

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y

SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRÓNICA



TESIS

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL  
NUMERICO POR COMPUTADORA DE UNA FRESADORA DE  
MADERA EN TRES DIMENSIONES”**

PRESENTADO POR:

SILVA FUR MIGUEL ANGEL

CHOQUE CONDORI TEOFILO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO - PERU

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
SISTEMAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
CONTROL NUMERICO POR COMPUTADORA DE UNA  
FRESADORA DE MADERA EN TRES DIMENSIONES"**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. SILVA FUR MIGUEL ANGEL  
Bach. CHOQUE CONDORI TEOFILO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PUNO - PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRÓNICA

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL  
NUMERICO POR COMPUTADORA DE UNA FRESADORA DE  
MADERA EN TRES DIMENSIONES”**

**TESIS PRESENTADA POR:**

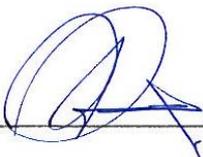
SILVA FUR MIGUEL ANGEL

CHOQUE CONDORI TEOFILO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO ELECTRÓNICO

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:  \_\_\_\_\_

Dr. IVAN DELGADO HUAYTA

PRIMER MIEMBRO

:  \_\_\_\_\_

Ing. M. Sc. GAVINO JOSÉ FLORES CHIPANA

SEGUNDO MIEMBRO

:  \_\_\_\_\_

Ing. MARCELINO GALINDO VELASQUEZ

DIRECTOR DE TESIS

:  \_\_\_\_\_

Ing. Mg. MIDWAR ELIAS VALENCIA VILCA

Puno – Perú

2017

Área: Automatización e instrumentación

Tema: Procesos de manufactura asistidos por computadora/ Robótica

## AGRADECIMIENTOS

Presento mi infinita gratitud a todas las personas que amo en mi vida, los cuales me apoyaron durante la vida estudiantil y me supieron aconsejar de la mejor manera. A cada uno de los ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de los que recibí su enseñanza adecuada para mi formación profesional.

T.C.H.C.

Un agradecimiento especial a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional del Altiplano Puno por su orientación y enseñanza a lo largo de nuestra formación universitaria, a toda mi familia que en todo momento me apoyó, sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible.

M.A.S.F.

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de implementación, a mis padres que estuvieron apoyándome en todo momento de mi formación profesional. A Dios por guiar nuestros pasos en el transcurso de los años y darnos la sabiduría y la paciencia necesaria para vencer todos los obstáculos que se nos presenta en la vida. A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en la realización de proyecto.

T.C.H.C.

Dedico este trabajo a mi padre Marcelino, a mi madre y toda mi familia que me apoyaron desde que tengo uso de razón, en especial a mi hermana Brisayda que fue como mi segunda madre.

M.A.S.F.

**ÍNDICE**

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN .....   | 13 |
| ABSTRACT.....   | 14 |
| INTRODUCCIÓN .....                                      | 15 |
| CAPÍTULO I .....  | 17 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....        | 18 |
| 1.1. Descripción del problema. ....                     | 18 |
| 1.2. Justificación del problema. ....                   | 18 |
| 1.3. Objetivos de la Investigación.....                 | 19 |
| 1.3.1. Objetivo general .....                           | 19 |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....                      | 20 |
| CAPÍTULO II.....  | 21 |
| MARCO TEÓRICO .....                                     | 22 |
| 2.1. Antecedentes de Investigación.....                 | 22 |
| 2.2. Sustento teórico.....                              | 23 |
| 2.2.1. Sistemas de Control Numérico Computarizado. .... | 23 |
| 2.2.3. Principio de funcionamiento .....                | 26 |
| 2.2.4. Maquinas Fresadoras de Madera.....               | 26 |
| 2.2.5. Partes de una Fresadora de 3 ejes.....           | 28 |
| 2.2.6. Motores Paso A Paso. ....                        | 29 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.2.7.  | Sistema de transmisión.....                              | 32 |
| 2.2.8.  | Motor principal o Spindle .....                          | 35 |
| 2.2.9.  | Sensor Final de Carrera.....                             | 37 |
| 2.2.10. | La Computadora. ....                                     | 38 |
| 2.2.11. | MACH 3 .....   | 42 |
| 2.2.12. | Encendido Retardado De Un Sistema .....                  | 44 |
| 2.2.13. | CODIGOS “G y M” .....                                    | 44 |
| 2.2.14. | Herramientas de desbaste. ....                           | 47 |
| 2.2.15. | Filtro PI.....   | 48 |
| 2.3.    | Glosario de términos básicos. ....                       | 49 |
| 2.4.    | Hipótesis de la investigación. ....                      | 50 |
| 2.4.1.  | Hipótesis general.....                                   | 50 |
| 2.4.2.  | Hipótesis específicas .....                              | 50 |
| 2.5.    | Operacionalización de variables. ....                    | 51 |
|         | CAPÍTULO III.....  | 52 |
|         | DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN .....               | 53 |
| 3.1.    | Tipo y diseño de investigación .....                     | 53 |
| 3.2.    | Población y muestra de investigación.....                | 53 |
| 3.3.    | Ubicación y descripción de la población .....            | 53 |
| 3.4.    | Técnicas e instrumentos para recolectar información..... | 54 |
| 3.5.    | Técnicas para el procesamiento y análisis de datos. .... | 54 |

|  |    |
|--|----|
| CAPÍTULO IV .....  | 55 |
| ANÁLISIS, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.<br>..... | 56 |
| 4.1. Selección de componentes .....                                    | 56 |
| 4.1.1. Selección de Motor de Desbaste “Spindle” .....                  | 56 |
| 4.1.2. Diseño de los Ejes X e Y.....                                   | 58 |
| 4.1.3. Selección del sistema de transmisión.....                       | 60 |
| 4.2. Algoritmo de control.....   | 60 |
| 4.3. Diseño de la Máquina .....  | 63 |
| 4.3.1. Diseño del Eje X .....  | 64 |
| 4.3.2. Diseño del Eje Y .....  | 65 |
| 4.3.3. Diseño del Eje Z.....   | 66 |
| 4.3.4. Diseño de la tarjeta de control.....                            | 67 |
| 4.3.5. Diseño del sistema de limpieza .....                            | 76 |
| 4.3.9. Diseño de la cadena porta cables. ....                          | 91 |
| 4.4. Prueba y comparación de la máquina. ....                          | 92 |
| CONCLUSIONES .....   | 94 |
| SUGERENCIAS .....  | 95 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   | 96 |
| ANEXOS .....   | 98 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 01. Brazo robótico .....  | 24 |
| Figura 02. Fresadora CNC .....   | 25 |
| Figura 03. Torno CNC .....   | 25 |
| Figura 04. Partes de una fresadora de tres dimensiones .....                   | 28 |
| Figura 05. Motor paso a paso.....  | 30 |
| Figura 06. Diferencia de bobina entre un motor bipolar y unipolar .....        | 31 |
| Figura 07. Puente- H doble para un motor paso a paso bipolar.....              | 32 |
| Figura 08. Tornillo de bolas circulares- ballscrew.....                        | 33 |
| Figura 09. Piñón y cremallera.....   | 34 |
| Figura 10. Correa de precisión.....  | 34 |
| Figura 11. Motor Spindle de corriente continua .....                           | 35 |
| Figura 12. Motor Spindle trifásico de corriente alterna.....                   | 36 |
| Figura 13. Sensor final de carrera mecánico.....                               | 38 |
| Figura 14. Partes de una computadora.....                                      | 38 |
| Figura 15. Puerto paralelo y sus partes .....                                  | 39 |
| Figura 16. Propiedades del puerto paralelo en PC.....                          | 41 |
| Figura 17. Propiedades de las direcciones del puerto paralelo en PC .....      | 42 |
| Figura 18. Software MACH3.....   | 43 |
| Figura 19. Tipos de herramientas de carburo. ....                              | 48 |
| Figura 20. Configuración de un filtro PI.....                                  | 48 |
| Figura 21. Ubicación de la escuela profesional de ing. Electrónica - Puno..... | 53 |
| Figura 22. Motor Spindle de corriente continúa .....                           | 58 |
| Figura 23. Proceso de diseño CAD-CAM-CNC.....                                  | 61 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 24 Algoritmo de control máquina CNC fresadora .....          | 62 |
| Figura 25. Diseño de la máquina CNC en vista general. ....          | 63 |
| Figura 26. Diseño de la mesa.....                                   | 64 |
| Figura 27. Diseño del eje X .....                                   | 65 |
| Figura 28. Diseño del eje Y .....                                   | 66 |
| Figura 29. Impresión del plástico .....                             | 66 |
| Figura 30. Diseño del eje Z.....                                    | 67 |
| Figura 31. Forma de conexión computadora - driver – motor.....      | 68 |
| Figura 32. Integrado 6N137 .....                                    | 69 |
| Figura 33. Integrado 4N25 .....                                     | 70 |
| Figura 34. Diagrama completo del controlador .....                  | 72 |
| Figura 35. Pines de pasos, tiempos y torque .....                   | 74 |
| Figura 36. Pines de selección de corriente máxima.....              | 75 |
| Figura 37. Cruce por cero con transistores .....                    | 78 |
| Figura 38. Señal en los puntos A, B, C, D Y E de la figura 37. .... | 81 |
| Figura 39. Integrado 555 monoestable multivibrador .....            | 83 |
| Figura 40. Generador de voltaje descendente .....                   | 84 |
| Figura 41. Etapa de potencia.....                                   | 86 |
| Figura 42. Encendido retardado con integrado 555 .....              | 87 |
| Figura 43. Regulador de voltaje.....                                | 89 |
| Figura 44. Interfaz del software desarrollado .....                 | 90 |
| Figura 45. Cadena porta cables.....                                 | 92 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 01: Secuencia de control para un motor paso a paso Bipolar. .... | 32 |
| Tabla 02: Comparación de los puertos existentes.....                   | 40 |
| Tabla 03: Direcciones de los adaptadores del puerto de impresora.....  | 41 |
| Tabla 04: Lista de códigos generales "G" .....                         | 45 |
| Tabla 05: Lista de códigos misceláneos "M" .....                       | 46 |
| Tabla 06: Operacionalización de variables .....                        | 51 |
| Tabla 07: Características del motor paso a paso utilizado.....         | 57 |
| Tabla 08. Consideraciones para elegir un motor paso a paso.....        | 59 |
| Tabla 09: Motor seleccionado para eje Z.....                           | 60 |
| Tabla 10: Pines de pasos .....   | 73 |
| Tabla 11: Estructura interna de un motor paso a paso .....             | 73 |
| Tabla 12: Pines de selección de corriente .....                        | 74 |
| Tabla 13: Comparación de un tallado hecho por la máquina. ....         | 92 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| ANEXO 01: Hoja de datos 4n25. ....  | 98  |
| ANEXO 02: Hoja de datos 6n137. ....                                       | 101 |
| ANEXO 03: Hoja de datos BT139. ....                                       | 104 |
| ANEXO 04: Hoja de datos MOC3021. ....                                     | 106 |
| ANEXO 05: Hoja de datos TB6560. ....                                      | 109 |
| ANEXO 06: Hoja de datos NE555. ....                                       | 113 |
| ANEXO 07: Hoja de datos BC548. ....                                       | 114 |
| ANEXO 08: Programación en Matlab del sistema de limpieza. ....            | 116 |
| ANEXO 09: Esquemático del controlador de motores paso a paso. ....        | 120 |
| ANEXO 10: PCB del controlador de motores paso a paso. ....                | 121 |
| ANEXO 11: Guía de ensamblado del controlador de motores paso a paso. .... | 122 |
| ANEXO 12: Esquemático del sistema de limpieza. ....                       | 123 |
| ANEXO 13: PCB del sistema de limpieza y guía de ensamblado. ....          | 124 |
| ANEXO 14: Vista general del diseño de la Máquina. ....                    | 125 |
| ANEXO 15: Vista General del eje X de la Máquina. ....                     | 126 |
| ANEXO 16: Vista general del eje Y de la Máquina. ....                     | 127 |
| ANEXO 17: Vista general del eje Z de la Máquina. ....                     | 128 |
| ANEXO 18: Partes, dimensiones del eje X de la Máquina. ....               | 129 |
| ANEXO 19: Partes, dimensiones del eje Z de la Máquina. ....               | 130 |
| ANEXO 20: Mesa de la Máquina. ....  | 131 |
| ANEXO 21: Vista general de la Cadena Porta Cables de PVC. ....            | 132 |
| ANEXO 22: Partes, Dimensiones de cadena porta cables. ....                | 133 |
| ANEXO 23: Fotos del controlador del sistema de limpieza. ....             | 134 |

|  |     |
|--|-----|
| ANEXO 24: Capturas de pantalla del software. ....                    | 135 |
| ANEXO 25: Fotos de la máquina CNC. ....                              | 136 |
| ANEXO 26: Fotos del tallado de 30x35cm realizado en la Máquina. .... | 137 |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en diseñar e implementar un sistema de control numérico por computadora (CNC), de una fresadora de madera en tres dimensiones con el objetivo de, reducir el tiempo de producción y mejorar la calidad de modelos en madera, los conocimientos básicos para desarrollar este prototipo fueron adquiridos en la escuela profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, para implementar correctamente esta máquina primeramente se diseñó los aspectos básicos para su funcionamiento haciendo uso de análisis y planos en 2 dimensiones, para luego hacer la implementación y pruebas de funcionamiento. Para el diseño de la estructura se tuvo en cuenta la aplicación de la máquina, al ser una maquina CNC de tallado en madera es indispensable una gran precisión y altas revoluciones en el motor de desbaste o Spindle, se investigó la mejora en cuanto a la limpieza de residuos, para optimizar este proceso se hizo un controlador que reduzca la caída de tensión al encender el motor de limpieza y un software que controla el encendido en determinados tiempos. Durante las primeras pruebas se tuvo problemas de retroceso o Backlash, que fue solucionado aumentando la rigidez de la estructura, también para hacer el eje Z mucho más compacto se imprimió piezas de plástico con una impresora 3D.

