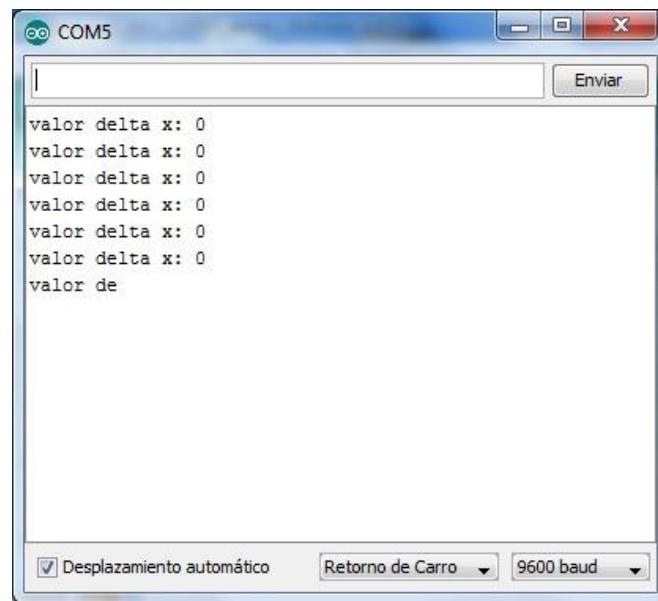


Figura 6.15: Mouse en Reposo al Momento de Iniciar la Rutina.

Al mover el mouse a la izquierda el monitor comienza a registrar un incremento positivo en la variable Delta X. Los resultados se muestran en la **figura 6.16**.

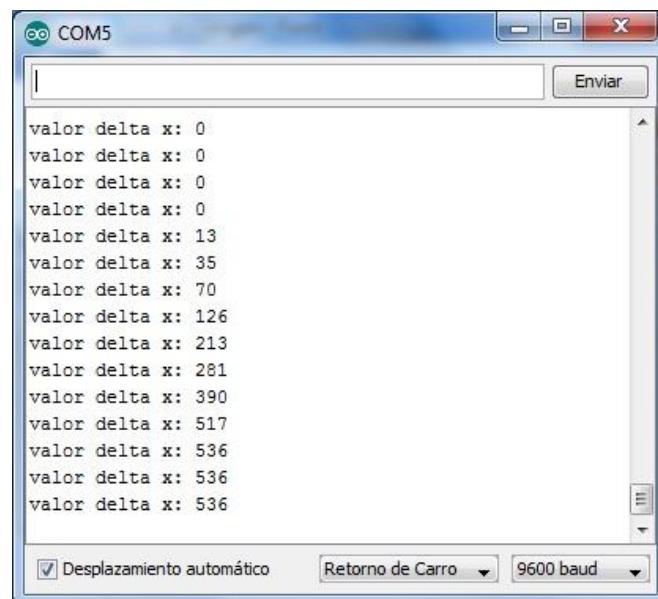


Figura 6.16: Desplazamiento a la Izquierda.

Por otro lado, al desplazar el mouse hacia la derecha el monitor registra un incremento negativo en los valores de la variable Delta X como se aprecia en la **figura 6.17**.

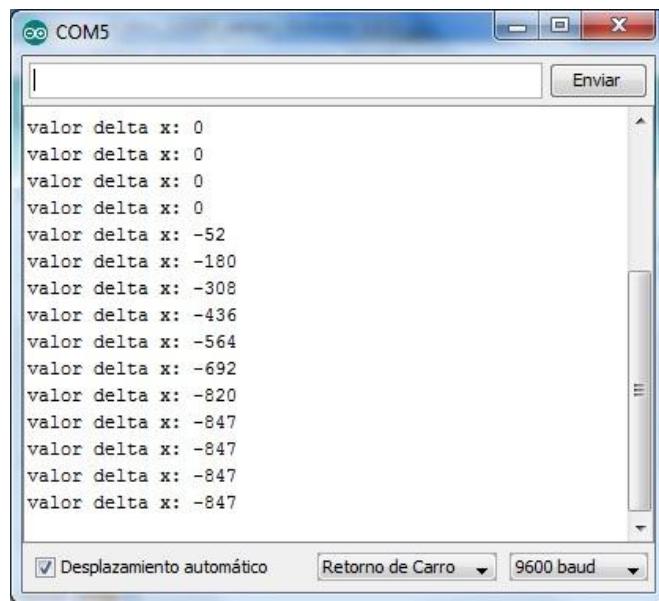


Figura 6.17: Desplazamiento a la Derecha.

Los resultados anteriores establecen que la prueba es exitosa ya que los movimientos del mouse se registran correctamente.

6.5.2 Prueba de Señales.

En esta prueba se registran las formas de ondas de las líneas de comunicación para verificar si son las esperadas según el protocolo especificado en la hoja de datos del C.I. MCS12085.

6.5.2.1. Análisis de Resultados.

La **figura 6.18** muestra las señales registradas en el osciloscopio cuando el mouse se encuentra inactivo. El primer tren de pulsos del SCK es el que sincroniza el envío de la dirección de memoria a leer. En ese transcurso de tiempo la línea SDIO envía un 3 binario indicándole al MCS12085 que se accederá al registro Delta X. Luego de un tiempo aproximado de 140us comienza la operación de lectura en la que el sensor envía el byte que contiene la información del registro solicitado.

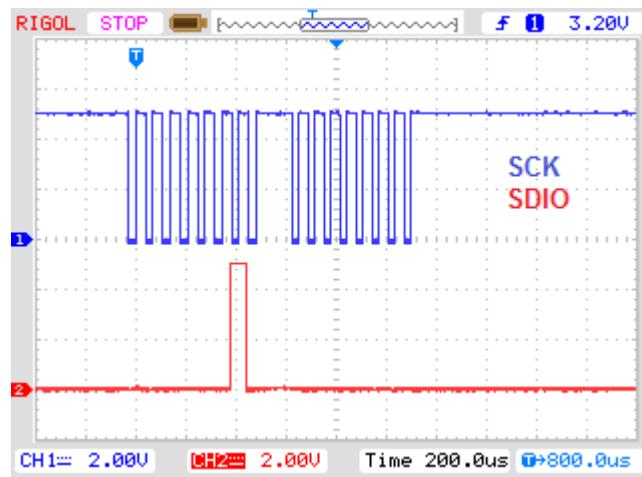


Figura 6.18: Formas de Onda de Mouse en Estado Inactivo.

En la **figura 6.19** puede verse que al momento de realizar un movimiento con el mouse se visualiza un par de pulsos. Lo anterior indica que el sensor almacena el desplazamiento en el registro delta X y posteriormente envía el byte a la placa Arduino.

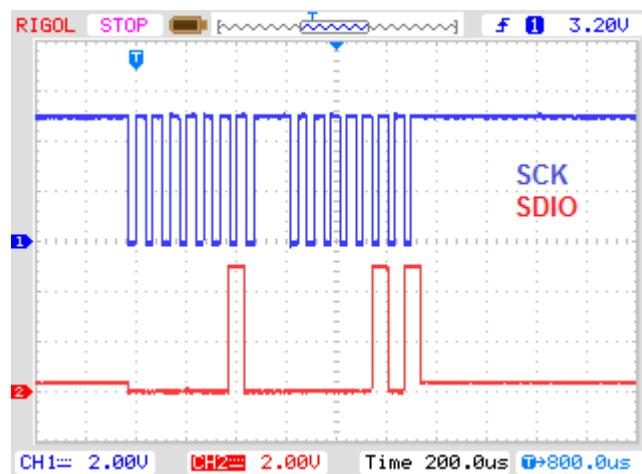


Figura 6.19: Formas de Onda de Mouse en Estado Activo.

Los resultados de esta prueba indican que la comunicación entre mouse y Arduino se realiza sin anomalías. Este resultado ya se esperaba pues en la prueba anterior la comunicación fue exitosa. Respecto del ruido se puede acotar que en ningún momento tuvo incidencia en las señales analizadas debido a que era apenas perceptible.

Los resultados anteriores permiten afirmar que la propuesta de diseño es válida. Por lo tanto, en el futuro puede integrar este sistema al equipamiento de la máquina para compensar las deficiencias en el hardware mecánico y así evitar que se produzcan errores asociados al desplazamiento.

CAPITULO 7: COSTOS.

7. Costos.

Hasta el momento se ha hecho un análisis funcional de taladro CNC para así determinar la calidad del prototipo. Sin restar importancia a lo anterior se considera necesario analizar el costo asociado a la construcción de este dispositivo ya que desde un comienzo se planteó la idea de desarrollar una alternativa económica con las prestaciones necesarias para personas con un capital moderado.

En este capítulo se realiza el cálculo de los costos de mano de obra y materiales que requiere la construcción del taladro CNC. También se incluye el costo de algunos equipos que ofrece el mercado nacional a modo referencial. Por último se hace una comparación de precios entre las maquinas cotizadas y el equipo diseñado para evaluar si este último es una opción conveniente.

7.1. Costos del Diseño.

7.1.1 Costos de Elementos.

Para la construcción del taladro CNC se usaron algunos componentes que no están diseñados específicamente para la fabricación de este tipo de máquina pero que entregan la utilidad necesaria. En la **tabla 7.1** se describen las características de cada componente así como su valor unitario y valor total según la cantidad de piezas. Tanto acrílicos como pilares tienen un precio unitario calculado a partir de su valor proporcional respecto del valor de placa y perfil total respectivamente.

Tabla 7.1: Costos Asociados a Materiales.

Nº	Elemento	Especificaciones	Total	Precio Unidad [\\$]	Precio Total [\\$]	Ref.
1	Soporte Base	Base Acrílica 400x250x10mm	1	10.000	10.000	(1)
2	Soporte Vertical	Base Acrílica 270x190x5mm	1	2.565	2.565	(1)
3	Plataforma X	Base Acrílica 150x150x10mm	1	2.250	2.250	(1)
4	Plataforma Y	Base Acrílica 210x70x5mm	1	735	735	(1)
5	Plataforma Z	Base Acrílica 120x70x5mm	1	420	420	(1)
6	Pilar	Perfil Bosch RexRoth 1000x45x45x2mm	2	8.666	17.332	(2)
7	Pernos Pilar	T-Head Bolt Bosch RexRoth 10mm	4	1.182	4.730	(2)
8	Ejes	Varilla Roscada M5 1000mm	1	1.250	1.250	(3)
9	Soporte Ejes	Rodamiento 5mm	3	2.856	8.568	(2)
10	Fijación Pilar	Varilla Roscada M10 1000mm	1	2.500	2.500	(3)
11	Guías X,Y	Corredera Telescópica Ducasse 250mm	4	1.250	5.000	(3)
12	Guía Z	Corredera Simple Ducasse 300mm	1	400	400	(3)
13	Soporte guía X,Z	Riel Simétrico 1000mm	1	1.290	1.290	(3)
14	Soporte de Motor pap	Soporte de motor NEMA 17 Acero	3	2.000	6.000	(4)
15	copla Motor pap	Acoplamiento Flexible	3	1.675	5.025	(4)
18	Funda Cables	Funda Termo Retráctil 1000x10mm	2	500	1.000	(5)
19	Perno M5		34	35	1.190	(2)
20	Arandela Plana	Golilla M5	34	10	340	(2)
21	Arandela de Presión	Golilla M5	34	10	340	(2)
22	Tuerca Hexagonal	Tuerca M5	34	10	340	(2)
23	Tuerca Hexagonal	Tuerca M10	4	68	272	(2)