**Palabras clave:** Control Numérico Computarizado, Fresadora de Madera, Tallado en Madera, Limpieza de Residuos, Impresora 3D.

## ABSTRACT

The present work of investigation is to design and implement a computer numerical control system (CNC), a three - dimensional wood milling machine, with the aim of reducing production time and improving the quality of wood models, the basic knowledge to develop this prototype, were acquired in the professional school of Electronic Engineering of the National University of the Altiplano - Puno, and to correctly implement this machine was first designed the basic aspects for its operation using analysis and plans in 2 Dimensions, then the implementation and working tests. For the design of the structure was taken into account the application of the machine, being a CNC machine of carved in wood need a great precision and high revolutions in the engine of roughing or Spindle, Investigated the improvement in the cleaning of waste, to optimize this process became a controller that reduces the voltage drop when the cleaning engine starts and software that controls the ignition at certain times. During the first tests had backlash problems, which was solved by increasing the rigidity of the structure, also to make the Z axis much more compact printed plastic parts with a 3D printer.

**Keywords:** Computer Numerical Control, Wood milling machine, Wood Carving, Waste Cleaning, 3D printer.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es analizar, diseñar e implementar una Máquina de Control Numérico Computarizado, como un resumen del problema general se encuentra el hecho de, ¿cómo lograr el diseño de una máquina que sea capaz de realizar modelos de alta calidad?, y como justificación se expone las ventajas de una máquina de Control Numérico Computarizado así como los beneficios educativos que se exponen a lo largo del desarrollo de la máquina, este trabajo se divide en cuatro partes, de los cuales a continuación se hará una explicación generalizada.

**En el primer capítulo** se plantea los problemas de la investigación, la justificación y objetivos del trabajo, se describe con que características se diseñará la máquina, la aplicación de la máquina, también se describe una visión general de los problemas en la elaboración de la máquina, en la justificación del problema se describe el por qué diseñar la máquina.

**En el segundo capítulo** se describen los conceptos básicos y avanzados relacionados a una Máquina de Control Numérico Computarizado, se detalla métodos de diseñar las diferentes partes o sistemas de la máquina, también se hace una comparación para la adecuada selección de un sistema, esto es fundamental para que el diseño de la máquina esté optimizado según su aplicación.

**En el tercer capítulo** se describe el diseño metodológico de la investigación, se describe ¿Dónde?, ¿Cómo?, ¿de qué forma? y ¿qué tipo de investigación es?, esto es fundamental para identificar la orientación tecnológica del trabajo.

**En el cuarto capítulo** corresponde al desarrollo del trabajo, es aquí donde se describe los sistemas usados en el diseño de cada parte de la máquina, se fundamenta el por qué optó por un sistema u otro, en una primera parte se detalla la selección de

materiales como motores, sistema de transmisión y otros aspectos, en una segunda parte se detalla el diseño de la estructura de la máquina mediante el diseño de planos en 2D y 3D previos a la construcción, como una tercera parte se detalla el diseño e implementación de la tarjeta de control que interpreta los datos de la computadora a los actuadores, y como una última parte se describe el diseño de un controlador y un software que se encargan de optimizar y automatizar el sistema de limpieza, esta última parte tiene como objetivo optimizar los sistemas de limpieza tradicionales.

## CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción del problema.

El presente trabajo de investigación se enfoca en el diseño e implementación de una Máquina de Control Numérico Computarizado por Computadora de una Fresadora de Madera en tres Dimensiones, para la automatización de una máquina capaz de realizar modelos de madera de alta calidad se necesitará: Diseños, Selección de los materiales, métodos de implementación, rigidez de la máquina y precisión.

En la automatización de la máquina de Control Numérico Computarizado se requiere un controlador que interprete los datos recibidos ya sea de una computadora o un micro controlador, este controlador debe ser robusto, sistemas de protección y ser de bajo costo.

Otro de los problemas en una máquina son los residuos o desechos, en la manufactura de madera se produce una gran cantidad de residuos en forma de viruta y polvillo, entonces se deberá desarrollar un segundo controlador que sea robusto y optimice el procesamiento de residuos en comparación con los sistemas tradicionales.

### 1.2. Justificación del problema.

Con la evolución de la tecnología en manufactura de la madera, hay una necesidad de mejora en el proceso de manufactura de esta materia prima. Por lo cual la elaboración de una máquina CNC responde a una necesidad en particular que es el tallado y fresado de madera.

Las máquinas de Control Numérico Computarizado (CNC) nos ofrecen diversas ventajas como son:

Mayor precisión y calidad de acabado, una maquina CNC tiene una calidad Milimétrica, lo que le permite hacer diseños y cortes con mucha precisión.

Un solo operario puede manejar varias máquinas, una maquina CNC es automática y requiere muy poca asistencia, por lo cual un solo operario es capaz de manejar varias máquinas.

Fácil control de calidad, en una maquina CNC es fácil controlar la calidad, puesto que realiza movimientos precisos y repetitivos.

No se requieren operadores con experiencia, para operar una maquina CNC no es necesario ser un experto en el manejo puesto que poseen un software intuitivo y fácil de configurar.

Mayor seguridad en la producción, con una maquina CNC se reduce mucho los peligros que implica la manufactura en madera.

Permite una simulación antes de efectuar el trabajo, en una maquina CNC al ser asistido por computadora, es posible ver el diseño final con un programa de simulación instalada en la computadora.

Fácil control de calidad, gracias a las simulaciones es posible hacer ajustes de calidad, dimensiones, etc.

Fácil manufactura de productos con diseños complicados, con un adecuado uso de herramientas, las maquinas CNC son capaces de hacer diseños complejos.

### **1.3. Objetivos de la Investigación.**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema de control numérico por computadora (CNC) para una fresadora de madera en tres dimensiones.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- a) Desarrollar un algoritmo de control para automatizar la maquina fresadora en tercera dimensión.
- b) Desarrollar un controlador para la máquina, que sirva de intérprete para los datos enviados de la PC a la máquina.
- c) Desarrollar un sistema automatizado de limpieza.
- d) Implementación de la máquina (CNC) fresadora en tres dimensiones.

## CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de Investigación.

En un primer trabajo de WEIQIN (2013), que se denomina “Design ang Analysis of a Small-Scale Cost-Effective CNC Milling Machine”, traduciendo al español, “Diseño y Análisis de una Pequeña Máquina de Fresado CNC de Bajo Costo”, el objetivo de esta tesis es diseñar una máquina CNC de bajo costo.

También se enfoca en diseñar una máquina de alta precisión, para lo cual en el trabajo se realizó un análisis estructural y diseño de respuesta de motores.

La conclusión del trabajo es: con el incremento de demanda en las industrias de partes pequeñas de alta precisión, la venta de máquinas creció sustancialmente y usando una máquina para la elaboración de pequeñas partes proveen una flexibilidad y eficiencia en la manufacturando aprovechando y reduciendo costos, el diseño seleccionado en el trabajo es una máquina de tipo vertical con algunos componentes críticos de este trabajo son: las guías lineales, motores, encoders, que fueron seleccionados de diferentes opciones.

La máquina implementada fue diseñada para manufacturar partes en serie, debido a las partes de la estructura y el montaje robusto de la estructura y controladores.

Un segundo trabajo realizado en la Pontificia Universidad Católica del Perú, correspondiente a Alonso (2015), que se denomina, tiene como objetivo principal diseñar un cortador láser CNC de bajo costo y así ser asequible para los potenciales usuarios, aunque la aplicación de este trabajo es diferente a nuestro diseño, aporta investigación en el principio de funcionamiento.

En este trabajo al hacer el diseño se logró una máquina de equivalente costo que una comercial pero con una mayor área de trabajo, también aporta mucha investigación en diagramas de flujo para el diseño.

Un tercer trabajo realizado en la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, correspondiente a Yuri & John (2011), quienes realizaron “Diseño de un Prototipo de Máquina de Control Numérico Computarizada Controlado a Través de Imágenes en Tiempo real”, el objetivo de este trabajo es hacer el trabajo cada vez más sencillas las formas de procesar la información y el control en tiempo real.

En este trabajo se investigó acerca de los aspectos sobre el funcionamiento de una maquina CNC, y relaciona con la investigación en curso con la selección de: sistema de transmisión, tipos de motores, diseño de controladores para motores, además se hizo un análisis sobre la factibilidad del diseño.

Aunque la aplicación del trabajo es el de reconocimiento de imágenes, el principio de funcionamiento de prototipo es semejante con la investigación en curso, los objetivos específicos de este trabajo son: Diseñar un prototipo de una máquina de control numérico computarizado, Diseñar un software que sea capaz de controlar la máquina de control de numérico a través de imágenes tomadas al objetivo, donde se anexan los planos y conclusiones concluyendo con éxito el proyecto.

## **2.2.Sustento teórico.**

### **2.2.1. Sistemas de Control Numérico Computarizado.**

Las maquinas CNC. “Control Numérico Computarizado” tiene como principal característica controlar completamente una Máquina-Herramienta desde un computador mediante un control numérico, facilitando en su totalidad

el trabajo a desempeñar. Este tipo de controladores CNC. Están basados en códigos G para la generación de las trayectorias, y códigos M para generar las funciones especiales.

Al trabajar con el código G, brinda la facilidad a los usuarios de realizar los diseños en diferentes programas CAD, permitiéndoles usar diversos programas computacionales, para luego ser convertido el archivo de formato CAD o DXL en códigos G con la ayuda de un software.

En general CNC está catalogada en la parte mecánica como máquinas de precisión siendo una de las características más importantes, también se debe tomar en cuenta la velocidad de trabajo que desempeña de acuerdo a la aplicación.

Entre los tipos de máquina de control numérico más comerciales tenemos: Robots, Fresadoras y Tornos.

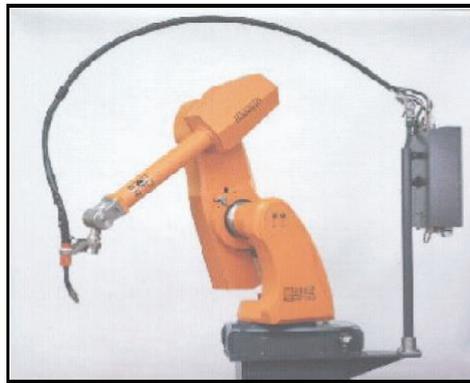


Figura 01. Brazo robótico

Fuente: Suh, Kang, Chung, Stroud (2014). Máquinas CNC [Imagen]. Recuperado de Theory and Design of CNC Systems (p. 5).



Figura 02. Fresadora CNC

Fuente: Suh, Kang, Chung, Stroud (2014). Máquinas CNC [Imagen].  
Recuperado de Theory and Design of CNC Systems (p. 5).

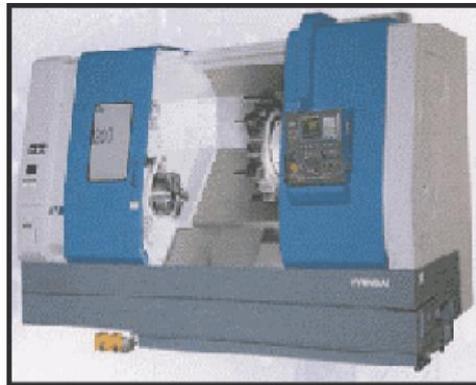


Figura 03. Torno CNC

Fuente: Suh, Kang, Chung, Stroud (2014). Máquinas CNC [Imagen].  
Recuperado de Theory and Design of CNC Systems (p. 5).

### 2.2.2. EL control Numérico Computarizado.

Es un sistema de control automatizado, que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento.

El Control Numérico Computarizado tiene las siguientes ventajas.

- Permite una mejor planeación de las operaciones.
- Se incrementa la flexibilidad de maquinado.
- Reducción en tiempo de programación.
- Mejor control del proceso y tiempos de maquinado.
- Disminución en los costos por herramientas.

- Se incrementa la Seguridad para el usuario.
- Reducción del tiempo de flujo de material.
- Reducción del manejo de la pieza de trabajo.
- Aumento de productividad.
- Aumento en precisión.

### **2.2.3. Principio de funcionamiento**

El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un algoritmo de control ejecutado por un ordenador. Se controlan los desplazamientos horizontales, verticales, y las que corresponden al eje Z. Para ello se incorporan motores eléctricos en los mecanismos de desplazamiento de la mesa de la fresadora; dependiendo de la capacidad de la máquina, esto puede no ser limitado únicamente a tres ejes.

### **2.2.4. Maquinas Fresadoras de Madera.**

Una fresadora CNC es una Máquina Herramienta Computarizada que realiza trabajos mecanizados por arranque de viruta, el arranque de viruta es realizado por un motor de alta velocidad que puede ser de Corriente Continua o Corriente Alterna, que realiza el arranque de viruta con una herramienta llamada fresa.

Hay varios tipos de fresadoras computarizadas, los cuales se clasifican por el tipo, número de ejes, velocidad, numero de herramientas y según su aplicación:

Según el tipo se clasifican por, fresadoras verticales, horizontales, universal de uno o varios husillos.

- a) **Fresadoras verticales:** el eje del husillo es vertical, lo que significa que la herramienta se puede mover de arriba a abajo, acercándose o alejándose de la parte superior o de la superficie de la pieza.
- b) **Fresadoras horizontales:** el eje del husillo es horizontal, es decir que la herramienta puede moverse de lado a lado, acercándose o alejándose de la cara de la pieza.
- c) **Fresadora universal:** tiene un husillo principal para el acoplamiento de ejes portaherramientas horizontales y un cabezal que se acopla a dicho husillo y que convierte la máquina en una fresadora vertical.
- d) **Según el número de ejes:** hay máquinas CNC fresadoras de 2, 3, 4, 5, 6 o más ejes, dependiendo del número de ejes es mayor la complejidad de construcción y costo de una Máquina. Una aplicación para una máquina de 2 ejes es el de realizar cortes en dos dimensiones, mientras que una máquina de 3 ejes puede aparte de realizar cortes en dos dimensiones hacer relieves en una cara, y las máquinas de 4, 5, 6 a más ejes son capaces de hacer modelos en tres dimensiones sin restricciones.
- e) **Según la velocidad:** para el fresado es muy importante la velocidad de desplazamiento de la máquina según sea su aplicación, por ejemplo si se desea realizar modelos de metal la velocidad de desplazamiento es considerablemente menos que si se desea trabajar con madera, por eso se debe tener mucho en consideración el tipo de motor para realizar dicho desplazamiento.
- f) **Según número de herramientas y aplicación:** las máquinas CNC requieren múltiples herramientas para realizar un trabajo, por ejemplo, en un trabajo con madera se puede utilizar una herramienta de limpieza,

luego una herramienta de desbaste, y por ultimo una herramienta para el relieve, existe una gran variedad de herramientas, para fresado de modelos es posible tener 2, 3 o hasta 40 herramientas que realicen un trabajo. El uso de herramientas depende de la aplicación, por ejemplo, si se trabaja con metal, el material de las herramientas por lo general es de Carburo sólido, o con cubiertas de Titanio, etc. Para trabajos en madera hay herramientas de plomo con aleación de carburo, también es difieren en la forma de dichas herramientas.

### 2.2.5. Partes de una Fresadora de 3 ejes.

Las fresadoras de 3 ejes son relativamente complejas en su diseño, el tamaño y potencia de estas máquinas depende de la aplicación, en la siguiente imagen veremos las partes fundamentales.



Figura 04. Partes de una fresadora de tres dimensiones

Fuente: Acuña, V. (2011).Centros de mecanizado CNC [figura]. Recuperado de [es.slideshare.net/VinicioAcuna/centros-de-mecanizado-cnc](https://es.slideshare.net/VinicioAcuna/centros-de-mecanizado-cnc)

### 2.2.6. Motores Paso A Paso.

Los motores paso a paso son de corriente continua que se mueven en pasos discretos, estos motores tienen múltiples bobinas llamadas fases, y estas fases al ser alimentadas en secuencias causa la rotación del eje del motor en pasos a un tiempo especificado.

También son considerados como motores de alta precisión gracias a sus características constructivas, estos pueden llegar a ser tan precisos como sean posibles, lo cual hace que sean idóneos para aplicaciones de movimiento con alto grado de precisión y velocidad como son en las diferentes máquinas CNC.

Los motores de movimiento indexado son considerados como, convertidores electromagnéticos incrementales, estos al recibir información en forma de tren de pulsos eléctricos, el motor realiza la acción de movimiento angular de su eje. Al ser motores de pasos, cada pulso nos indica un paso con un ángulo de giro, el tamaño del paso varía de acuerdo a las características constructivas, como cualquier motor de corriente continua este puede girar en sentido horario o anti horario.

Los motores paso a paso se puede posicionar eje del motor de acuerdo al número de pasos dados, y poder controlar su posicionamiento, también se puede controlar la velocidad de paso, el cual es directamente proporcional a la frecuencia de variación del tren de pulso eléctrico que llega a las bobinas del motor, estos actuadores son ideales para trabajar en sistemas que no tienen una retroalimentación.

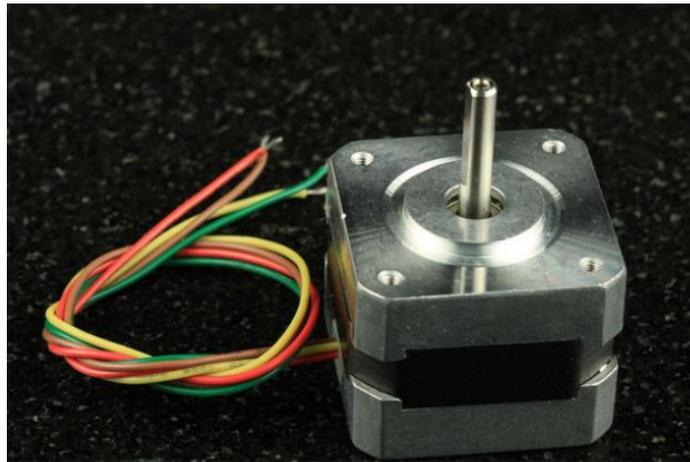


Figura 05. Motor paso a paso

Fuente: Earl, B. (2015). Motor [figura]. Recuperado de All About Stepper Motors (p. 7).

#### **2.2.6.1. Ventajas y desventajas de usar motores paso a paso.**

En cuanto a sus ventajas los motores paso a paso giran con gran precisión en cada paso por lo que son ideales para aplicaciones que requieren gran precisión, otra ventaja es que se puede controlar la velocidad con gran precisión. Los motores normales DC no tienen su máximo torque a bajas revoluciones pero los motores paso a paso tienen su máximo torque a bajas revoluciones.

En cuanto a sus desventajas, en comparación a los motores DC normales el consumo de corriente de los motores paso a paso es independiente de la carga, por lo que se dice que tienen una baja eficiencia. Otra desventaja es que por lo general los motores paso a paso tienen bajo torque a altas velocidades aunque existen motores paso a paso diseñados para tener buen rendimiento a altas velocidades, En comparación a un Servo Motor que cuentan con realimentación, la mayoría de los motores paso a paso no cuentan con este sistema de realimentación, por lo que para controlar el desplazamiento se confía en que no habrá pérdida de pasos y para seguridad son requeridos sensores final de carrera en una maquina con motores paso a paso.

### 2.2.6.2. Motores paso a paso Unipolares y Bipolares.

- a) **Motores Unipolares**, este tipo de motores siempre se energizan las fases de la misma manera, se puede diseñar un controlador solo con transistores, su desventaja es que hay menos torque en su funcionamiento debido a que solo se pueden activar la mitad de bobinas a la vez.
- b) **Motores Bipolares**, este tipo de motores requiere un controlador de tipo Puente – H para su funcionamiento, esto debido a que se requiere una inversión de polaridad en determinados tiempos, aunque el controlador es más complejo en comparación a los motores unipolares, estos motores tienen un mayor torque debido a que todas las bobinas pueden entrar en funcionamiento al mismo tiempo.

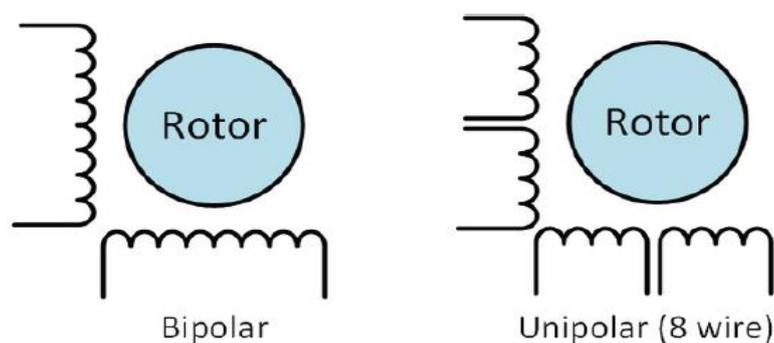


Figura 06. Diferencia de bobina entre un motor bipolar y unipolar  
Fuente: Earl, B. (2015). Unipolar vs Bipolar [Figura]. Recuperado de All About Stepper Motors (p. 12).

- c) **Puente – H o H – bridge**, un puente – H es capaz de invertir polaridad, y por lo general se usa en Motores DC normales o también un arreglo de 2 puentes – H independientes se utiliza en motores paso a paso bipolares.

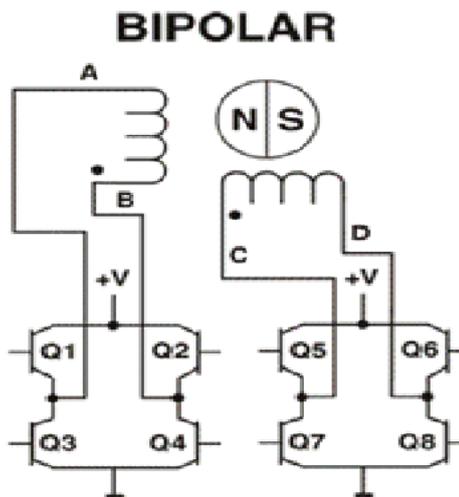


Figura 07. Puente- H doble para un motor paso a paso bipolar  
 Fuente: George (2012). Unipolar stepper vs Bipolar stepper motors [Figura]. Recuperado de [www.circuitspecialists.com/blog/unipolar-stepper-motor-vs-bipolar-stepper-motors/](http://www.circuitspecialists.com/blog/unipolar-stepper-motor-vs-bipolar-stepper-motors/)

**Secuencia para controlar un motor paso a paso Bipolar**, consta de 4 tiempos, con inversiones de polaridad de la siguiente manera.

Tabla 01: Secuencia de control para un motor paso a paso Bipolar.

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

Fuente: Aragon, F. (2011). Paso completo [Figura]. Recuperado de Control de un motor paso a paso Pic, Usb y C (p. 23).

### 2.2.7. Sistema de transmisión

La selección de un sistema de transmisión del movimiento a los ejes es fundamental para un óptimo rendimiento de una máquina, en las máquinas CNC

por arranque de viruta, la continua fuerza que se ejerce al realizar esta operación causa una gran tensión en los ejes.

Entre los sistemas de transmisión más utilizados tenemos el sistema de transmisión por tornillo de bolas re circulantes o ballscrew, transmisión por piñón y cremallera y transmisión por correa.

- a) **Transmisión por tornillo de bolas:** Transforma movimiento rotatorio en rectilíneo, garantiza una marcha suave, mínimo rozamiento y aceptable velocidad de trabajo, controla eficientemente con suma precisión, durante todos los desplazamientos, (Nicolás V.).

Según su diseño tienen un prologado tiempo de vida, y su precisión aproximada es de una centésima de milímetro.



Figura 08. Tornillo de bolas circulares- ballscrew

Fuente: Castiglione, N. (2011). Sistemas de transmisión [Figura]. Recuperado de Transmision de los movimientos a los ejes de los routers CNC (p. 35).

- b) **Transmisión por piñón y cremallera:** generalmente usados en largos desplazamientos, con un régimen de velocidad de trabajo aceptable, Su precisión es de dos centésimas de milímetro.

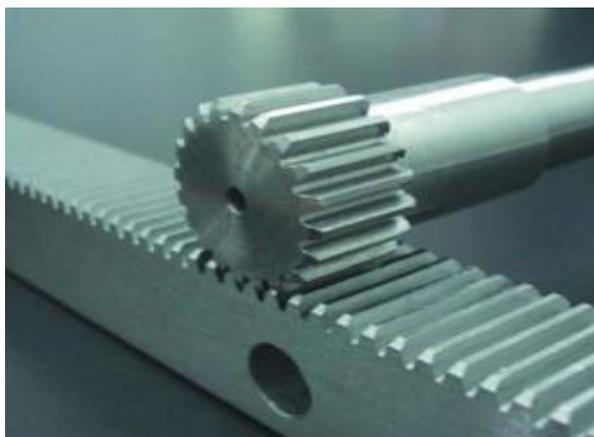


Figura 09. Piñón y cremallera

Fuente: Castiglione, N. (2011). Sistemas de transmisión [Fotografía].  
Recuperado de Transmisión de los movimientos a los ejes de los routers  
CNC (p. 36).

- c) **Transmisión por correa de precisión:** Es la opción más económica, que no requiere gran mantenimiento, es de fácil montaje y desmontaje, pero generalmente es usado para maquinas pequeñas, lo malo es que su vida útil no es extensa comparados con los otros sistemas.

El principal problema es el estiramiento, si se usa en una maquina pequeña el estiramiento no es un gran problema, pero si se usa en una máquina de grandes dimensiones el estiramiento es un problema serio que se debe tener en cuenta.



Figura 10. Correa de precisión

Fuente: Castiglione, N. (2011). Sistemas de transmisión [Fotografía].  
Recuperado de Transmisión de los movimientos a los ejes de los routers  
CNC (p. 41).

### 2.2.8. Motor principal o Spindle

Este motor es esencial en toda máquina CNC fresadora, los demás sistemas están ahí para controlar a este motor, por ejemplo: Donde debe ir, que tan rápido debe ir, o cuando debe encenderse o apagarse. La selección de este motor es muy importante según la aplicación que se le dé.

Existen dos tipos de motor spindle más utilizados, motores de corriente continua DC, y motores trifásicos.

- a) **Los motores de corriente continua (DC):** Por lo general son más económicos, son más fáciles de controlar, pero al tener escobillas tienen un menor tiempo útil de vida y pierden torque en bajas revoluciones.