24	Arandela Plana	Arandela M10	4	56	224	(2)
25	Arandela de Presión	Golilla M10	4	79	316	(2)
26	Chasis Unidad de Control	Caja para Proyecto 200x300x100mm	1	20.000	20.000	(5)
27	Diodo	FR304	24	100	2.400	(5)
28	Regleta doble	AK500 x2	18	240	4.320	(5)
29	Regleta Triple	Ak500 x3	3	300	900	(5)
30	Condensador	Condensador Electrolítico 470uF /50v	3	170	510	(5)
31	Condensador	Condensador cerámico 0.1uF	6	20	120	(5)
32	Resistencia	Resistencia 1ohm /0.5 watt	12	10	120	(5)
33	PCB	Placa de Cobre 100x50x1.6mm	3	290	870	(5)
34	L298N	Dual H Bridge multiwatt15	3	2.990	8.970	(5)
35	Transformador	Transformador Toroidal T050 220/24v 5A	1	49.280	49.280	(2)
36	Regulador 12v	LM7812	1	290	290	(5)
37	Regulador 5v	LM7805	1	290	290	(5)
38	Puente Rectificador	KBU6A	1	850	850	(5)
39	Transistor	TIP2955	1	600	600	(5)
40	Condensador	Condensador Electrolítico 6.800uF /50v		2.720	2.720	(5)
41	Condensador	Condensador Cerámico 0.33uF/50v	2	20	40	(5)
42	Condensador	Condensador Cerámico 0.1uF/50v	2	20	40	(5)
43	Conector Red	Conector Molex 2pines	1	50	50	(5)
44	Conector Salida	Conector Molex 3 pines	1	100	100	(5)
45	PCB	Placa de Cobre 100x150x1.6mm	1	900	900	(5)
46	Separador	Separador Plástico	20	70	1.400	(5)
47	Arduino	Arduino Uno	1	15.640	15.640	(5)
48	Conector de Alimentación	Conector hembra de 3 pines 10A	1	550	550	(5)
49	Cable de Poder	Cable 1mt	1	1.000	1.000	(5)

50	Motor pap	Bipolar Stepper FL39ST38-0504A	3	12.500	37.500	(5)
51	Taladro	Taladro AD18	1	5.500	5.500	(5)
Total					\$227.047	

- (1): *Norglass.*
- (2): *Rs Chile.*
- (3): *Sodimac.*
- (4): *Aliexpress.*
- (5): *Casa Royal.*

7.1.2. Costos por Concepto de Mano de Obra.

Para el cálculo de la mano de obra se ha considerado el tiempo requerido para la construcción de este equipo y el ingreso promedio según un sitio [38] perteneciente al Estado.

- Tiempo aproximado de elaboración sin considerar diseño ni modelado: 67.5 hrs.
- Ingreso Promedio mensual de un Ingeniero Electrónico: \$781.975 (**figura 7.1**).

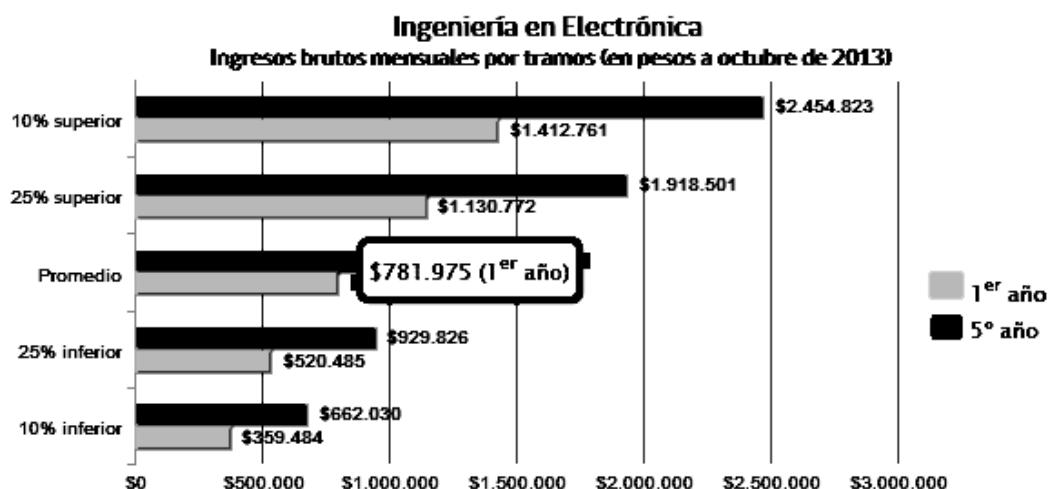


Figura 7.1: Ingreso Promedio de un Ingeniero Electrónico al Primer Año de Egreso.

Considerando que semanalmente un trabajador debe cubrir un total de 45 horas, se tiene que en un mes la cantidad de horas totales trabajadas es de 180 horas. Aplicando una regla de tres simple se tiene que:

$$180 \text{ hrs} \rightarrow \$781.975$$

$$1 \text{ hrs} \rightarrow X$$

$$\therefore X = \frac{781.975}{180} \rightarrow X = \$4.344$$

Luego el precio por hora trabajada es de **\$4.344**.

Si la hora de trabajo tiene un valor de \$4.344 entonces el costo por mano de obra asociado al taladro CNC es de **\$293.220**

7.1.3. Costos Totales.

Sumando los costos asociados a componentes y a la mano de obra se tiene un total de **\$520.267**.

7.2. Comparación con Referencia de Mercado.

Se ha elegido como referencia un mini router CNC de la empresa Importadora BUCA. El valor de Referencia aproximado de este equipo es de \$2.000.000. En la **tabla 7.2** se hace una descripción comparativa entre el sistema comercial y el prototipo diseñado.

Tabla 7.2: Comparación de Productos.

Tipo de Producto	Referencia Comercial	Diseño
Marca	BUCA	----
MODELO	BUCA CNC 3040	----
Tipo de Maquina	Router	Taladro
Resolución	0.04mm	0.004mm
Área de Trabajo	300x400mm	100x100mm
Peso	15[kg]	8[kg]
Conectividad	Puerto Paralelo.	USB.
Material de Construcción	Aluminio.	Aluminio y Acrílico

7.2.1. Comparación de Costos.

En la **tabla 7.3** se presenta la diferencia de costo entre el prototipo diseñado y la referencia comercial.

Tabla7.3: Comparativa de Costos.

Diseño	Buca CNC 3040	Diferencia en Costo	Diferencia Porcentual
\$520.267	\$2.000.000	\$1.479.733	74%

La **tabla7.2** permite apreciar las principales características de cada equipo. Por un lado la referencia comercial ofrece prestaciones superiores al tratarse de un equipo router y abarcar un área de trabajo mayor. Por otro lado la opción diseñada ofrece una mayor resolución y una conectividad acorde a los estándares actuales.

Respecto de la **tabla 7.3**, la diferencia entre ambos sistemas es considerable y se debe a 2 factores; el primero es el costo de importación y de aduana asociado a la máquina. Un equipo de similares prestaciones a la referencia comercial pero cotizado en China tiene un valor aproximado de \$500.000. El segundo factor es el material de elaboración estandarizado presente en la referencia. Si se compara un hilo sin fin de rosca cuadrada (valor ref.: \$15.000) con una varilla roscada (valor ref.: \$1.000), la diferencia porcentual entre ambos elementos es de 93%.

CONCLUSION.

8. Conclusión.

A través de este trabajo ha quedado demostrado que la tecnología de control numérico puede ser desarrollada de forma no industrial a partir de componentes de bajo costo que no necesariamente son fabricados para tal fin, pero que ofrecen prestaciones similares.

Mediante el modelado, diseño e implementación de un prototipo CNC de pruebas ha sido posible estudiar la factibilidad de fabricar equipos de bajo costo capaces de satisfacer necesidades puntuales tales como la perforación de placas de circuito impreso.

Los resultados obtenidos a partir de las diferentes pruebas realizadas al sistema CNC y al encoder han sido de gran importancia, pues validan los diseños propuestos y además sirven de antecedente ante posteriores trabajos. Respecto de esto último, si bien existen trabajos previos relacionados con la aplicación de tecnología CNC, el aporte de este trabajo de título en cuanto al tipo de material usado y al sistema de posicionamiento lo hacen una contribución diferente.

Como conclusión final se puede afirmar que el objetivo propuesto se cumplió totalmente, es decir, se demostró que el dispositivo construido es capaz de dar una solución a la problemática propuesta logrando perforar placas de circuito impreso en un área cuadrada efectiva de 100cm².

REFERENCIAS.

Textos y Apuntes.

- [1] Laboratorio de CNC-Jorge Quezada Carrillo. Año 2011.
- [3] Control Numérico por Computadora-Ingeniería de Manufactura. Ricardo Jiménez. Año 2008.
- [5] Price List-Bungard.Elektronik. Año 2010.
- [10] Diseño e Implementación de una Plataforma de Desarrollo, Aplicada a un Prototipo de Máquina Fresadora CNC. Valerio Guerrero y Sebastián Alejandro. Año 2007.
- [11] Proceso de Ejecución y Tallado de Modelos en Maquina Fresadora de Control Numérico por Computador para Canal de Ensayos Hidrodinámicos. Javiera Moreno. Año 2010.
- [12] Automatización de un Taladro Fresador. Luis Delgado. Año 2012.
- [13] Diseño de una Fresadora CNC de Tres Ejes, Experimental para Metales Blandos. Felipe Herrera y Rodrigo Vargas. Año 2012.
- [16] Control Numérico y Programación II: Curso Práctico. Mecanizado, Preparación y Programación de Máquinas de Fabricación Mecánica-Francisco Cruz Teruel.2da Ed. Año 2010. Editorial Marcombo S.A.
- [17] Todo lo que Usted Debe Saber Antes de Comprar un Router CNC-RouterLand.
- [27] Manual de Sistema de Motores Paso a Paso Surestep-AutomationDirect.com.2da Edición en Español. 2007.
- [29] Cálculo de Capacidad de Corriente en Pistas de Circuitos Impresos-eycom electrónica. Año 2011.
- [30] L298 DUAL FULL-BRIDGE DRIVER-Hoja de Datos. Compañía STMicroelectronics. Año 2000.
- [31] Arduino Cookbook- Michael Margolis.2nd edition.
- [32] Subminiature Basics Switch-Omron.
- [33]MCS-12085 Datasheet.
- [37] subrutinas de control para el C.I. MCS-12085-John Graham. Año 2012.

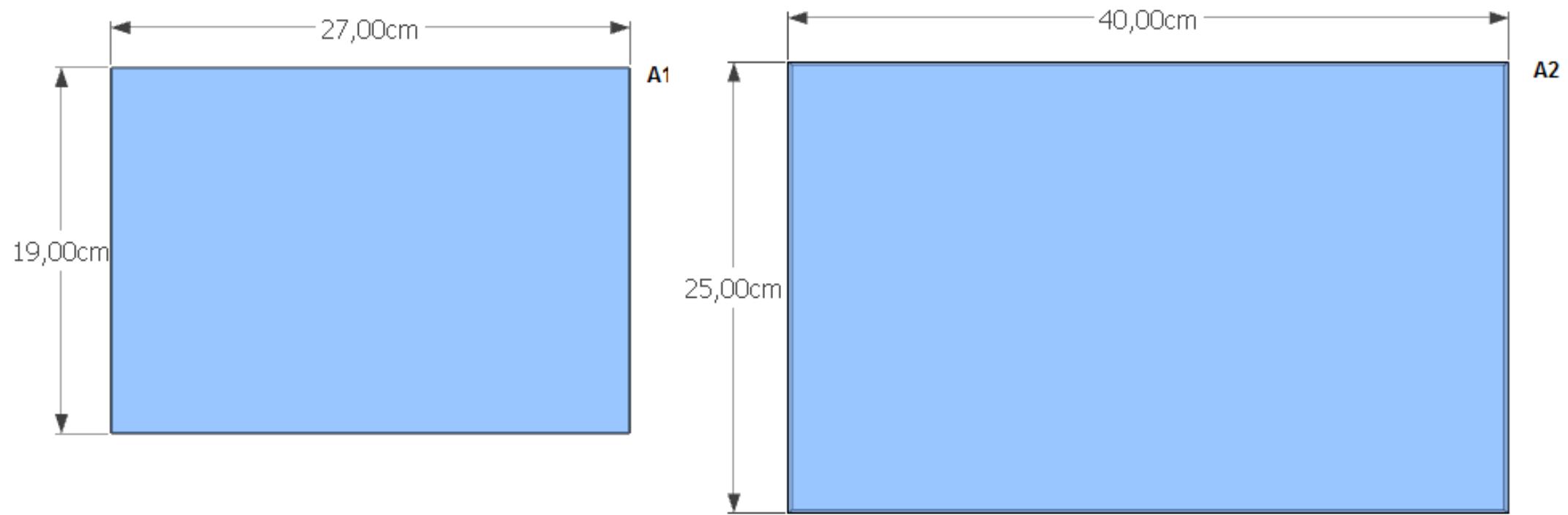
Sitios Webs.

- [2] <http://www.convertronic.net/Diseno/2013-10-31-09-58-46.html>
- [4] <http://www.colinbus.com/es/pcbprototyper.html>
- [6] <http://es.aliexpress.com/item/Price-of-cnc-engraving-machine-3040CH80-A-800W/925702775.html>
- [7] <http://www.printtec.nl/contents/en-uk/d414.html>
- [8] <http://www.inserhid.cl>
- [9] <http://www.poirot.cl>
- [14] <http://cadcamcae.wordpress.com/2007/06/14/el-control-numerico-porcomputadora-el-cnc/>.
- [15] <http://www.frvt.utn.edu.ar/cadcam-info.asp>
- [18] <http://eg-machine.es/9-drilling-machine.html>
- [19] <http://www.emmegi.com/Sezione.jsp?idSezione=2684>
- [20] <http://www.arqphys.com/construcion/acero-caracteristicas.html>
- [21] <http://estructurasacero.blogspot.com/2007/06/ventajas-y-desventajas-del-uso-de-acero.html>
- [22] <http://html.rincondelvago.com/construcion-con-madera-aglomerada.html>
- [23] <http://acryl.cl/Acrilico/paginas/ventajas.htm>
- [24] <http://www.dapducasse.cl/CorrederasMuebles.pdf>
- [25] http://centrodeartigos.com/articulos-utiles/article_110585.html
- [26] http://www.technocnc.com/eBlasts/Linear_Motion/Article1-Stepper_or_Servomotor.htm
- [28] <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Fuentes-alimentacion.php>
- [34] <http://www.txapuzas.blogspot.com>
- [35] <http://www.neoteo.com/circuitos-impresos-el-metodo-de-la-plancha/>
- [36] <http://www.softzone.es/manuales-software-2/tutorial-de-virtualbox/>
- [38] <http://www.mifuturo.cl>

ANEXO A: DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA MÉCANICO.

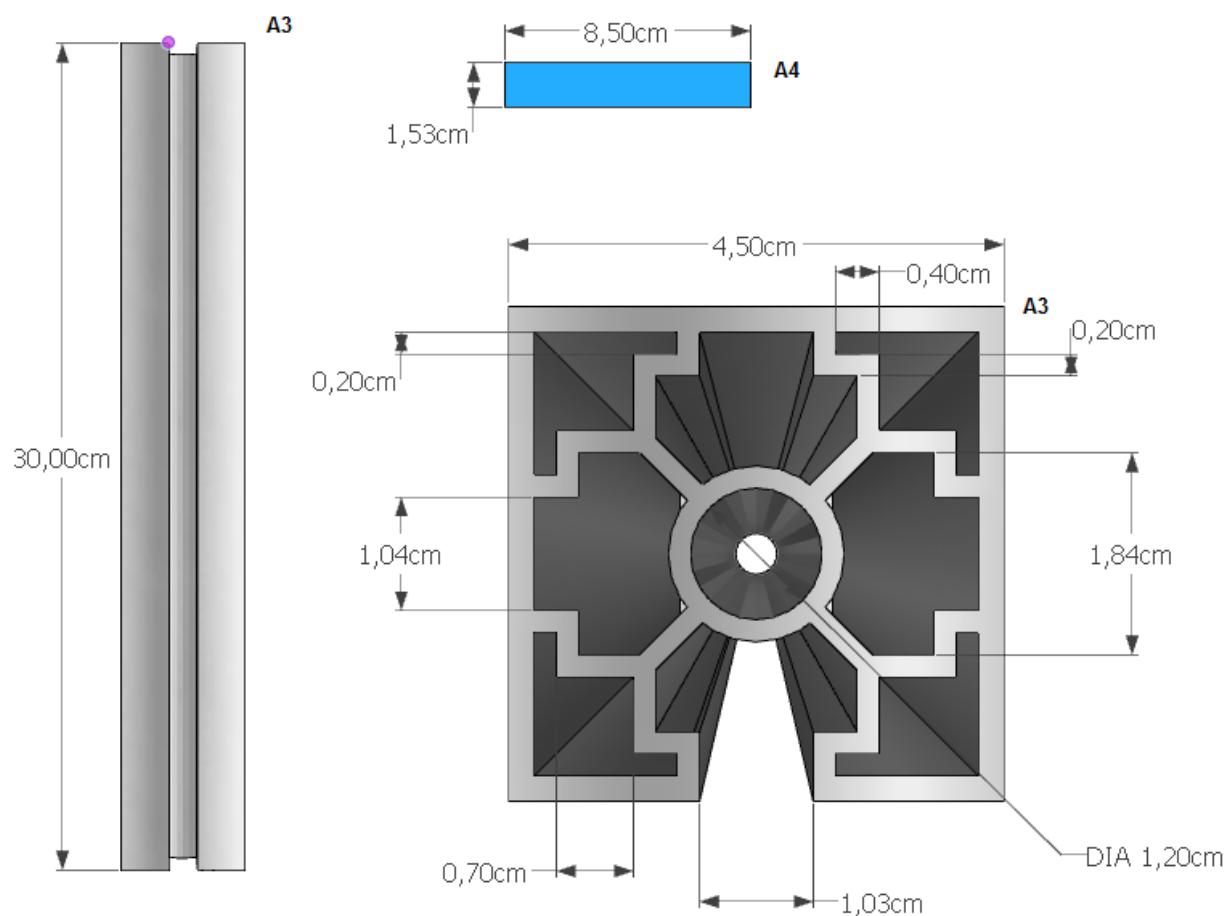
A1: SOPORTE VERTICAL Y.

A2: SOPORTE HORIZONTAL X.



A3: PILAR.

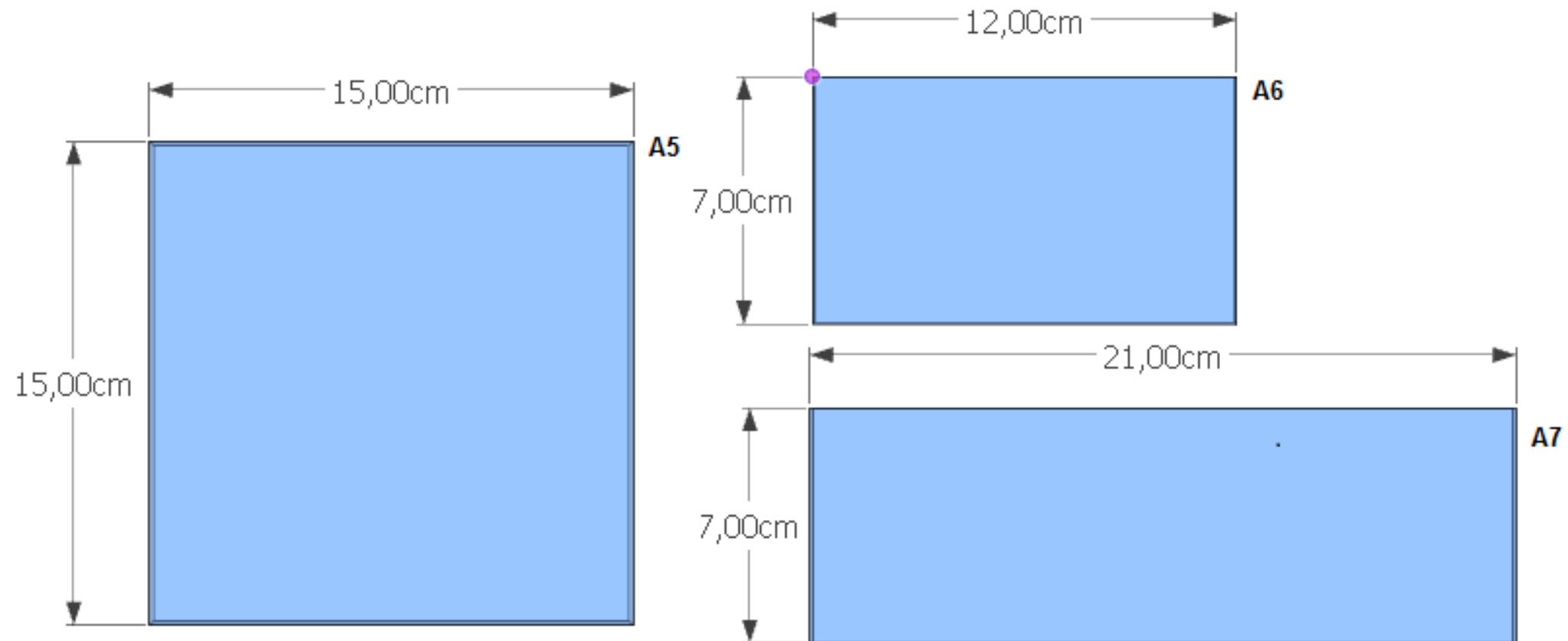
A4: SEPARADOR DE GOMA.



A5: PLATAFORMA MOVIL X.

A6: PLATAFORMA MOVIL Z.

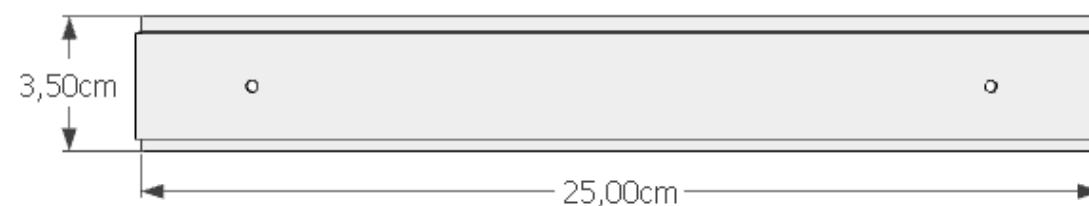
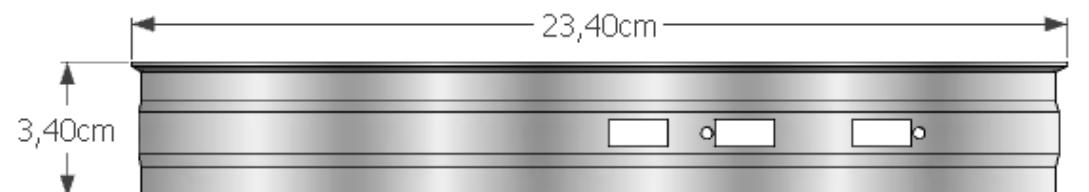
A7: PLATAFORMA MOVIL Y.



A8: SOPORTE FIJO DE CORREDERA PARA EJES X,Y.

A9: SOPORTE MOVIL DE CORREDERA PARA EJES X,Y.