Figura 11. Motor Spindle de corriente continua  
Fuente: T-king (2015). Air cooled spindle motor [Fotografía]. Recuperado de [www.amazon.com/T-king-Spindle-Engraver-Engraving-12000rpm/dp/B015HK2L90](http://www.amazon.com/T-king-Spindle-Engraver-Engraving-12000rpm/dp/B015HK2L90)

- b) **Los motores de corriente alterna trifásicos:** Son más costosos, más difíciles de controlar, pero al no tener escobillas tienen un tiempo de vida mucho mayor y además mantienen su torque en diferentes revoluciones.



Figura 12. Motor Spindle trifásico de corriente alterna  
Fuente: Jiangsu (2016). High speed air cooling spindle [Fotografía].  
Recuperado de [spindlemotor-china.en.made-in-china.com/product/XNfJtAvKsQVT/China-High-Speed-6kw-Er32-Square-Air-Cooling-CNC-Router-Spindle-with-Fin.html](http://spindlemotor-china.en.made-in-china.com/product/XNfJtAvKsQVT/China-High-Speed-6kw-Er32-Square-Air-Cooling-CNC-Router-Spindle-with-Fin.html)

Para saber cuál es el motor ideal según su aplicación se debe tener en cuenta algunos criterios, como son:

- a) **Velocidad máxima del motor:** La velocidad de un motor Spindle depende de los materiales que se plantean trabajar, haciendo un análisis de la aplicación se puede determinar si se necesita un motor de alta precisión, alto rendimiento o alta velocidad.

Los motores de baja revolución son utilizados generalmente en un rango de 1000 – 5000 rpm, estos motores con baja revolución son utilizados en materiales duros como pueden ser: Metal, Aluminio, Madera y algunos tipos de plásticos, esto con la finalidad de evitar que la herramienta se caliente al realizar los cortes.

Los motores de alta revolución, tienen una velocidad de 18,000 rpm a más, este tipo de motores es utilizado generalmente para hacer grabados y utilizados en materiales estructuralmente suaves, también ofrecen la oportunidad de maximizar la velocidad de desplazamiento y así reducir el tiempo de trabajo.

- b) **Torque del motor:** La mayoría de los fabricantes de este tipo de motores ofrecen un gráfico con una curva de torque versus velocidad, esto es fundamental porque los motores pierden torque en altas revoluciones y esto puede afectar significativamente el rendimiento del motor.
- c) **Motores con cepillos:** Los motores con cepillos tienen una varilla de carbón que se mantienen contra el colector o cabezal central del motor por medio de muelles, las ventajas de este tipo de motores es que son de bajo costo, generalmente utilizado en materiales suaves, como por ejemplo madera, acrílico, etc. Es de arranque suave, velocidad ajustable y capaz de funcionar a altas revoluciones.

En cuanto a las desventajas, son menos eficientes debido a la fricción de las varillas de carbón, generan calor con la fricción, no son diseñados para trabajar de forma continua, requieren mayor mantenimiento y su tiempo de vida útil es menor en comparación a los demás tipos de motores.

### 2.2.9. Sensor Final de Carrera

El final de carrera o Sensor de contacto también conocido como (interruptor de límite), limit switch, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil.

Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento.

Su uso es muy diverso, empleándose en general en todas las maquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo.

Un ejemplo de sensor final de carrera mecánico es el que se muestra en la siguiente imagen.



Figura 13. Sensor final de carrera mecánico

Fuente: Caniparoli, J. (2012). Sensores de final de carrera [Fotografía]. Recuperado de [es.slideshare.net/JavierCaniparoli/sensores-de-final-de-carrera](http://es.slideshare.net/JavierCaniparoli/sensores-de-final-de-carrera)

### 2.2.10. La Computadora.

Una computadora es un sistema digital con tecnología microelectrónica capaz de procesar datos a partir de un grupo de instrucciones denominado programa. La estructura básica de una computadora incluye microprocesador (CPU), memoria y dispositivos de entrada/salida (E/S), junto a los buses que permiten la comunicación entre ellos. La característica principal que la distingue de otros dispositivos similares, como una calculadora no programable, es que puede realizar tareas muy diversas cargando distintos programas en la memoria para que los ejecute el procesador.

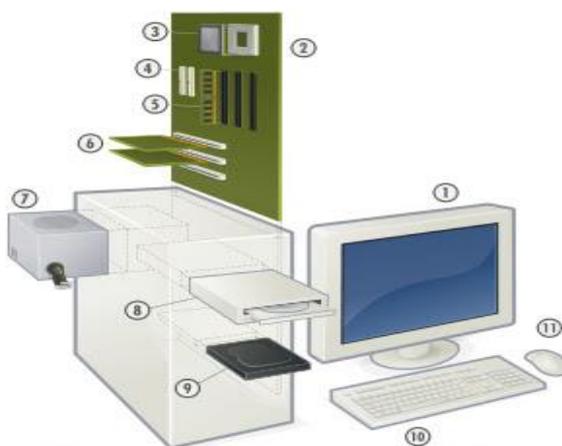


Figura 14. Partes de una computadora

Fuente: Lidia (2011). Partes de un ordenador [Figura]. Recuperado de [tercerodsalesianos.blogspot.pe/2011/12/17-partes-de-un-ordenador.html](http://tercerodsalesianos.blogspot.pe/2011/12/17-partes-de-un-ordenador.html)

**Dónde:** (1)monitor, (2)placa base, (3)procesador, (4)periféricos, (5)memoria RAM, (6)placas de expansión, (7)fuelle eléctrica, (8)unidad de almacenamiento óptico, (9)disco duro, (10)teclado, (11)mouse.

**El puerto paralelo:** La conexión del puerto paralelo al mundo exterior se realiza mediante un conector hembra **DB25**. Observando el conector de frente y con la parte que tiene mayor número de pines hacia arriba, se numera de derecha a izquierda y de arriba a abajo, del 1 al 13 (arriba) y del 14 al 25 (abajo).

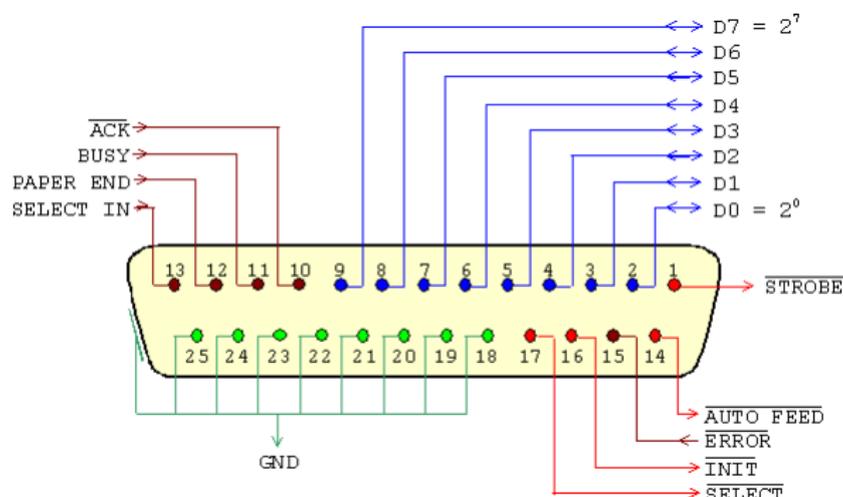


Figura 15. Puerto paralelo y sus partes

Fuente: Mileti, P. (2010). El puerto paralelo [Figura]. Recuperado de [www.mileti.com.ar/apuntes/puerto\\_paralelo\\_01.pdf](http://www.mileti.com.ar/apuntes/puerto_paralelo_01.pdf)

**Dónde:** los pines 2-9 (D0-D7), son bits de datos o salida de datos, además sus valores son únicamente modificables a través de software. Los pines 10 – 13 y 15 son de entrada de datos, únicamente modificables a través del hardware externo. Los pines 1, 14, 16 y 17 son bits de control. Habitualmente son salidas, aunque se pueden utilizar también como entradas y, por tanto, se pueden modificar tanto por software como por hardware. Los pines 18 - 25 son la tierra o masa.

**Tipos de puerto paralelo:** Existen 4 tipos de puerto paralelo, el puerto paralelo estándar (SPP), Puerto Paralelo PS/2 (bidireccional), Enhanced Parallel Port (EPP), Extended Capability Port (ECP), la diferencia sintetizada de estos puertos se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 02: Comparación de los puertos existentes

|                              | <b>SPP</b>        | <b>PS/2</b>       | <b>EPP</b>                          | <b>ECP</b>                  |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Fecha de introducción</b> | 1981              | 1987              | 1994                                | 1994                        |
| <b>Fabricante</b>            | IBM               | IBM               | Intel, Xircom y Zenith Data Systems | Hewlett Packard y Microsoft |
| <b>Bidireccional</b>         | No                | Si                | Si                                  | Si                          |
| <b>DMA</b>                   | No                | No                | No                                  | Si                          |
| <b>Velocidad</b>             | 150<br>Kbyte/seg. | 150<br>Kbyte/seg. | 2 Mbyte/seg.                        | 2<br>Mbyte/seg.             |

Fuente: Fernandez, J. (2011). Puerto paralelo [Figura]. Recuperado de [www.monografias.com/trabajos93/mainboard/mainboard2.shtml](http://www.monografias.com/trabajos93/mainboard/mainboard2.shtml)

IBM especificó direcciones base para el puerto paralelo estándar (dentro del espacio de direccionamiento de Entrada/Salida del 80x86). El adaptador de impresora podría usar la dirección base 3BCh, o más tarde 378h o 278h. El BIOS (Basic Input Output System) de IBM crea en el momento de arranque o POST (Power On Self Test) una tabla en el espacio de la memoria principal (RAM) para 4 direcciones base de puerto paralelo de impresora, estos se almacenan como 4 bytes empezando con la dirección de memoria 408h. Durante el arranque, el BIOS comprueba si hay puertos paralelos en las direcciones base 3BCh, 378h, y 278h, en ese orden, la asignación de direcciones normalmente es:

Tabla 03: Direcciones de los adaptadores del puerto de impresora

| Nombre    | Ubicación                         |
|-----------|-----------------------------------|
| 3BCh LPT1 | Adaptador de impresión primario   |
| 378h LPT2 | Adaptador de impresión secundario |

Fuente: Fernandez, J. (2011). Puerto paralelo [Figura]. Recuperado de [www.monografias.com/trabajos93/mainboard/mainboard2.shtml](http://www.monografias.com/trabajos93/mainboard/mainboard2.shtml)

**Identificar el tipo de puerto y dirección:** Para realizar esta operación se debe encender el computador y buscar en: Panel de control – Sistema – Hardware – Administrador de dispositivos – Puertos (COM, LPT), donde encontraremos algo parecido a esto:

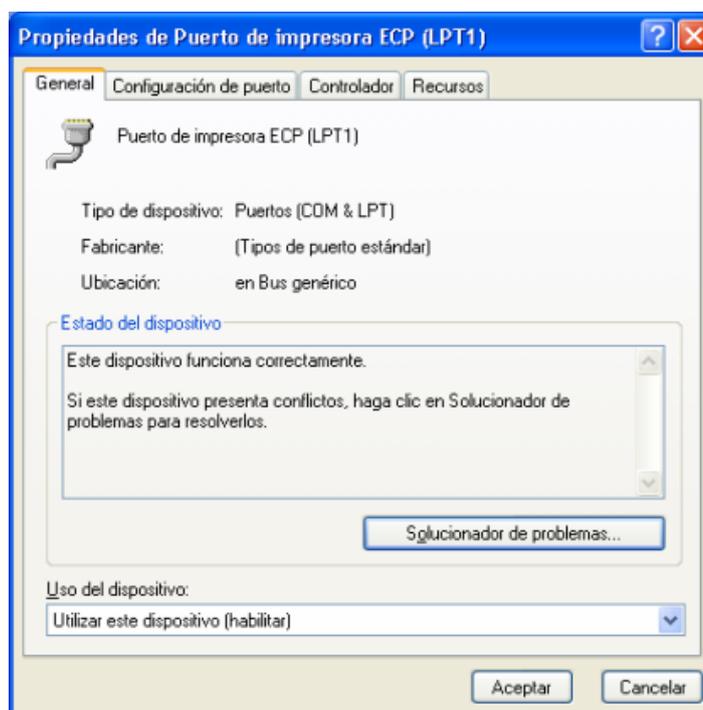


Figura 16. Propiedades del puerto paralelo en PC

Fuente: Windows Xp (2003). Propiedades de puerto de impresora [Figura].  
Elaboración propia.

En este ejemplo podemos ver un puerto de tipo ECP en el adaptador de impresora primario.