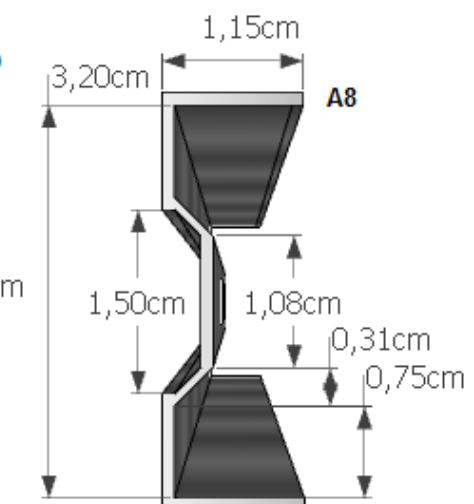
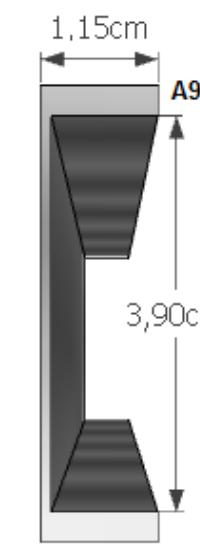
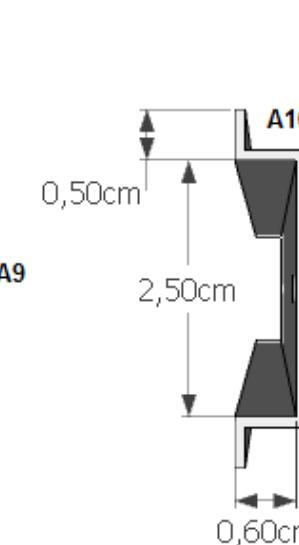
A10: SOPORTE DE NIVELACION PARA CORREDERA DE EJES X,Y.



A8

A9

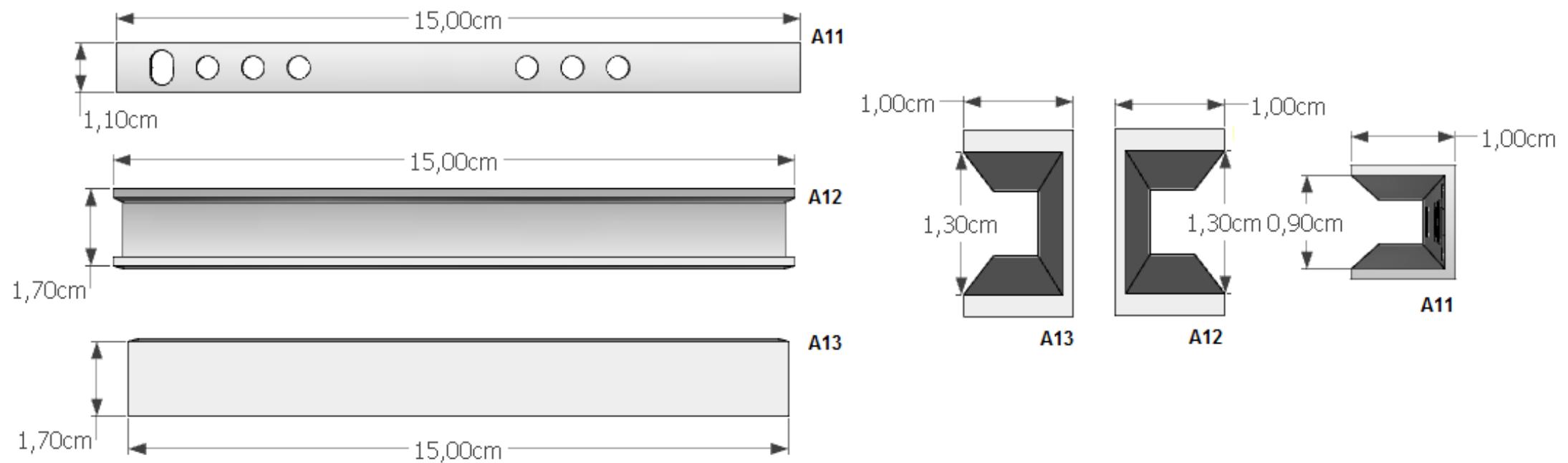
A10



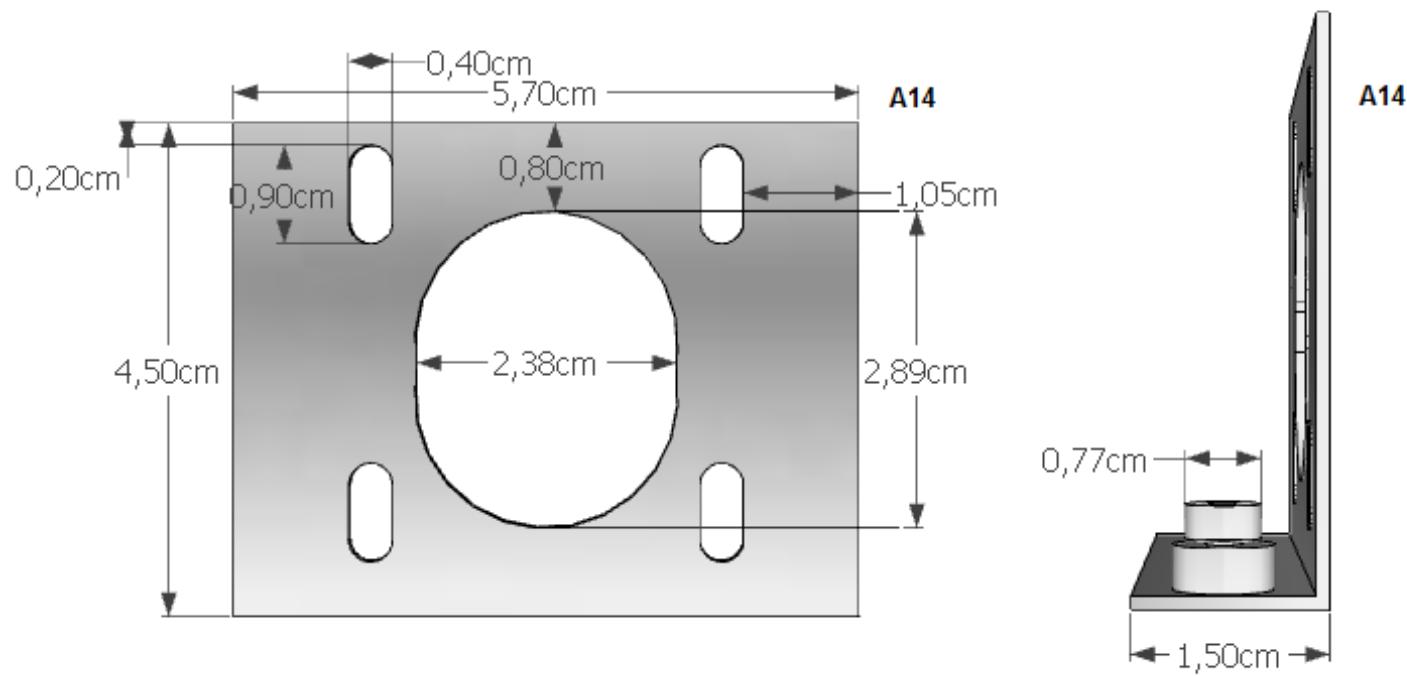
A11: SOPORTE FIJO DE CORREDERA PARA EJE Z.

A12: SOPORTE MOVIL DE CORREDERA PARA EJE Z.

A13: SOPORTE DE NIVELACION PARA CORREDERA DE EJE Z.



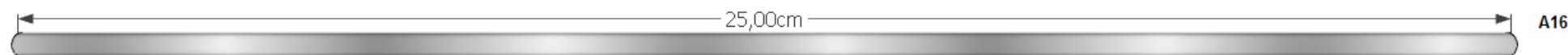
A14: SOPORTE DE MOTORES PASO A PASO.



A15: VARILLA ROSCADA PARA EJE Z.

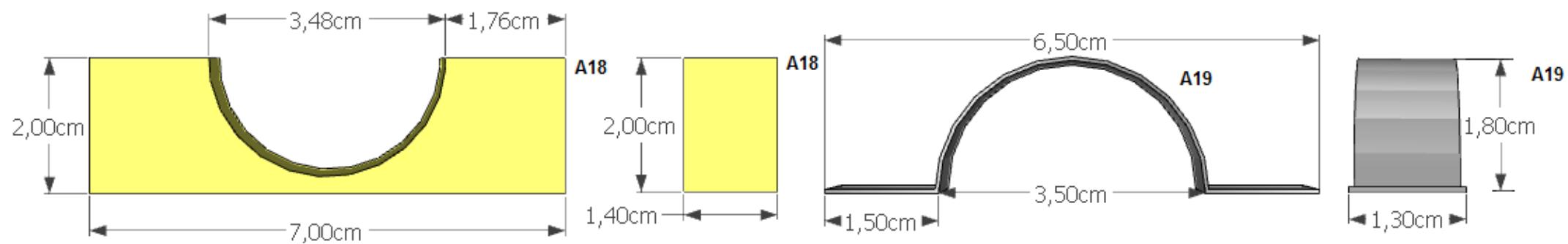
A16: VARILLA ROSCADA PARA EJE Y.

A17: VARILLA ROSCADA PARA EJE X.



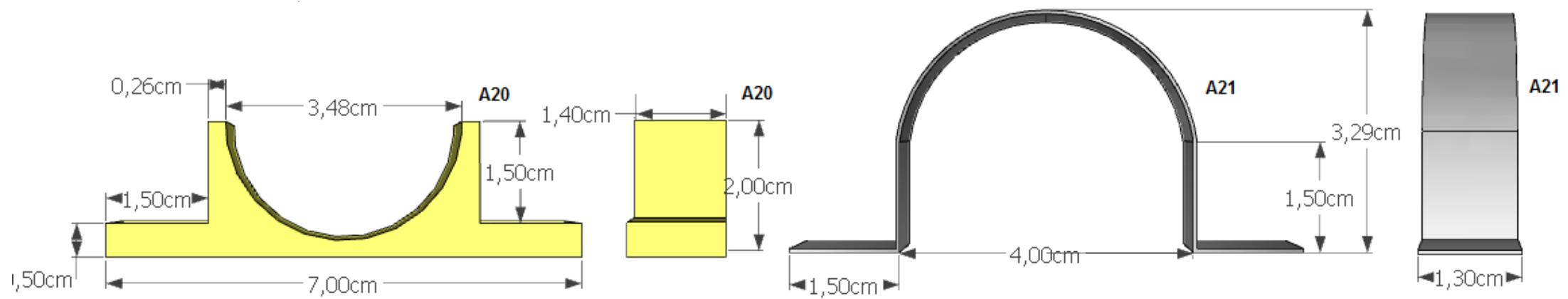
A18: SOPORTE FRONTAL DE TALADRO.

A19: ABRAZADERA PARA SOPORTE FRONTAL.

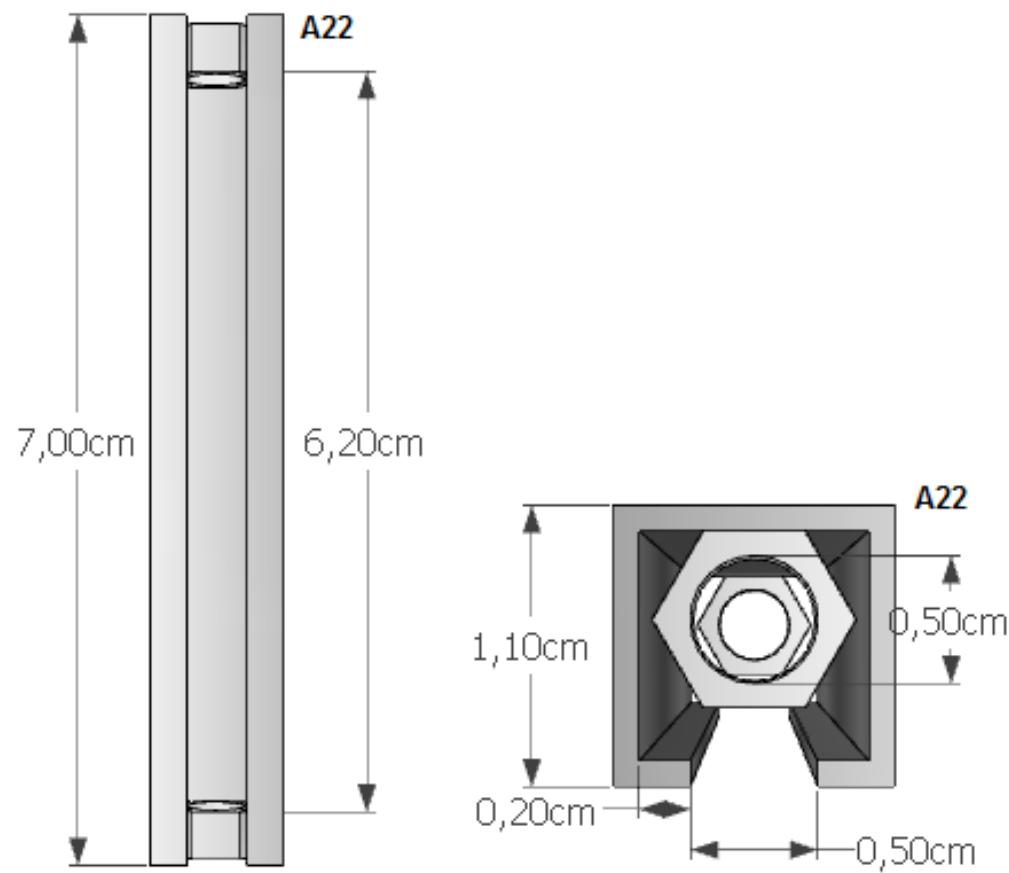


A20: SOPORTE TRASERO DE TALADRO.

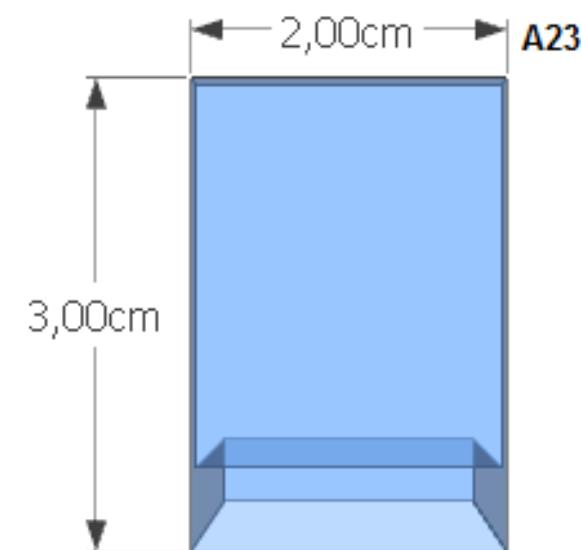
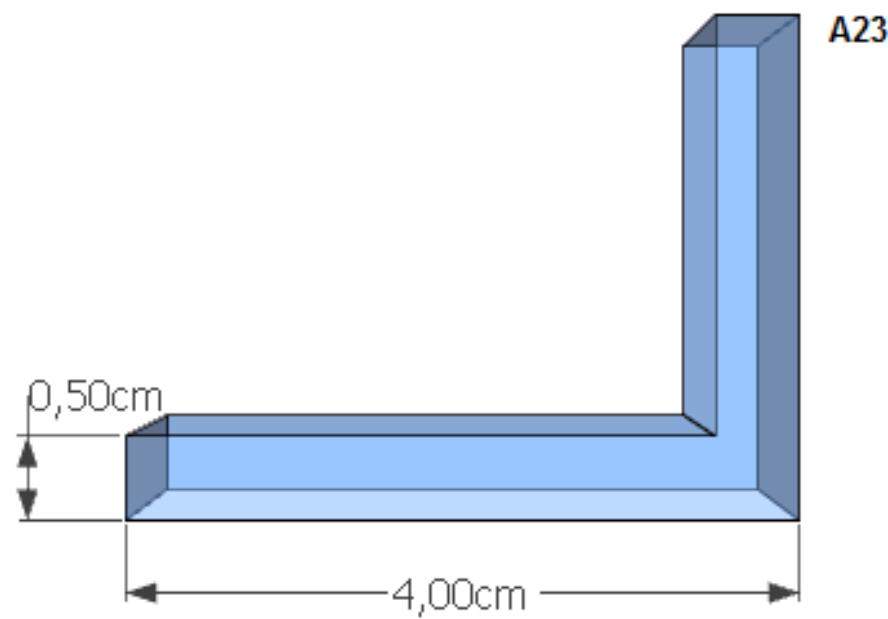
A21: ABRAZADERA PARA SOPORTE TRASERO.



A22: SOPORTE DE DOBLE TUERCA.

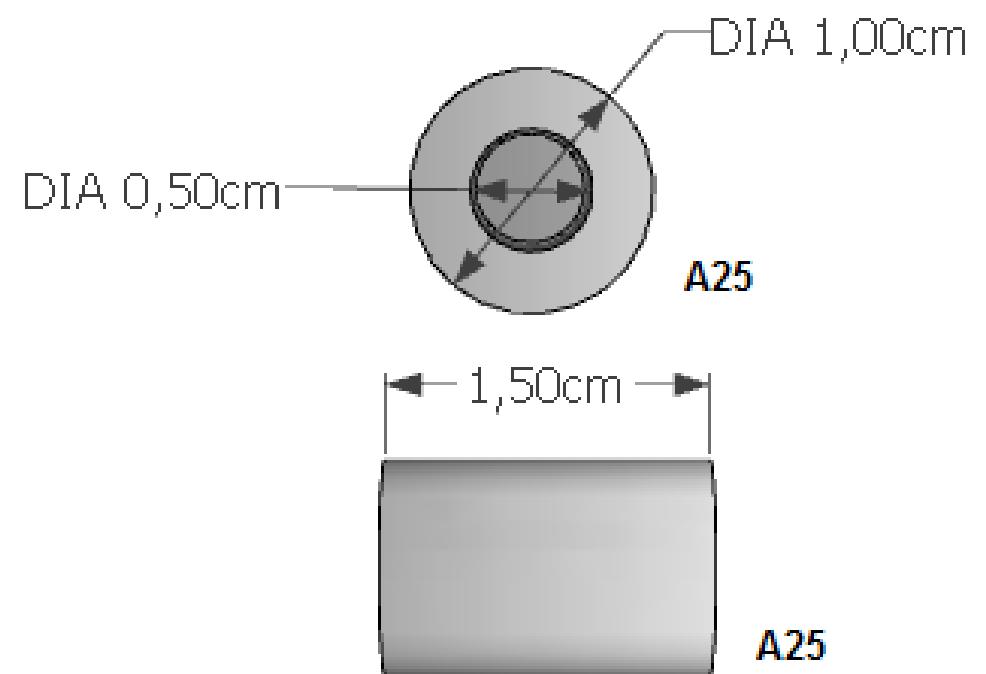
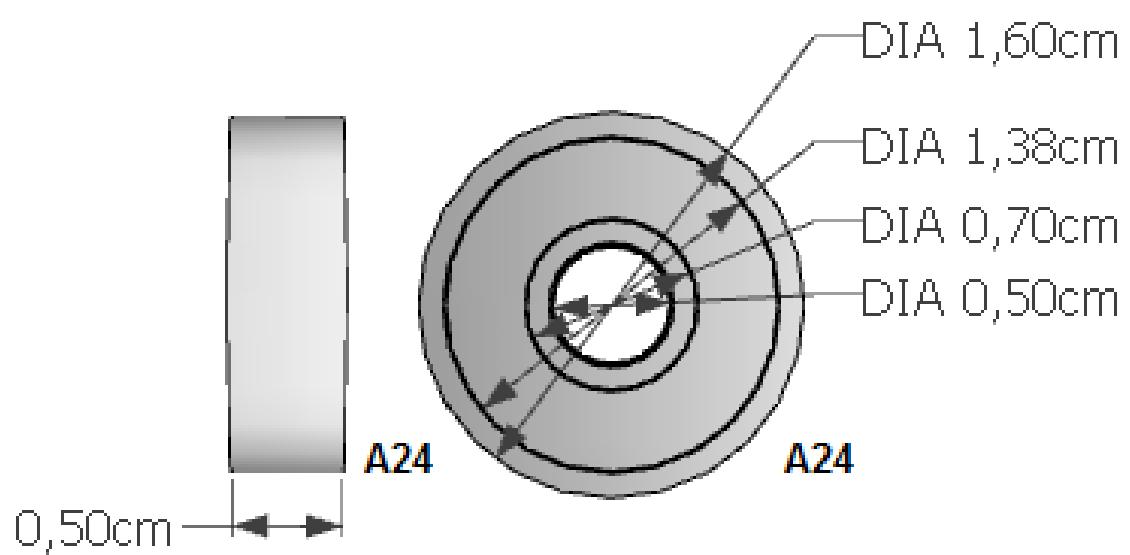


A23: SOPORTE PARA VARILLA ROSCADA.



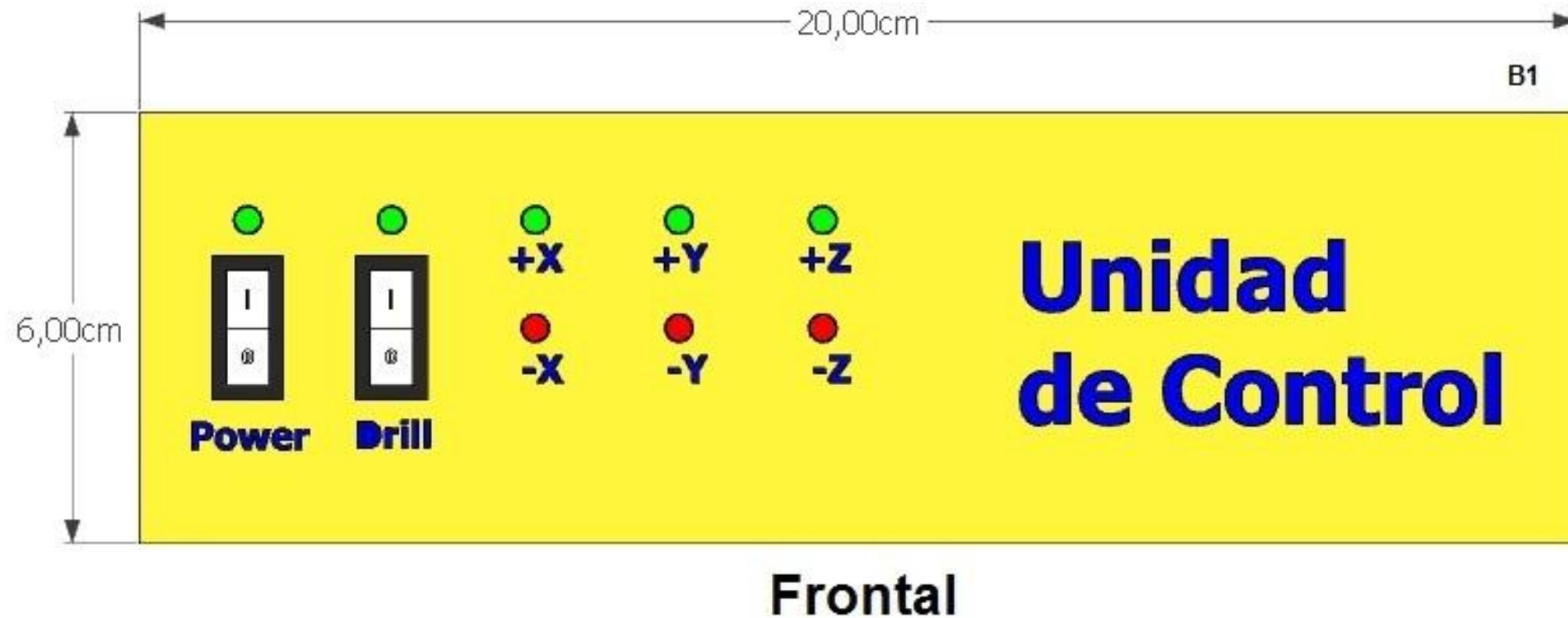
A24: RODAMIENTO DE SOPORTES.