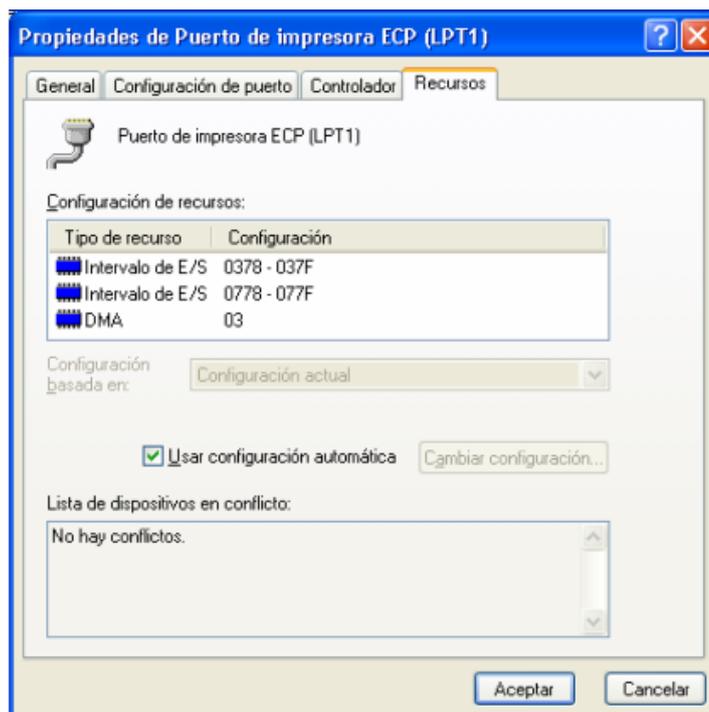
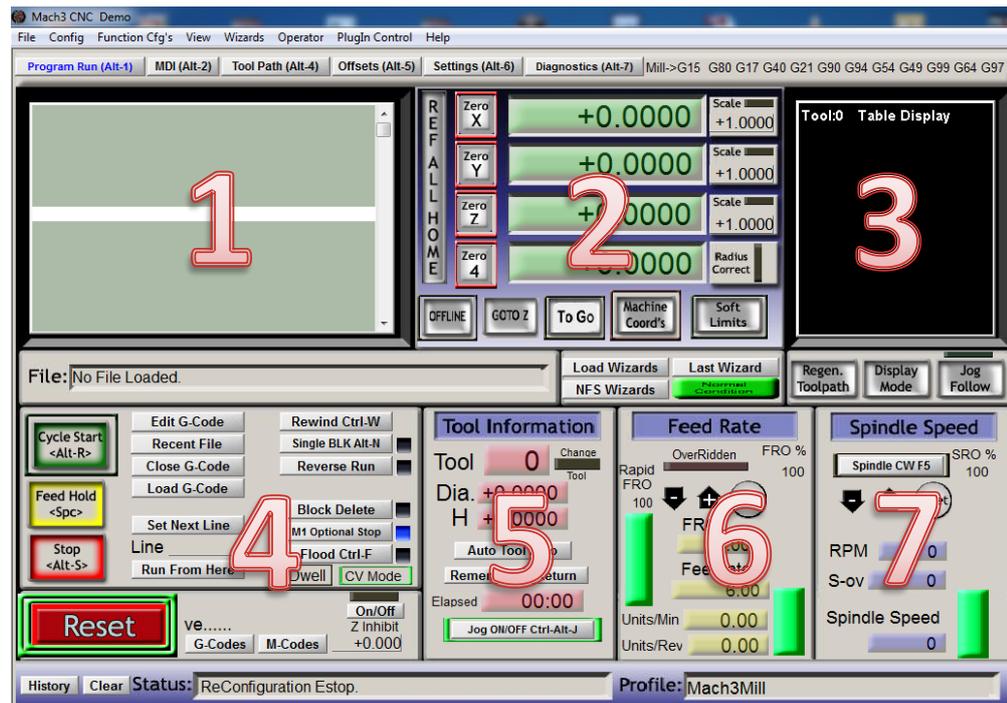


Figura 17. Propiedades de las direcciones del puerto paralelo en PC  
Fuente: Windows Xp (2003). Propiedades de puerto de impresora [Figura].  
Elaboración propia.

### 2.2.11. MACH 3

Mach 3 es un programa de computadora que permite la comunicación con los motores, este sistema es accesible y muy fácil de aprender, este programa permite automatizar una maquina CNC, este sistema es uno de los controles más versátiles de la industria. Este controlador es completamente compatible con la mayoría de los sistemas CAD-CAM y maquinas en el mercado, mach3 se ejecuta de forma gratuita por un periodo limitado de tiempo como una versión de demostración.



Fuente: Artsoft (2017). Mach 3 program [Fotografía]. Recuperado de [www.machsupport.com/software/mach3/](http://www.machsupport.com/software/mach3/)

En el punto “1”, es la ventana que muestra el código G con su respectiva barra de desplazamiento. El punto “2” corresponde al desplazamiento de los ejes X, y, Z Y Un cuarto eje. En el punto “3” se muestra una vista previa del trabajo a realizarse, sea en dos o tres dimensiones. En el punto “4” se muestra los botones primarios como Cycle Start, Reed Hold, Stop hasta los de modificación de código como el botón Edit G-Code, En el punto “5” se controla algunas funciones especiales como puede ser el Auto Tool Zero que mediante una sonda facilita en encontrar la altura entre el material y la herramienta. En el punto “6” se muestra todos los controles de los motores en Ejes, se puede controlar tanto su velocidad, y algunas funciones extra. En el punto “7” se muestran todos los controles del Motor Spindle tanto como su velocidad, encendido y apagado, hasta es posible controlar estas funciones cuando se esté en uso.

Entre las características principales de este programa se encuentran:

Controles de usuario, controlar una herramienta con movimiento relativo puede ser una fresadora, controlar dos o tres ejes que están en ángulo recto entre ellos, como pueden ser los ejes X, Y e Z, controlar un motor Spindle, controlar su encendido o apagado así como su velocidad, hasta tres ejes adicionales, estos pueden ser rotativos, son medidos en grados, además uno de estos ejes adicionales puede ser puesto como esclavo de uno de los ejes X, Y ó Z. Permite modificar directamente el código G, e incluso escribir líneas de código directamente en el programa mediante la línea MDI y también cuenta con una ventana de avance lento mediante un control Jogging.

### **2.2.12. Encendido Retardado De Un Sistema**

El encendido retardado de un sistema es un método de protección cuando dichos sistemas requieran una preparación anticipada, por ejemplo: cuando el sistema utiliza capacitores de carga y descarga es indispensable que se utilice una protección de encendido retardado ya que los capacitores necesitan cargarse antes de que todo el sistema funcione correctamente.

Este tipo de sistemas se implementa en diversas configuraciones, ya sea con un temporizador NE555, un microprocesador, etc.

### **2.2.13. Códigos “G y M”**

La programación de las máquinas de Control Numérico Computarizado se realiza mediante un lenguaje de bajo nivel llamados códigos “G” y códigos “M”, estos códigos son lenguajes de tipo vectorial donde se describen acciones simples y entidades geométricas sencillas, como por ejemplo: Segmentos de

recta y arcos de circunferencia, también describen parámetros de maquinado como: Velocidades de husillo y avance de herramienta.

Existen diferentes dialectos de programación en códigos G y M, pero se dio una estandarización promovida por la ISO.

A continuación se muestra una lista de los códigos G para fresadoras CNC.

Tabla 04: Lista de codigos generales "G"

| <b>Códigos Generales "G"</b> |   |
|------------------------------|---|
| <b>G00</b>                   | Posicionamiento rápido  |
| <b>G01</b>                   | Interpolación lineal  |
| <b>G02</b>                   | Interpolación circular  |
| <b>G03</b>                   | Interpolación circular anti horaria                             |
| <b>G04</b>                   | Compás de espera  |
| <b>G15</b>                   | Programación en coordenadas polares                             |
| <b>G20</b>                   | Comienzo de uso de unidades imperiales                          |
| <b>G21</b>                   | Comienzo de uso de unidades métricas                            |
| <b>G28</b>                   | Volver al home de la máquina                                    |
| <b>G40</b>                   | Cancelar compensación de radio de curvatura de herramienta      |
| <b>G41</b>                   | Cancelar compensación de radio de herramienta a la izquierda    |
| <b>G42</b>                   | Cancelar compensación de radio de herramienta a la derecha      |
| <b>G50</b>                   | Cambio de escala  |
| <b>G68</b>                   | Rotación de coordenadas   |
| <b>G73</b>                   | Ciclos encajonados  |
| <b>G74</b>                   | Perforado con ciclo de giro anti horario para descargar virutas |
| <b>G76</b>                   | Alesado fino  |
| <b>G80</b>                   | Cancelar ciclo encajonado                                       |
| <b>G81</b>                   | Taladrado   |
| <b>G82</b>                   | Taladrado con giro anti horario                                 |
| <b>G83</b>                   | Taladrado profundo con ciclos de retracción para                |

---

|             |   |
|-------------|---|
|             | retiro de viruta                                      |
| <b>G90</b>  | Coordenadas absolutas                                 |
| <b>G91</b>  | Coordenadas relativas                                 |
| <b>G92</b>  | Desplazamiento del área de trabajo                    |
| <b>G94</b>  | Velocidad de corte expresada en avance por minuto     |
| <b>G95</b>  | Velocidad de corte expresada en avance por revolución |
| <b>G98</b>  | Retorno a nivel inicial                               |
| <b>G99</b>  | Retorno a nivel R                                     |
| <b>G107</b> | Programación del 4to eje                              |

---

Fuente: Castillo, F. (2008). Códigos G [Tabla]. Recuperado de Programación Automática de Máquinas CNC.

Tabla 05: Lista de códigos misceláneos “M”

---

| <b>Códigos Misceláneos “M”</b> |  |
|--------------------------------|--|
| <b>M00</b>                     | Parada   |
| <b>M01</b>                     | Parada opcional  |
| <b>M02</b>                     | Reset del programa   |
| <b>M03</b>                     | Hacer girar el husillo en sentido horario                                      |
| <b>M04</b>                     | Hacer girar el husillo en sentido anti horario                                 |
| <b>M05</b>                     | Frenar el husillo  |
| <b>M06</b>                     | Cambiar de herramienta   |
| <b>M08</b>                     | Abrir el paso del refrigerante   |
| <b>M09</b>                     | Cerrar el paso de los refrigerantes  |
| <b>M10</b>                     | Abrir mordazas   |
| <b>M11</b>                     | Cerrar mordazas  |
| <b>M13</b>                     | Hacer girar el husillo en sentido horario y abrir el paso de refrigerante      |
| <b>M14</b>                     | Hacer girar el husillo en sentido anti horario y abrir el paso de refrigerante |
| <b>M30</b>                     | Finalizar programa y poner el puntero de ejecución en su inicio                |

---

---

|            |   |
|------------|---|
| <b>M38</b> | Abrir la guarda                           |
| <b>M39</b> | Cerrar la guarda                          |
| <b>M62</b> | Activar salida auxiliar 1                 |
| <b>M67</b> | Esperar hasta que la entrada 2 esté en ON |
| <b>M71</b> | Activar el espejo en Y                    |
| <b>M80</b> | Desactivar el espejo en X                 |
| <b>M81</b> | Desactivar el espejo en Y                 |
| <b>M98</b> | Llamada a subprograma                     |
| <b>M99</b> | Retorno de subprograma                    |

---

Fuente: Castillo, F. (2008). Códigos M [Tabla]. Recuperado de Programación Automática de Máquinas CNC.

#### **2.2.14. Herramientas de desbaste.**

Existe una gran variedad de herramientas llamadas fresa o broca, estas se clasifican según: El material de corte, tipo de corte y durabilidad.

Herramienta de Tungsteno, este tipo de herramienta es generalmente usado en: Madera, PVC, Acrílico.

Herramienta de carburo, este tipo de herramienta es generalmente usado en: Madera, PVC, Acrílico, aluminio suave.

Herramienta de carburo sólido, utilizado generalmente en aluminio, metal y metal duro.



Figura 19. Tipos de herramientas de carburo.

Fuente: elect-mall (2016). Tungsten carbide end Mill [Fotografía]. Recuperado de [www.ebay.com/itm/7Pcs-4-Flutes-Tungsten-Carbide-End-Mill-Set-Straight-Shank-CNC-tool-1MM-8MM-/131812665054?hash=item1eb0a5a6de:g:qzwAAOSwvU5XNXZk](http://www.ebay.com/itm/7Pcs-4-Flutes-Tungsten-Carbide-End-Mill-Set-Straight-Shank-CNC-tool-1MM-8MM-/131812665054?hash=item1eb0a5a6de:g:qzwAAOSwvU5XNXZk)

### 2.2.15. Filtro PI.

El filtro Pi, compuesto por un capacitor – bobina – capacitor, es indispensable en toda máquina industrial ya que este filtro se encarga de eliminar las subidas y caídas de tensión que existen en la red de tensión.

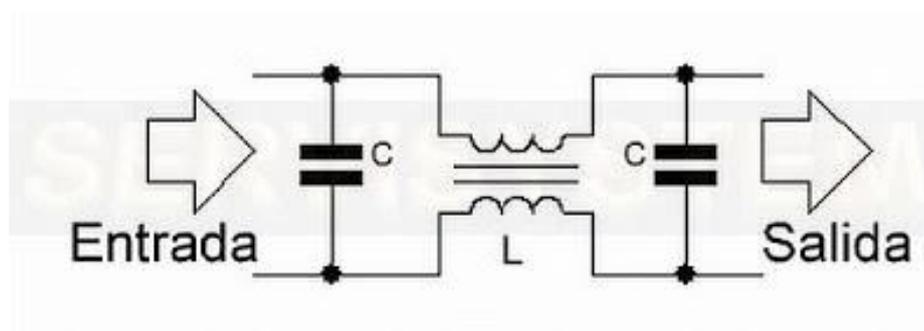


Figura 20. Configuración de un filtro PI.

Fuente: Roque, C. (2009). Filtros [figura], Recuperado de [inacaprenca.files.wordpress.com/2011/10/filtros-1.pdf](http://inacaprenca.files.wordpress.com/2011/10/filtros-1.pdf)

### 2.3. Glosario de términos básicos.

**Automatización:** Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos.

**CNC (Control Numérico por Computador):** Es todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real. Para maquinar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte.

**Fresado:** Consiste principalmente en el corte del material que se mecaniza con una herramienta rotativa de varios filos, que se llaman dientes, labios o plaquitas de metal duro, que ejecuta movimientos de avance programados de la mesa de trabajo en casi cualquier dirección de los tres ejes posibles en los que se puede desplazar la mesa donde va fijada la pieza que se mecaniza.

**Fresa:** Es una herramienta circular, de corte múltiple, usada en máquinas fresadoras para el mecanizado de piezas. Los dientes cortantes de las fresas pueden ser rectilíneos o helicoidales, y de perfil recto o formando un ángulo determinado.

**Fresadora:** Es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas desde superficies planas a otras más complejas.

**Husillo:** Es una parte de la fresadora donde se encuentra en el porta herramientas con su respectivo motor para la mecanización de la pieza.

**La fuerza de corte:** Es un parámetro a tener en cuenta para evitar roturas, deformaciones en la herramienta y en la pieza, para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado.

**La profundidad de corte:** Es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta.

**Máquina Herramienta:** Es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales. Su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias. El moldeado de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta, por estampado, corte o electroerosión.

**Maquinabilidad:** Es una propiedad de los materiales que permite comparar la facilidad con que pueden ser mecanizados por arranque de viruta

**Velocidad de avance:** Es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte.

## 2.4. Hipótesis de la investigación.

### 2.4.1. Hipótesis general

El diseño de un Control Numérico por Computadora (CNC) a partir de una fresadora que funcione adecuadamente para el tallado en madera.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

- a) El diseño del algoritmo permite la automatización de la fresadora.
- b) El diseño del controlador funciona adecuadamente para la maquina fresadora.

- c) El diseño del sistema de limpieza es el más adecuado para optimizar el proceso de limpieza en la fresadora.
- d) El diseño de la maquina es capaz de realizar modelos de alta calidad.

## 2.5. Operacionalización de variables.

Tabla 06: Operacionalización de variables

| Variable:                                    | Dimensiones:   | Indicadores:   |
|--|--|--|
| Nivel de precisión y robustez de la máquina. | <p>Conocimiento sobre los diferentes tipos de actuadores.</p> <p>Conocimiento sobre los diferentes sistemas de transmisión.</p> <p>Conocimiento sobre los tipos de Herramienta existentes.</p> | Resultados de modelos tallados en alta calidad y gran precisión. |

Fuente: Suh, Kang, Chung, Stroud (2014). Máquinas CNC [Indicadores de buen funcionamiento]. Recuperado de Theory and Design of CNC Systems.

## CAPÍTULO III

## DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

Es un tipo de Investigación aplicada, experimental ya que para tener los resultados de la presente investigación se desarrollará el proyecto, Control Numérico por Computadora.

### 3.2. Población y muestra de investigación

Por el tipo de investigación no requiere muestra ni población.

### 3.3. Ubicación y descripción de la población

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.



*Figura 21.* Ubicación de la escuela profesional de ing. Electrónica - Puno  
Fuente: Google Earth (2017), Satélite [Fotografía]. Recuperado de Google Maps

#### Ubicación Geográfica:

Latitud sur: 15° 54´

Longitud Oeste: 70° 08´

Altitud: 3827 m.s.n.m.

### 3.4. Técnicas e instrumentos para recolectar información

Los instrumentos para recolectar información fueron:

- Multímetro Digital Truper MUT - 33, se utiliza en el diseño de circuitos, para calibrar y comprobar los valores de los componentes electrónicos.
- Cronometro CASIO HS – 3, se utiliza para medir el tiempo de tallado.
- Osciloscopio TEKTRONIX MSO – 2012, instrumento de medición de señales que se utiliza en el diseño de los circuitos.

Las Técnicas que se utilizan son: Controles CN, diseño de mecanismos, diseño de CAD, programación para sistemas de control numérico, lenguaje de controles numéricos, diseño de circuitos impresos.

### 3.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.

Para el funcionamiento de una maquina CNC fresadora se debe utilizar un escalímetro (pie de rey) UYUSTOOLS, para calibrar el desplazamiento de los ejes, así garantizar que la distancia que se desplaza es la correcta.

Para garantizar una elevación correcta en el eje Z se utiliza una lámina de aluminio de 2mm, en el programa MACH3 se hace un programa que indica mediante un contacto físico, que se ha llegado al límite entre el material y la herramienta.

## CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

En este capítulo describiremos los detalles sobre el diseño, selección de materiales, y diseño de la máquina CNC, ya que existen diversas alternativas para diseñar una máquina CNC.

### 4.1. Selección de componentes

En esta sección veremos todos los criterios utilizados en la selección de los materiales necesarios en la construcción de la máquina, así como el sustento teórico detrás de ellos.

#### 4.1.1. Selección de Motor de Desbaste “Spindle”

Los motores de desbaste encargados de realizar el trabajo de sustraer material de la madera se llaman motores Spindle, estos motores tienen la característica especial que son capaces de girar a muy alta velocidad, en este caso será utilizado para hacer el fresado de madera, entonces se tomaron los siguientes criterios para su justificación.

Como primer criterio: según la dureza de la madera solo se requiere un motor de baja potencia, incluso una madera muy dura no requiere un gran torque para la sustracción de material en la madera.

Segundo: para hacer trabajos con madera dura se necesita bajas revoluciones, pero al trabajar con maderas muy blandas se necesitan revoluciones altas.

Tercero: estos motores al girar a altas revoluciones generan mucha fricción por lo que tienen un sistema de refrigeración, los más comerciales son los

motores refrigerados por aire o por agua, en nuestro diseño se optó el motor refrigerado por aire, puesto que requiere menor mantenimiento.

Cuarto: también existen varios tipos de alimentación para estos motores: los más usados son: los motores de corriente continua (DC), y los motores de corriente alterna (AC) trifásico, en nuestro diseño usamos motores de corriente continua (DC), puesto que son más económicos y el costo de la electrónica también es baja.

Entonces según los criterios ya mencionados para nuestro diseño utilizamos el siguiente motor:

Tabla 07: Características del motor paso a paso utilizado

| <b>Característica</b>             | <b>Valor</b>            |
|-----------------------------------|-------------------------|
| <b>Marca</b>                      | TwoWin                  |
| <b>Potencia</b>                   | 500W                    |
| <b>Torque</b>                     | 5 Kg/cm                 |
| <b>Velocidad</b>                  | 0 – 100V / 0 – 18000rpm |
| <b>Resistencia de Aislamiento</b> | Mayor a 2 Mega Ohm      |
| <b>Rigidez dieléctrica</b>        | 400V                    |
| <b>Diámetro</b>                   | 52mm                    |
| <b>Longitud total del motor</b>   | 200mm                   |
| <b>Descentramiento del Eje</b>    | 0.01-0.03mm             |

Fuente: Hanponse, SH (2016). Motor del Husillo de fresado [Características]. Recuperado de [www.ebay.com/itm/CNC-500W-Spindle-Motor-Air-Cooled-Engraver-Spindle-ER11-CNC-Router-/112383824639?hash=item1a2a9912ff:g:0KkAAOSwRUhY~xDn](http://www.ebay.com/itm/CNC-500W-Spindle-Motor-Air-Cooled-Engraver-Spindle-ER11-CNC-Router-/112383824639?hash=item1a2a9912ff:g:0KkAAOSwRUhY~xDn)



Figura 22. Motor Spindle de corriente continúa  
Fuente: Hanponse, SH (2016). Motor del Husillo de fresado [Fotografía].  
Recuperado de [www.ebay.com/itm/CNC-500W-Spindle-Motor-Air-Cooled-Engraver-Spindle-ER11-CNC-Router-/112383824639?hash=item1a2a9912ff:g:0KkAAOSwRUhY~xDn](http://www.ebay.com/itm/CNC-500W-Spindle-Motor-Air-Cooled-Engraver-Spindle-ER11-CNC-Router-/112383824639?hash=item1a2a9912ff:g:0KkAAOSwRUhY~xDn)

#### 4.1.2. Diseño de los Ejes X e Y

Motores: los motores encargados de mover los Ejes X, Y e Z, para realizar esta operación existen varias alternativas, y los criterios para la selección fueron:

Primero: los métodos más adecuados son 3: Un servo motor, un motor paso a paso con realimentación o un motor maso a paso sin realimentación (Hassan 2003).

Segundo: veremos la diferencia entre un servo motor y un motor paso a paso.

Tabla 08. Consideraciones para elegir un motor paso a paso

| <b>Característica</b> | <b>Servo Motor</b>  | <b>Motor Paso a Paso sin realimentación</b>   |
|-----------------------|---|---|
| <b>Torque</b>         | Los servomotores tienen un bajo torque a bajas velocidades, pero tienen un buen torque a altas velocidades.                             | Los motores paso a paso tienen un buen torque a bajas velocidades, pero en altas velocidades pierden pasos.                           |
| <b>Costo</b>          | Los servos motores son tres veces más costosos que los motores paso a paso puesto que necesitan un sistema adicional de realimentación. | Los motores paso a paso al no tener sistema de realimentación son más económicas pero no son capaces reconocer la pérdida de un paso. |
| <b>Aplicación</b>     | Los servo motores son usados en sistemas de lazo cerrado  | Los motores paso a paso pueden ser usados en sistemas a lazo cerrado como también en lazo abierto.                                    |

Fuente: Guajardo, G. (2012). Stepper vs. Servo. Recuperado de [www.bimba.com/Global/Homepage-Spotlights/BIM-1154%20Stepper%20Whitepaper\\_FINAL.pdf](http://www.bimba.com/Global/Homepage-Spotlights/BIM-1154%20Stepper%20Whitepaper_FINAL.pdf)

Entonces según los criterios ya vistos optamos por un motor Paso a Paso por su bajo costo, poco mantenimiento y por ser de alto torque y precisión en bajas revoluciones, a continuación se muestra las características de los motores utilizados.

Tabla 09: Motor seleccionado para eje Z

| Característica             | Valor      |
|----------------------------|------------|
| <b>Potencia</b>            | 40W        |
| <b>Torque</b>              | 13 Kg/cm   |
| <b>Rated Current/Phase</b> | 2.5A       |
| <b>Phase resistance</b>    | 1.1 Ohm    |
| <b>Costo</b>               | USD. 32.94 |

Fuente: Yuntat (2017). Nema 23 Stepper Motor [Tabla]. Recuperado de [www.ebay.com/itm/CNC-Machine-NEMA23-Step-Motor-13kg-cm-Double-shaft-stepper-with-1-5m-Cable-/391788632738?hash=item5b386c1aa2:m:m9NmThG7BaOLuVeAJfnK0AQ](http://www.ebay.com/itm/CNC-Machine-NEMA23-Step-Motor-13kg-cm-Double-shaft-stepper-with-1-5m-Cable-/391788632738?hash=item5b386c1aa2:m:m9NmThG7BaOLuVeAJfnK0AQ)

#### 4.1.3. Selección del sistema de transmisión

Para la transmisión del movimiento de los motores a los ejes de la maquina analizaremos 3 posibilidades, Transmisión por tornillo de bolas, Transmisión por piños y cremallera, transmisión por correa de precisión.

En nuestro diseño se utilizó un sistema de transmisión por correa puesto que al ser una maquina relativamente pequeña y con el objetivo de fresar madera, no se tendrá una gran tensión en los ejes, son fáciles de reemplazar y tiene un bajo costo.

#### 4.2. Algoritmo de control.

Se diseñó un algoritmo de control para automatizar la máquina donde, como un primer paso se carga el archivo de código g, que se genera de la siguiente manera:

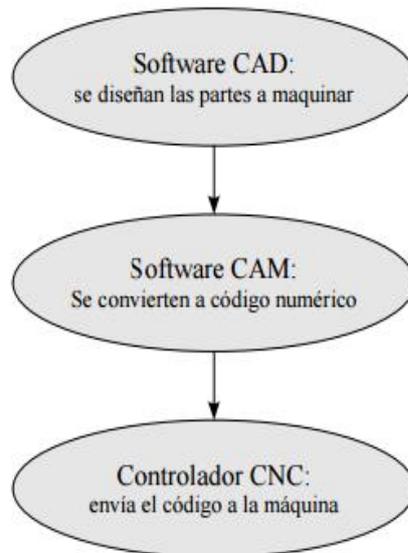


Figura 23. Proceso de diseño CAD-CAM-CNC

Fuente: Rojas, O. Salas, J. (2014), Producción automatizada de sistemas [Figura].  
Elaboración Propia.

Para la creación de un código g, primeramente pasa por un software CAD como pueden ser: Autocad, 3D max, Solid work, etc, luego se procesa el modelo en un software CAM como pueden ser: ArtCam, CamBam, Rhino, etc... Y luego se obtiene el código G que pasa al controlador de la máquina CNC.