A25: COPLA PARA MOTORES PASO A PASO.

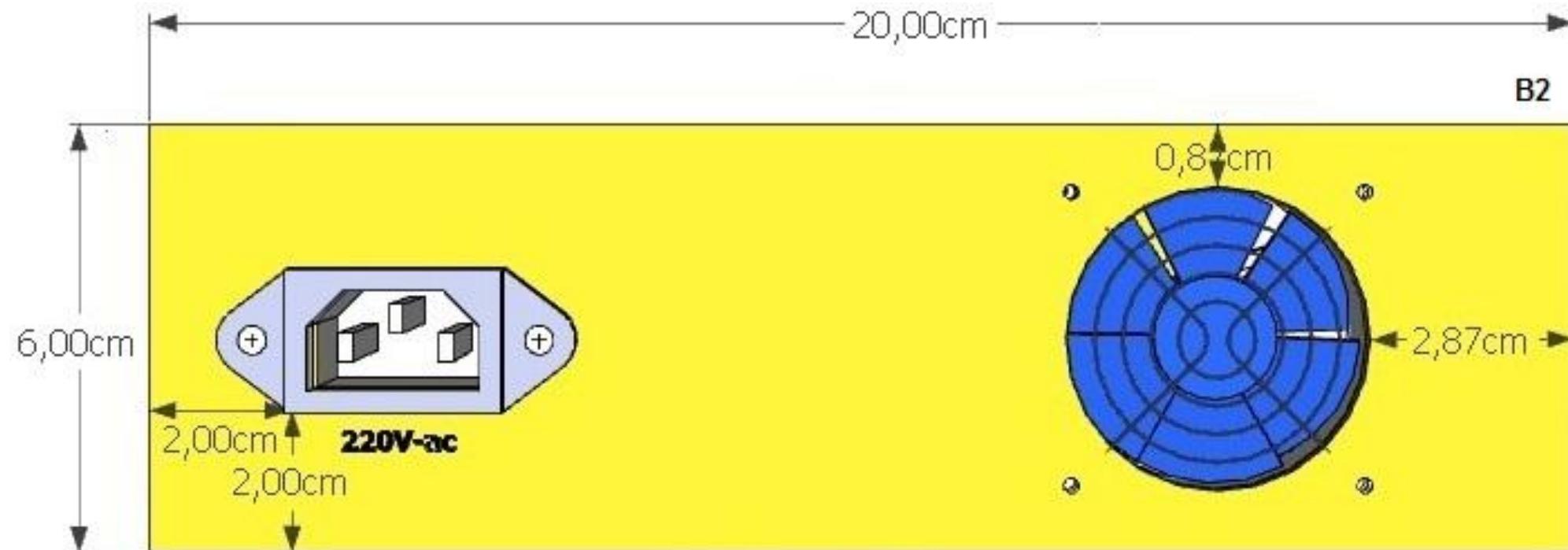


ANEXO B: DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES DE LA UNIDAD DE CONTROL.

B1: PANEL FRONTAL.

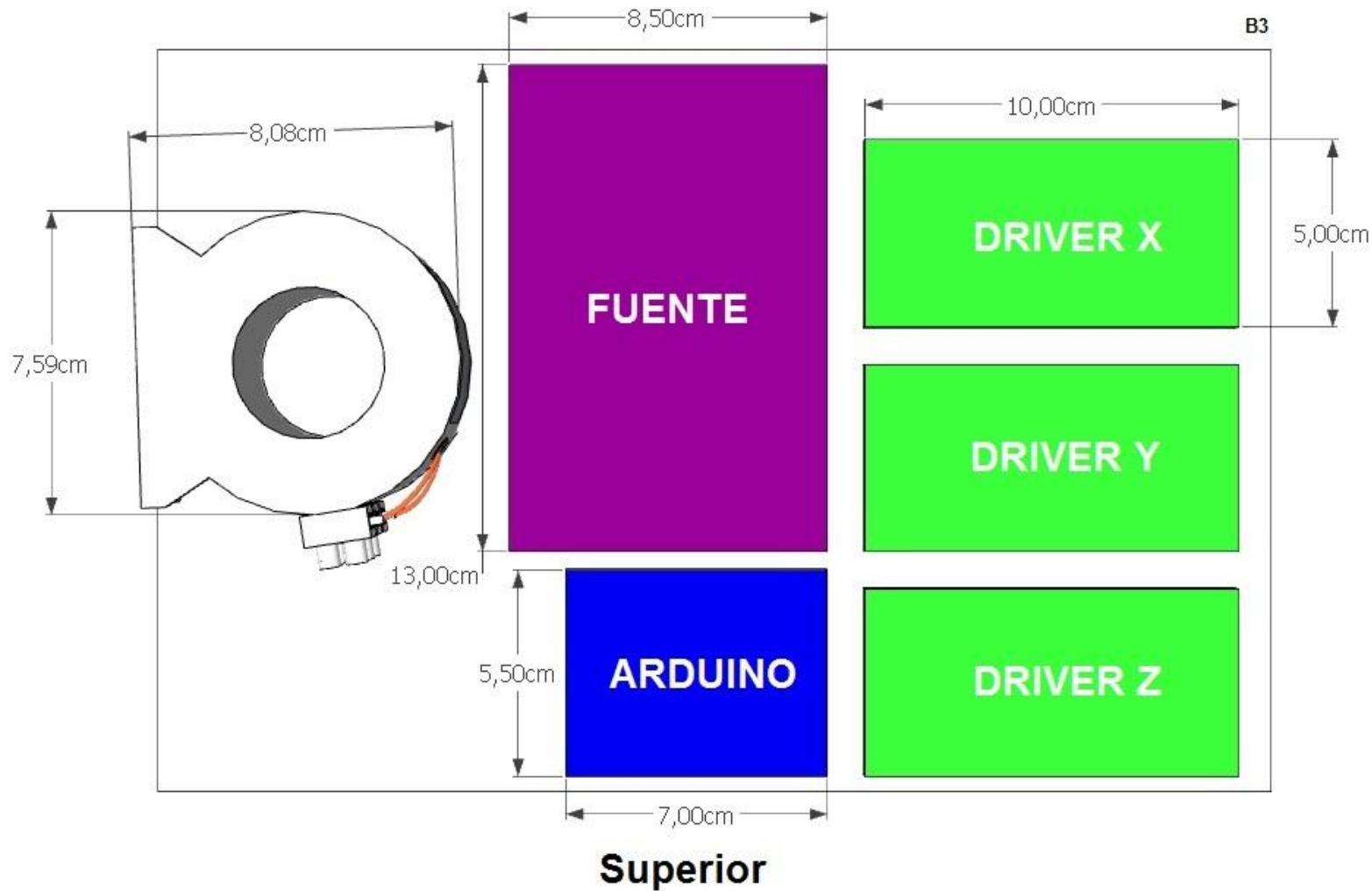


B2: PANEL POSTERIOR.



Trasera

B3: DISTRIBUCION INTERNA DE COMPONENTES.



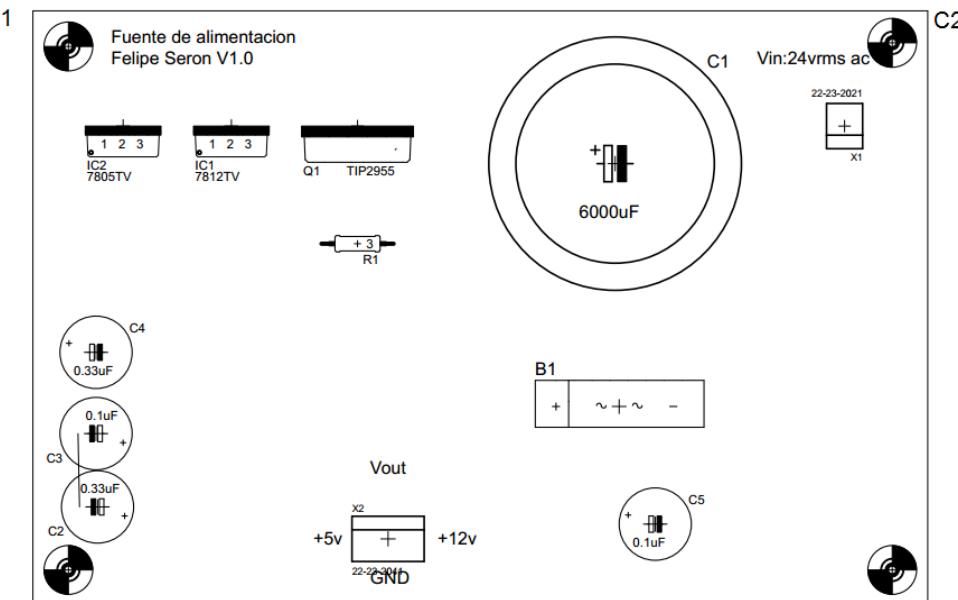
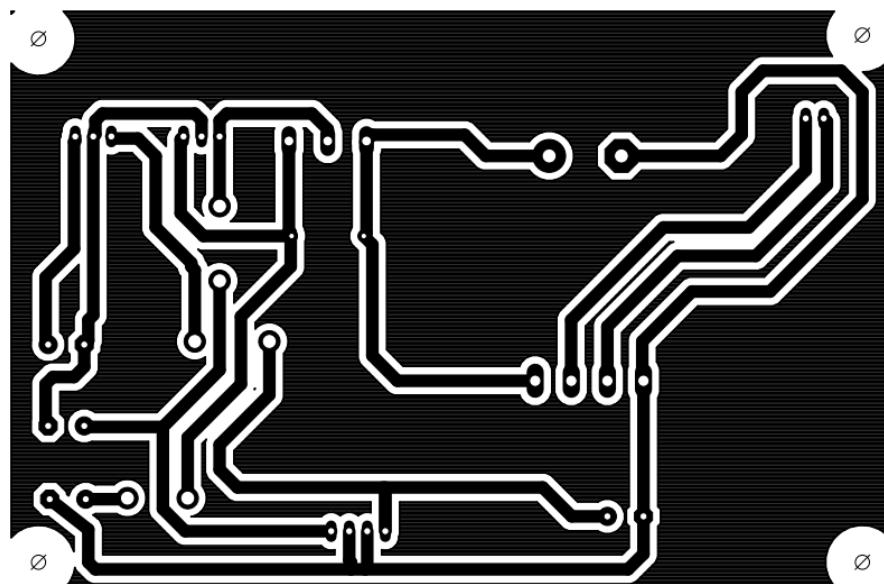
B4: LARGO DEL CHASIS.



ANEXO C: VISTA DE IMPRESIÓN DE LAS PLACAS DE CIRCUITO IMPRESO.