Una vez creado el archivo de código G, se procede al maquinado que será controlado con el siguiente algoritmo de automatización:

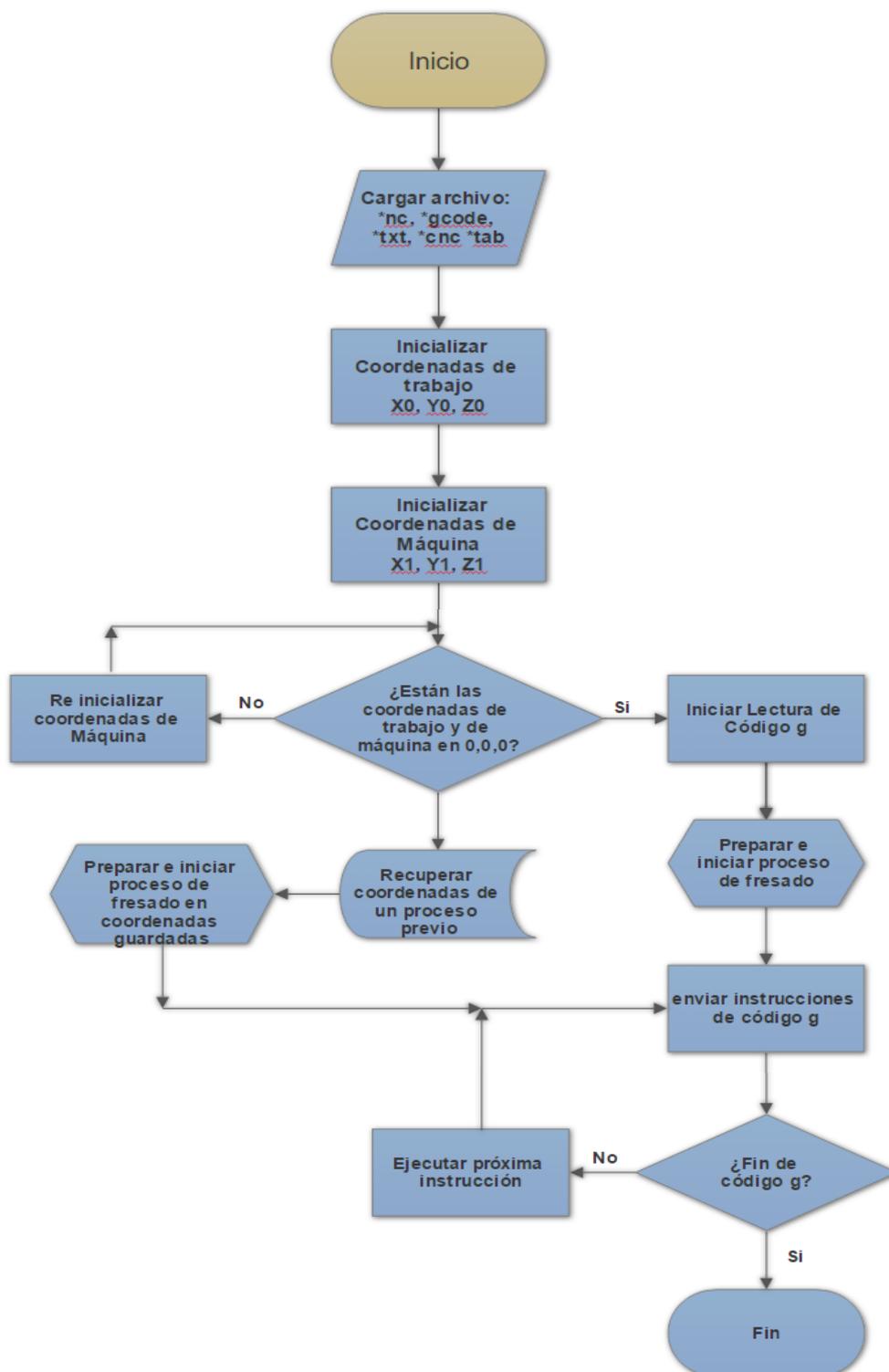


Figura 24 Algoritmo de control máquina CNC fresadora  
Elaboración Propia

### 4.3. Diseño de la Máquina

Para la implementación de la máquina CNC, los diseños se hicieron en varias etapas, primeramente se diseñó la estructura, es en la estructura donde van montados todos los componentes necesarios de la máquina, como por ejemplo: Motores, finales de carrera, fuente de alimentación, etc.

Como segundo paso se analizó la potencia requerida de los motores paso a paso, y luego se diseñó una placa de control, luego como tercer paso se diseñó un software y placa de control de un sistema de optimización para la limpieza de material sobrante.

Las dimensiones de la maquina son de: 65 x 65cm, con una altura de 60cm, y el área de trabajo es de 45x45cm con una altura de 15cm

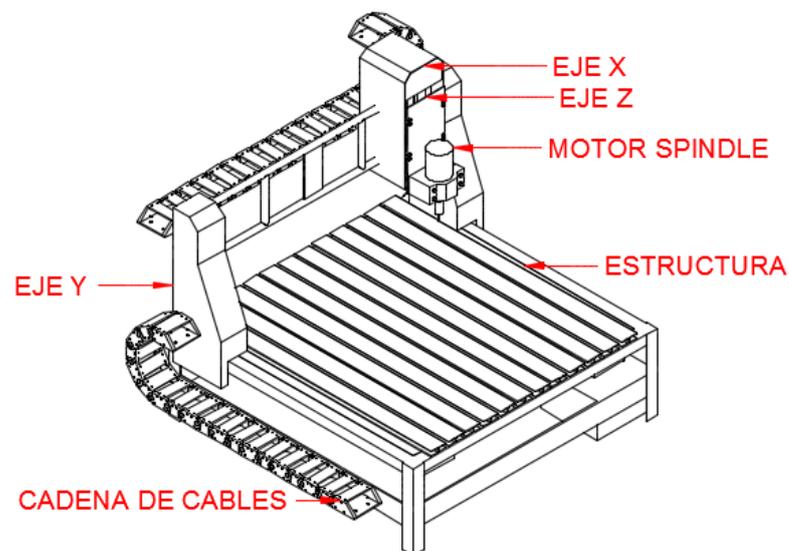


Figura 25. Diseño de la máquina CNC en vista general.  
Fuente: [Diseño 3D en Autocad Student]. Elaboración Propia.

### Diseño de la estructura

La estructura es una parte fundamental de una máquina, puesto que afecta directamente a la estática y rigidez dinámica de estas, para favorecer este propósito se diseñó una máquina de cabezal móvil, por ser el más apropiado para el montaje, desmontaje y fresado de madera.

Las dimensiones aproximadas de la estructura es de: 65 x 65cm, con una altura de 20cm.

Para el sistema de sujeción se pusieron aluminios en forma H, con una separación de 5mm uno del otro.

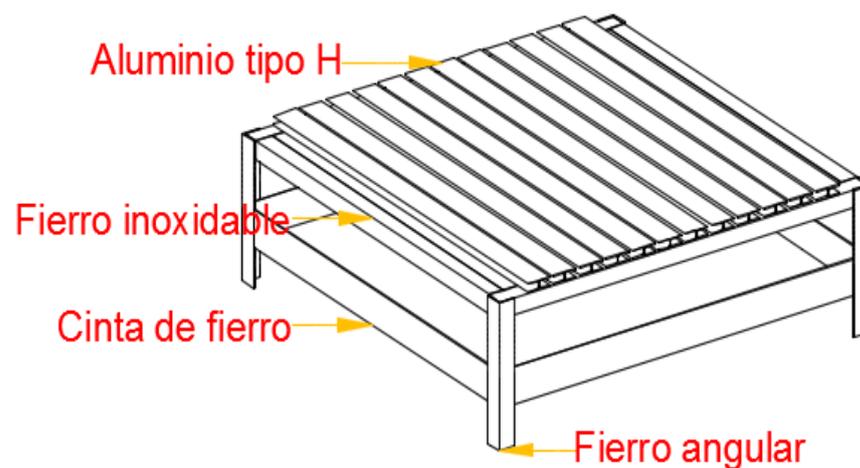


Figura 26. Diseño de la mesa

Fuente: [Diseño 3D en Autocad Student]. Elaboración Propia.

#### 4.3.1. Diseño del Eje X

En el Eje X se hizo un sistema robusto y ajustable, para que así ante el desgaste de las varillas de acero se pueda hacer un nuevo ajuste, también cuenta con 08 rodamientos de 1.5cm de diámetro anclados a un fierro angular de 2.5cm x 10cm de largo.

En la parte superior e inferior se puso 02 planchas de fierro de 3mm de grosor, estas planchas se encargan de controlar toda la presión realizada por los 04 pernos de ajuste.

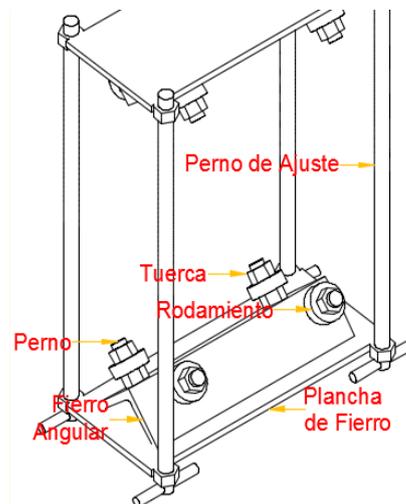


Figura 27. Diseño del eje X

Fuente: [Diseño 3D en Autocad Student]. Elaboración Propia.

#### 4.3.2. Diseño del Eje Y

En el eje Y se realizó un sistema de desplazamiento compuesto por 03 piezas unidas por soldadura y un par de brazos que soportan 02 motores que actúan en el eje X, también cuenta con una estructura de varillas de acero.

Para una mayor robustez en la parte posterior se utilizó una varilla de fierro en forma T.

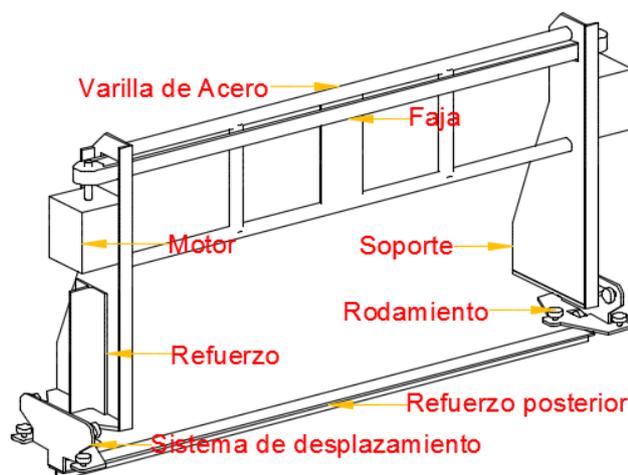


Figura 28. Diseño del eje Y  
Fuente: [Diseño 3D en Autocad Student]. Elaboración Propia.

#### 4.3.3. Diseño del Eje Z

Para el eje Z se diseñó una pieza de plástico hecha con una impresora 3D, el objetivo de esta pieza de plástico es contener 06 rodamientos de 1.5cm de diámetro con la finalidad de hacer un desplazamiento en el eje Z, esta pieza fue fundamental para ahorrar espacio y aumentar robustez.

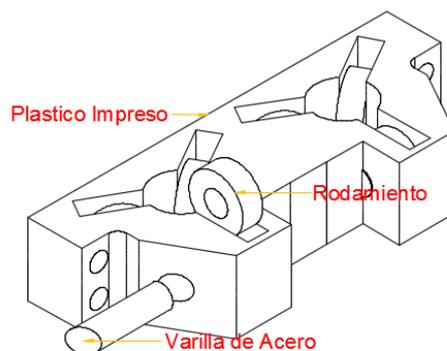


Figura 29. Impresión del plástico  
Fuente: [Diseño 3D en Autocad Student]. Elaboración Propia.

Para este eje se utilizó un motor paso a paso de mayor potencia debido al torque necesario para subir el peso del Motor Spindle.

Para la sujeción de las 02 varillas de acero se hizo una pieza de plástico impresa para la parte superior y 02 bujes soldados en la parte inferior, esto con el objetivo de una fácil extracción de las varillas de acero para un mantenimiento o reemplazo de estas.

Se utilizaron planchas de fierro de 3mm de grosor para hacer la estructura de este eje, uno en la parte del motor que va unido al eje X mediante soldadura, y el otro una plancha que se desliza en el eje Z, que además es donde se ubica el motor Spindle.

El sistema de transmisión de potencia del motor a desplazamiento en el eje Z es una faja de 25cm de largo por 1cm de grosor.

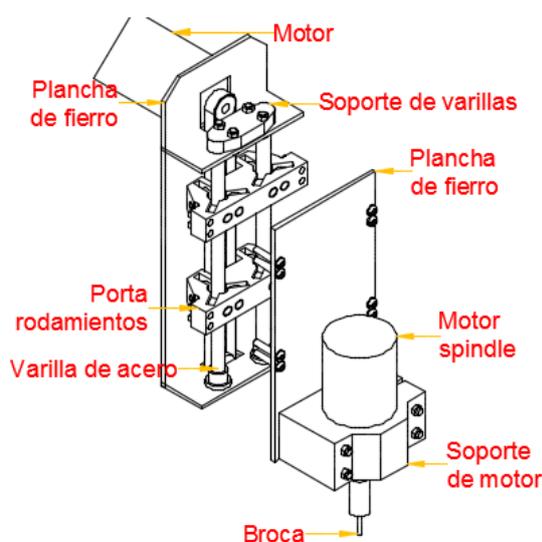


Figura 30. Diseño del eje Z

Fuente: [Diseño 3D en Autocad Student]. Elaboración Propia.

#### 4.3.4. Diseño de la tarjeta de control

La tarjeta de control que sirve de comunicación entre la computadora y la máquina consta de 2 partes, la primera es el que recibe los datos directamente de la computadora para luego mandar estos datos a una segunda parte de potencia que controla a los motores paso a paso.