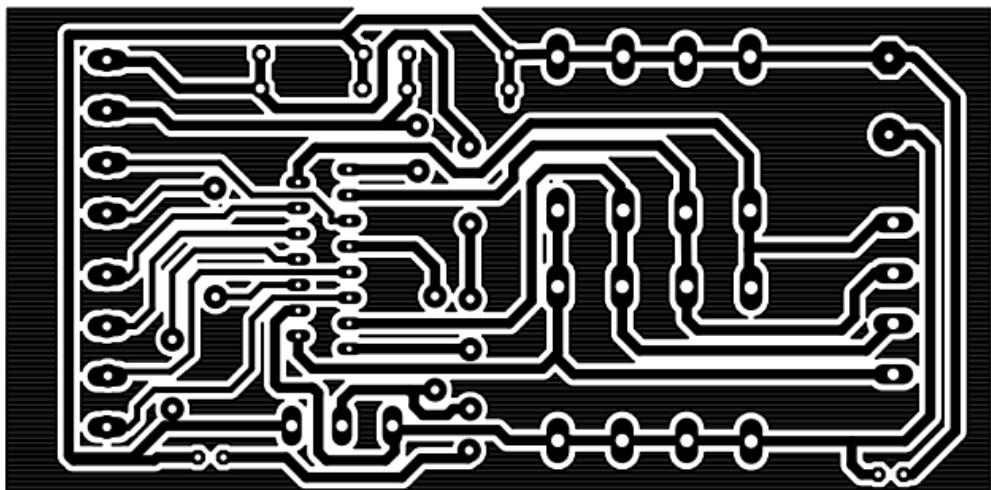
C1: VISTA DE IMPRESIÓN PISTAS Y PADS FUENTE DE ALIMENTACION.

C2: VISTA DE IMPRESIÓN COMPONENTES FUENTE DE ALIMENTACION.

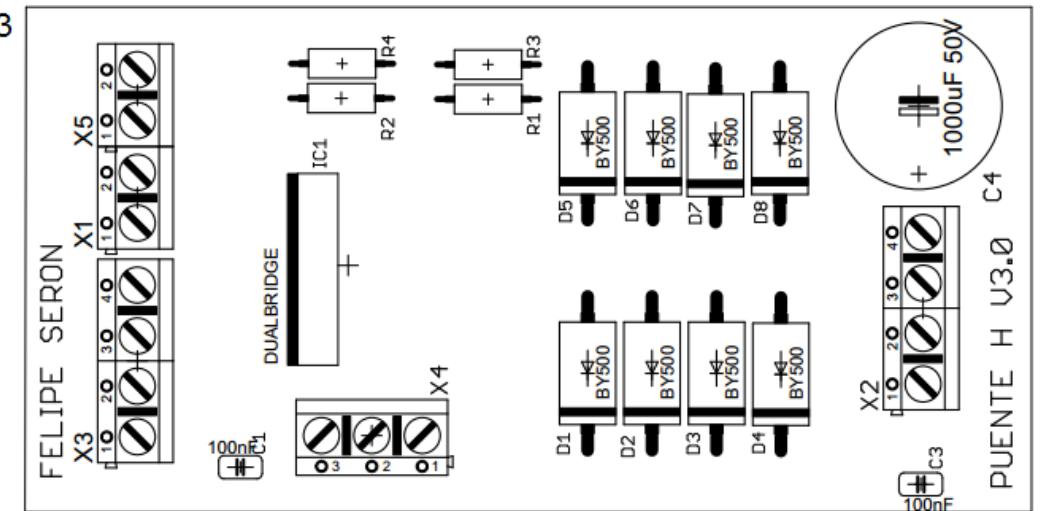


C3: VISTA DE IMPRESIÓN PISTAS Y PADS DRIVER DE MOTORES PASO A PASO.

C4: VISTA DE IMPRESIÓN COMPONENTES DRIVER DE MOTORES PASO A PASO.



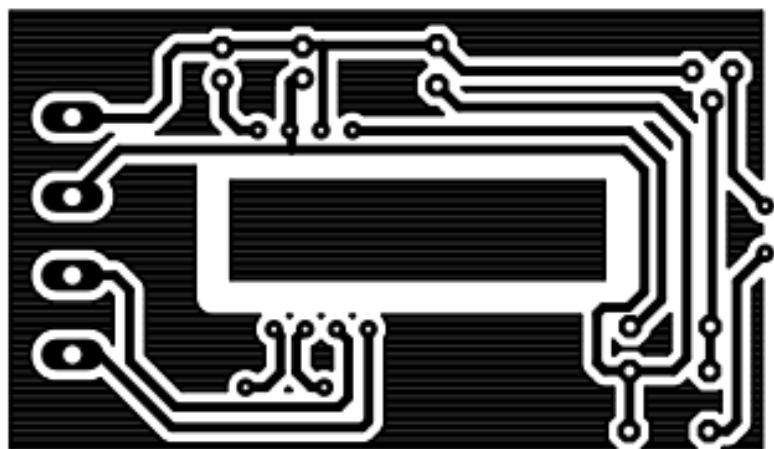
C3



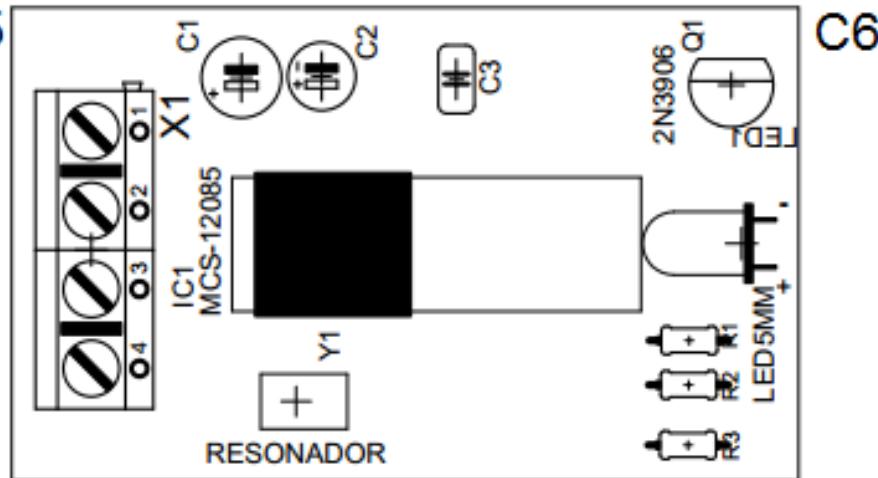
C4

C5: VISTA DE IMPRESIÓN PISTAS Y PADS ENCODER.

C6: VISTA DE IMPRESIÓN COMPONENTES ENCODER.



C5



C6

ANEXO D: CODIGO FUENTE PROGRAMADO PARA ENCODER.

```
#include <mcs-12085.h>

//pines mcs-12085: SDIO = 3 (celeste/blanco); SCK = 4 (celeste) ; GND
= 6 (blanco/verde) ; VDD = 7 (verde)
//pines arduino: CLK pin = 4 (celeste); SDIO pin = 7 (celeste/blanco)

//declaracion de variables
int mov_x = 0;

void setup() //Funcion setup
{
    Serial.begin(9600);
    mcs12085_init();
}

void loop()//Funcion principal
{
    mov_x+= mcs12085_dx();
    Serial.print("valor delta x: ");
    Serial.println(mov_x);
    delay(500);
}
```

ANEXO E: HOJAS DE DATOS DE COMPONENTES (RESUMEN).

Resumen de características del C.I. L298N.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

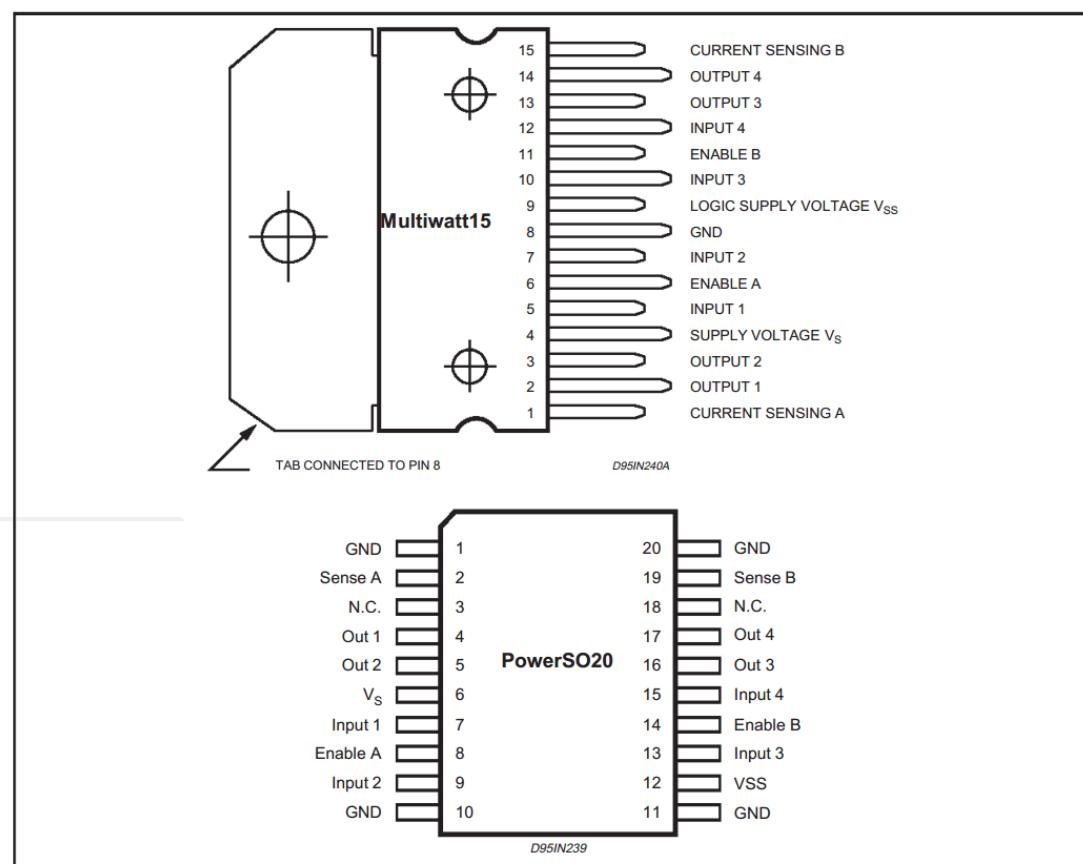
Symbol	Parameter	Value	Unit
V _S	Power Supply	50	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V _{I,V_{en}}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I _O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	-Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V _{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P _{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T _{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	°C
T _{stg, T_j}	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	°C

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
R _{th j-case}	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3 °C/W
R _{th j-amb}	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35 °C/W

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN CONNECTIONS (top view)



PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = 42V$; $V_{SS} = 5V$, $T_j = 25^\circ C$; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	$V_{IH} +2.5$		46	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I_S	Quiescent Supply Current (pin 4)	$V_{en} = H; I_L = 0$	$V_i = L$		13	mA
			$V_i = H$		50	mA
I_{SS}	Quiescent Current from V_{SS} (pin 9)	$V_{en} = L$	$V_i = X$		4	mA
		$V_{en} = H; I_L = 0$	$V_i = L$		24	mA
			$V_i = H$		7	mA
V_{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)				6	mA
V_{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V_{SS}	V
I_{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	$V_i = L$			-10	μA
I_{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	$V_i = H \leq V_{SS} - 0.6V$		30	100	μA
$V_{en} = L$	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
$V_{en} = H$	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V_{SS}	V
$I_{en} = L$	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	$V_{en} = L$			-10	μA
$I_{en} = H$	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	$V_{en} = H \leq V_{SS} - 0.6V$		30	100	μA
$V_{CEsat(H)}$	Source Saturation Voltage	$I_L = 1A$ $I_L = 2A$	0.95	1.35	1.7	V
$V_{CEsat(L)}$	Sink Saturation Voltage	$I_L = 1A$ (5) $I_L = 2A$ (5)	0.85	1.2	1.6	V
V_{CEsat}	Total Drop	$I_L = 1A$ (5) $I_L = 2A$ (5)	1.80		3.2	V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
T ₁ (V _i)	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (2); (4)		1.5		μs
T ₂ (V _i)	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		0.2		μs
T ₃ (V _i)	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.1 I _L (2); (4)		2		μs
T ₄ (V _i)	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.7		μs
T ₅ (V _i)	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		0.7		μs
T ₆ (V _i)	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₇ (V _i)	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _i to 0.9 I _L (3); (4)		1.6		μs
T ₈ (V _i)	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.2		μs
f _c (V _i)	Commutation Frequency	I _L = 2A		25	40	KHz
T ₁ (V _{en})	Source Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (2); (4)		3		μs
T ₂ (V _{en})	Source Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (2); (4)		1		μs
T ₃ (V _{en})	Source Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.1 I _L (2); (4)		0.3		μs
T ₄ (V _{en})	Source Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (2); (4)		0.4		μs
T ₅ (V _{en})	Sink Current Turn-off Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		2.2		μs
T ₆ (V _{en})	Sink Current Fall Time	0.9 I _L to 0.1 I _L (3); (4)		0.35		μs
T ₇ (V _{en})	Sink Current Turn-on Delay	0.5 V _{en} to 0.9 I _L (3); (4)		0.25		μs
T ₈ (V _{en})	Sink Current Rise Time	0.1 I _L to 0.9 I _L (3); (4)		0.1		μs

1) 1)Sensing voltage can be -1 V for t ≤ 50 μsec; in steady state V_{sens} min ≥ -0.5 V.

2) See fig. 2.

3) See fig. 4.

4) The load must be a pure resistor.

Resumen de características del C.I. LM7805.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for V _O = 5V to 18V) (for V _O = 24V)	V _I	35	V
	V _I	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	R _{θJC}	5	°C/W
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	R _{θJA}	65	°C/W
Operating Temperature Range	T _{OPR}	0 ~ +125	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7\text{V}$ to 20V	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_O = 7\text{V}$ to 25V	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8\text{V}$ to 12V	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5.0\text{mA}$ to 1.5A	-	9	100	mV
			$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	-	4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA}$ to 1.0A	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7\text{V}$ to 25V	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz}$ to 100KHz , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	42	-	µV/ V_O	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_O = 8\text{V}$ to 18V	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{KHz}$	-	15	-	mΩ	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Resumen de características del C.I. LM7812.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5\text{V}$ to 18V) (for $V_O = 24\text{V}$)	V_I	35	V
	V_I	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	°C/W
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	°C/W
Operating Temperature Range	T_{OPR}	$0 \sim +125$	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	$-65 \sim +150$	°C

Electrical Characteristics (MC7812)

(Refer to test circuit , $0^{\circ}\text{C} < \text{TJ} < 125^{\circ}\text{C}$, $\text{I}_\text{O} = 500\text{mA}$, $\text{V}_\text{I} = 19\text{V}$, $\text{C}_\text{I} = 0.33\mu\text{F}$, $\text{C}_\text{O} = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7812			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$\text{T}_\text{J} = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12	12.5	V	
		$5.0\text{mA} \leq \text{I}_\text{O} \leq 1.0\text{A}$, $\text{P}_\text{O} \leq 15\text{W}$ $\text{V}_\text{I} = 14.5\text{V}$ to 27V	11.4	12	12.6		
Line Regulation (Note1)	Regline	$\text{T}_\text{J} = +25^{\circ}\text{C}$	$\text{V}_\text{I} = 14.5\text{V}$ to 30V	-	10	240	mV
			$\text{V}_\text{I} = 16\text{V}$ to 22V	-	3.0	120	
Load Regulation (Note1)	Regload	$\text{T}_\text{J} = +25^{\circ}\text{C}$	$\text{I}_\text{O} = 5\text{mA}$ to 1.5A	-	11	240	mV
			$\text{I}_\text{O} = 250\text{mA}$ to 750mA	-	5.0	120	
Quiescent Current	I_Q	$\text{T}_\text{J} = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.1	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$\text{I}_\text{O} = 5\text{mA}$ to 1.0A	-	0.1	0.5	mA	
		$\text{V}_\text{I} = 14.5\text{V}$ to 30V	-	0.5	1.0		
Output Voltage Drift	$\Delta\text{V}_\text{O}/\Delta\text{T}$	$\text{I}_\text{O} = 5\text{mA}$	-	-1	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz}$ to 100KHz , $\text{T}_\text{A} = +25^{\circ}\text{C}$	-	76	-	$\mu\text{V}/\text{Vo}$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $\text{V}_\text{I} = 15\text{V}$ to 25V	55	71	-	dB	
Dropout Voltage	V_Drop	$\text{I}_\text{O} = 1\text{A}$, $\text{T}_\text{J} = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	r_O	$f = 1\text{KHz}$	-	18	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	I_SC	$\text{V}_\text{I} = 35\text{V}$, $\text{T}_\text{A} = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_PK	$\text{T}_\text{J} = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

Note:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Resumen de características del C.I. mcs-12085.

Electrical Characteristics

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Minimum	Maximum	Units	Notes
Storage Temperature	T_S	-40	85	°C	
Operating Temperature	T_A	-15	55	°C	
Lead Solder Temp		260	°C		For 10 seconds, 1.6 mm below seating plane
Supply Voltage	V_{DD}	-0.5	5.5	V	
ESD		2	kV		All pins, human body model MIL 883 Method 3015
Input Voltage	V_{IN}	-0.5	$V_{DD} + 0.5$	V	SDIO, CLK, LED_CNTL
Input Voltage	V_{IN}	-0.5	3.6	V	OSC_IN, OSC_OUT, REFA

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Units	Notes

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Units	Notes
Operating Temperature	T _A	0		40	°C	
Power Supply Voltage	V _{DD}	4.1	5.0	5.5	Volts	Register values retained for voltage transients below 4.10V but greater than 3.9V
Power Supply Rise Time	V _{RT}			100	ms	
Supply Noise	V _N			100	mV	Peak to peak within 0-100 MHz bandwidth
Clock Frequency	f _{CLK}	23.0	24.0	25.0	MHz	Set by ceramic resonator
Serial Port Clock Frequency	SCLK			f _{CLK} /12	MHz	
Resonator Impedance	X _{RES}			55	Ω	
Distance from Lens Reference Plane to Surface	Z	2.3	2.4	2.5	mm	Results in ±0.2 mm DOF
Speed	S	0		12	in/sec	@ frame rate = 1500 fps
Acceleration	A			0.25	g	@ frame rate = 1500 fps
Light Level onto IC	IRR _{NC}	80 100		25,000 30,000	mW/m ²	= 639 nm = 875 nm
SDIO Read Hold Time	t _{HOLD}	100			ns	Hold time for valid data
SDIO Serial Write-write Time	t _{SWW}	100			ns	Time between two write commands
SDIO Serial Write-read Time	t _{SWR}	100			ns	Time between write and read operation
SDIO Serial Read-write Time	t _{SRW}	250			ns	Time between read and write operation
SDIO Serial Read-read Time	t _{SRR}	250			ns	Time between two read commands
Data Delay after PD deactivated	t _{COMPUTE}	3.1			ms	After t _{COMPUTE} , all registers contain data from first image after wakeup from Power-Down mode. Note that an additional 75 frames for AGC stabilization may be required if mouse movement occurred while Power Down.
SDIO Write Setup Time	t _{SETUP}	60			ns	Data valid time before the rising of SCLK
Frame Rate	FR			1500	frames/s	

AC Electrical Specifications

Electrical Characteristics over recommended operating conditions. Typical values at 25°C, V_{DD} = 5 V, 24 MHz, 1500 fps.

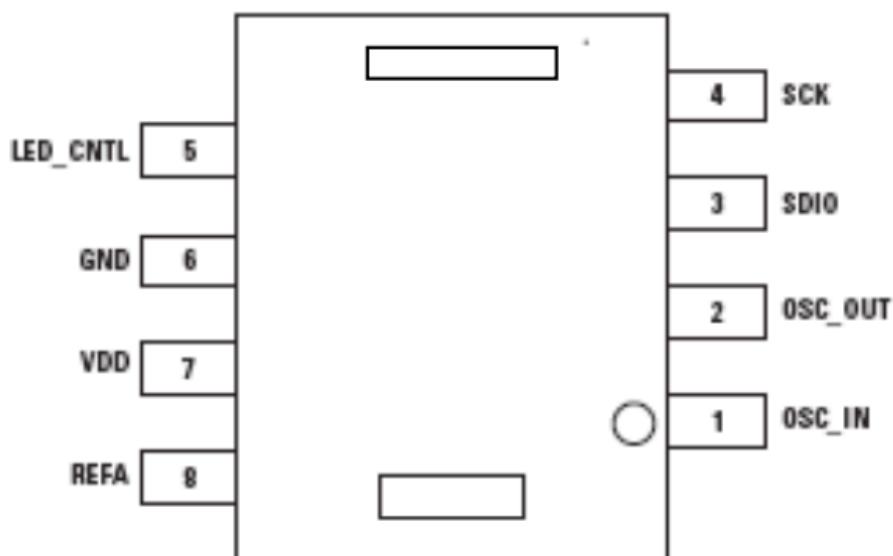
Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Power Down (PD)	t _{PD}	1.33			ns	32 clock cycle minimum after setting bit 6 in the Configuration register.
Power Up after PD mode reports deactivated	t _{PUPD}			50	ms	From PD mode deactivation to accurate 610 ns + 75 frames
Power Up from V _{DD} ↑	t _{PU}			40	ms	From V _{DD} to valid accurate reports 610 ns + 50 frames
Rise and Fall Times						
SDIO	t _r	30			ns	C _L = 30 pF (the rise time is between 10% to 90%)
	t _f	16			ns	C _L = 30 pF (the fall time is between 10% to 90%)
Serial Port Transaction Timer	t _{SPTT}	90			ms	Serial port will reset if current transaction is not complete within t _{SPTT}
Transient Supply Current	I _{BDT}	20	37		mA	Max supply current during a V _{DD} ramp from 0 to 5.0V with > 500 ns rise time. Does not include charging current for bypass capacitors

DC Electrical Specifications

Electrical Characteristics over recommended operating conditions. Typical values at 25°C, V_{DD} = 5 V, 24 MHz, 1500 fps.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
Supply Current (mouse moving)	I _{DD_AVG}		15	30	mA	
Supply Current (mouse not moving)	I _{DD}		12		mA	
Power Down Mode Current	I _{DODP}		170	230	μA	
SCK pin						
Input Low Voltage	V _{IL}			0.8	V	
Input High Voltage	V _{IH}	2.0			V	
Input Capacitance	C _{IN}			10	pF	
Input Resistance	R _{IN}	1			MΩ	
SDIO pin						V _{DD} =4V, Load = 50 pF, 80n s rise & fall
Input Low Voltage	V _{IL}			0.8	V	
Input High Voltage	V _{IH}	2.0			V	
Output Low Voltage	V _{OL}			0.5	V	
Output High Voltage	V _{OH}	0.8 - V _{DD}			V	
Drive Low Current	I _L	2.0			mA	
Drive High Current	I _H	2.0			mA	
Input Capacitance	C _{IN}			10	pF	
Input Resistance	R _{IN}	1			MΩ	
LED_CNTL pin						
Output Low Voltage	V _{OL}			0.1	V	
Output High Voltage	V _{OH}	0.8 - V _{DD}			V	
Drive Low Current	I _L	250			μA	
Drive High Current	I _H	250			μA	
OSC_IN						
Input Resistance	R _{IN}		500		kΩ	
Input Capacitance	C _{IN}		15		pF	
Input High Voltage	V _{IH}	2.2			V	External clock source
Input Low Voltage	V _{IL}			0.8	V	External clock source

PinOut of MCS-12085



Pin Number	Pin	Description
1	OSC_IN	Oscillator input
2	OSC_OUT	Oscillator output
3	SDIO	Serial Port Data (input and output)
4	SCK	Serial Port Clock (Input)
5	LED_CNTL	Digital Shutter Signal Out
6	GND	System Ground
7	VDD	5V DC Input
8	REFA	Internal reference