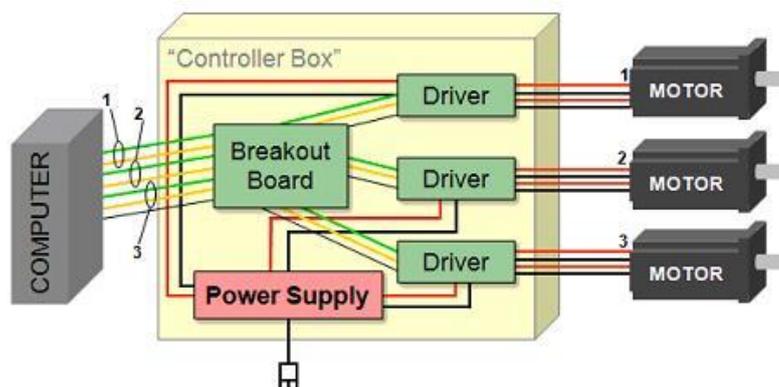


Figura 31. Forma de conexión computadora - driver – motor  
Fuente: Probotix (2017). CNC Control Systems [Figura]. Recuperado de [www.probotix.com/diagrams/3-axis\\_ProboStep\\_wiring\\_dia.jpg](http://www.probotix.com/diagrams/3-axis_ProboStep_wiring_dia.jpg)

Para controlar los motores paso a paso se utilizó el Circuito Integrado TB6560, este integrado hace la función de un puente H doble, fue diseñado y es fabricado por TOSHIBA especialmente para motores paso a paso, nos ofrece los siguientes beneficios: Soporta una corriente máxima de 3.5Amp encapsulando Mosfets, diodos y demás componentes necesarios para realizar un puente H doble, al ser encapsulado ahorra espacio y facilita el diseño de la placa de control, corriente de salida variable, velocidad de control variable y es capaz de dividir cada paso del motor paso a paso incluso en 1 a 8, esto quiere decir que si nuestro motor en cada paso gira 1.8 grados, con este controlador será capaz de girar a 0.22 grados, aumentando la resolución de nuestros modelos.

**Circuito Integrado 6N137:** Se utilizó el Circuito Integrado 6N137, que es un opto acoplador, la función de este integrado es separar la parte de lógica de la computadora de la parte de potencia, que es el integrado TB6560, es indispensable el uso de este opto acoplador en los pines de Pasos y Dirección del integrado TB6560 debido a que estos son de alta frecuencia, entonces este integrado evita la pérdida de pulsos.

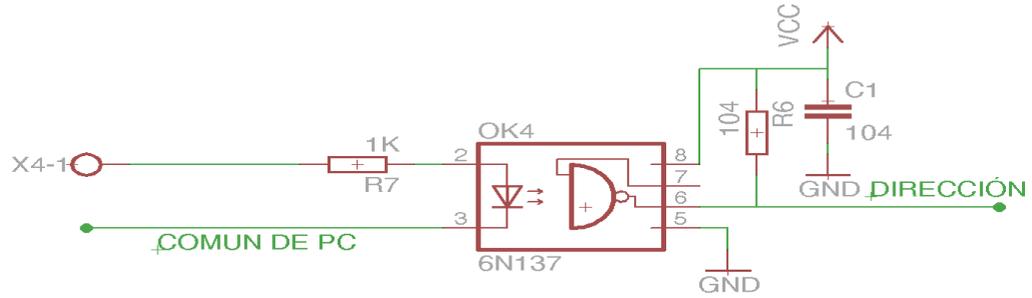


Figura 32. Integrado 6N137

Fuente: [Esquemático, Cadsoft, Eagle 6.5.0 versión de prueba]. Elaboración Propia.

En el diseño de esta etapa se consideró un capacitor de derivación o bypass de 0.1uF y una resistencia de arrastre de salida de 330ohm, según las recomendaciones del fabricante del integrado 6n137, (ver anexo 2).

Y en la parte de activación por luz se requiere una corriente de 5mA para un correcto encendido del diodo emisor de luz para lo cual se utilizó una resistencia (R8 – ver figura 32) de 1Kohm según la siguiente ecuación:

$$R = \frac{V}{I} \dots \dots \dots (Ec.1)$$

$$R = \frac{5V}{5mA}$$

$$R = 1Kohm$$

**Dónde:** *R* – Resistencia en ohm, *V* – Voltaje en volts, *I* – Corriente en amperios.

También se utilizó el opto acoplador 4n25 para el pin de Enable del integrado TB6560, se utilizó este opto acoplador debido a que el pin de Enable sirve para habilitar y deshabilitar el motor en tiempos prolongados, por eso se considera que esta función no requiere un controlador de alta frecuencia, además que este opto acoplador es mucho más comercial y económico.

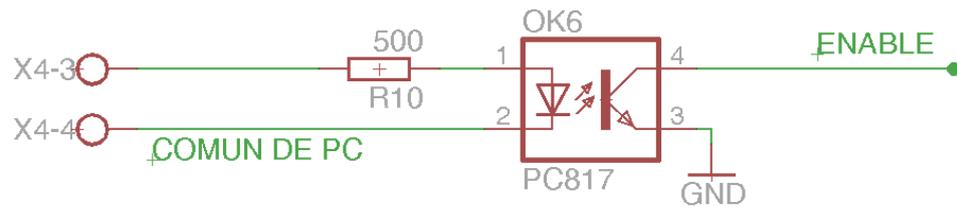


Figura 33. Integrado 4N25

Fuente: [Esquemático, Cadsoft, Eagle 6.5.0 versión de prueba]. Elaboración Propia.

En el diseño de esta etapa únicamente se requiere el diseño de activación por luz donde para un correcto encendido según el fabricante se requiere una corriente de hasta 60mA y para un correcto funcionamiento recomienda una corriente de alimentación de 10mA (ver anexo 1) entonces se calculó una resistencia R10 de 500ohm según la siguiente ecuación:

Reemplazando en la (Ec.1) se tiene:

$$R = \frac{5V}{10mA}$$

$$R = 500ohm$$

**Dónde:**  $R$  – Resistencia en ohm,  $V$  – Voltaje en volts,  $I$  – Corriente en amperios.

En el análisis del integrado TB6560, el pin (OSC) es el pin encargado del oscilador del integrado y según el fabricante en necesario poner un capacitor de 100 a 1000pF entre el pin y tierra o masa, entonces para aprovechar al máximo el integrado se utilizó un capacitor de 330pF que nos da una frecuencia de oscilación de 130Khz, esta frecuencia es adecuada para el control de los motores, además que según el fabricante es recomendable trabajar en dicha frecuencia, (Ver anexo 5).

Se utilizó capacitores de 1uF y 47uF de 50V en la alimentación general de 24V de los motores, esto para un mejor filtrado del voltaje de alimentación

general, también se utilizó un capacitor de 1uF para el filtrado de alimentación de la parte lógica del integrado, un capacitor de 10uF y una resistencia de 10Kohm en el pin de RESET, esta configuración es para garantizar que no ocurra un repentino reseteo del integrado, se utilizó diodos rectificadores de 3Amp esto según los requerimientos del fabricante, y como algo opcional se puso resistencias de 330ohm y LEDs en los pines de PROJECT y MO, esto como un indicativo visual del funcionamiento del integrado.

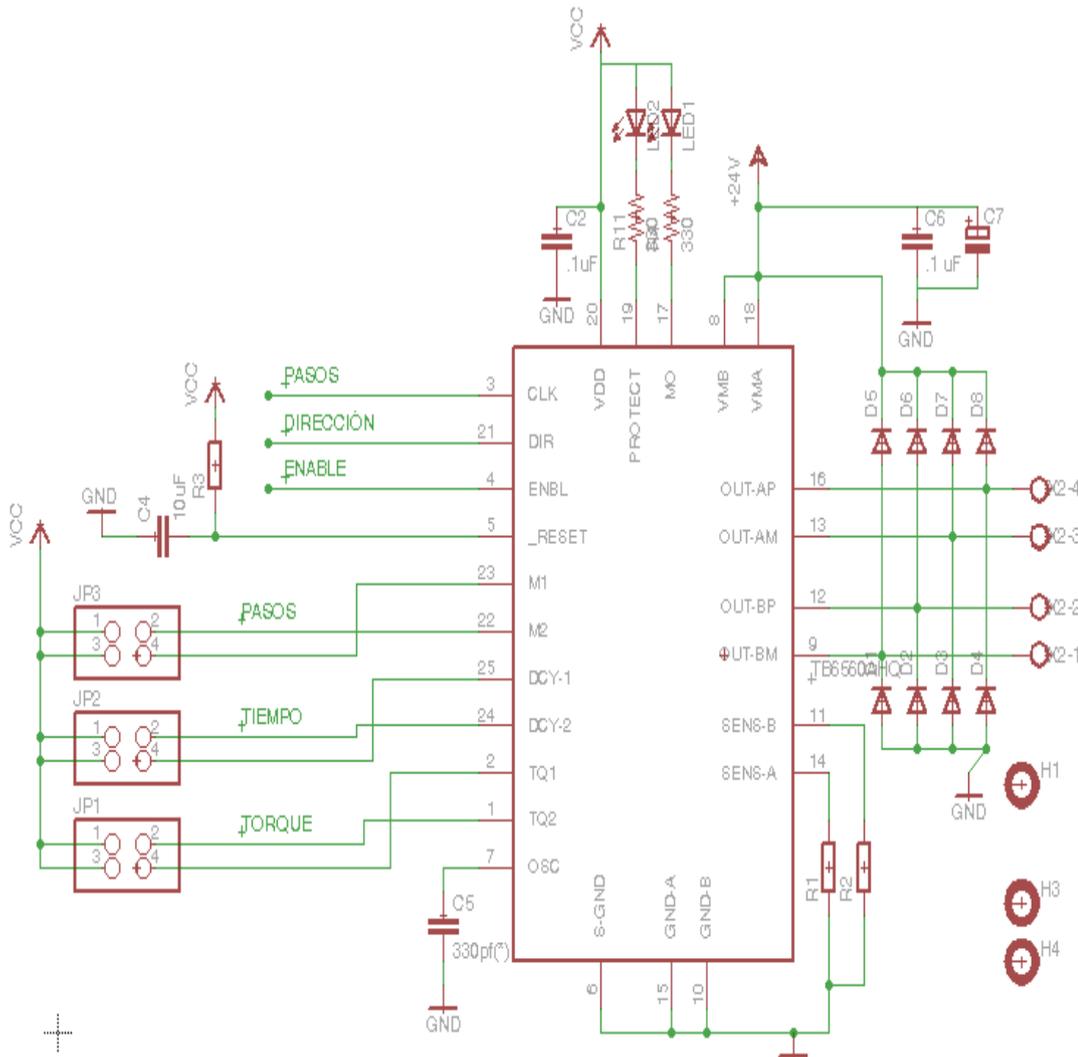


Figura 34. Diagrama completo del controlador  
 Fuente: [Esquemático, Cadsoft, Eagle 6.5.0 versión de prueba]. Elaboración Propia.

Los pines M1, M2 del integrado TB6560 (Ver figura 30), son para seleccionar el ángulo de cada paso del motor, los motores que usamos tienen un paso de  $1.8^\circ$  cada uno, a esto se le llama un paso completo, pero al hacer arreglos en los pines M1 y M2 se puede reducir a  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$  de paso, esto quiere decir que ahora cada paso será de  $0.9^\circ$ ,  $0.45^\circ$  y  $0.225$  respectivamente, (Ver figura 34).

Tabla 10: Pines de pasos

| INPUTS    |           | Mode                |
|-----------|-----------|---------------------|
| <b>M2</b> | <b>M1</b> | <b>(Excitacion)</b> |
| <b>L</b>  | <b>L</b>  | 2-phase             |
| <b>L</b>  | <b>H</b>  | 1-2-phase           |
| <b>H</b>  | <b>L</b>  | 4W1-2-phase         |
| <b>H</b>  | <b>H</b>  | 2W1-2-phase         |

Fuente: Toshiba (2014). Descripción del Funcionamiento [Tabla]. Recuperado de Toshiba TB6560AHQ BiCD Integrated Circuit Datasheet (p. 9).

Los pines DCY-1, DCY2 (Ver figura 34), son los pines de selección de velocidad, esta velocidad está relacionada con la frecuencia de oscilación de 130Khz, (Ver anexo 5).

Tabla 11: Estructura interna de un motor paso a paso

| <b>DCY2</b> | <b>DCY1</b> | <b>Current Decay Setting</b> |
|-------------|-------------|------------------------------|
| <b>L</b>    | <b>L</b>    | Normal 0%                    |
| <b>L</b>    | <b>H</b>    | 25% Decay                    |
| <b>H</b>    | <b>L</b>    | 50% Decay                    |
| <b>H</b>    | <b>H</b>    | 100% Decay                   |

Fuente: Toshiba (2014). Descripción del Funcionamiento [Tabla]. Recuperado de Toshiba TB6560AHQ BiCD Integrated Circuit Datasheet (p. 9).

Los pines de TQ1 y TQ2, son los pines para el control del torque, nuestros motores son de 2A y 2.5A, entonces para los motores de 2A el torque será en un 50% y para los de 2.5A un 75% de la capacidad máxima del integrado TB6560, que es 3.5A, (Ver figura 34).

Tabla 12: Pines de selección de corriente

| TQ2 | TQ1 | Current Ratio          |
|-----|-----|------------------------|
| L   | L   | 100%                   |
| L   | H   | 75%                    |
| H   | L   | 50%                    |
| H   | H   | 20% (excitación débil) |

Fuente: Toshiba (2014). Descripción del Funcionamiento [Tabla]. Recuperado de Toshiba TB6560AHQ BiCD Integrated Circuit Datasheet (p. 10).

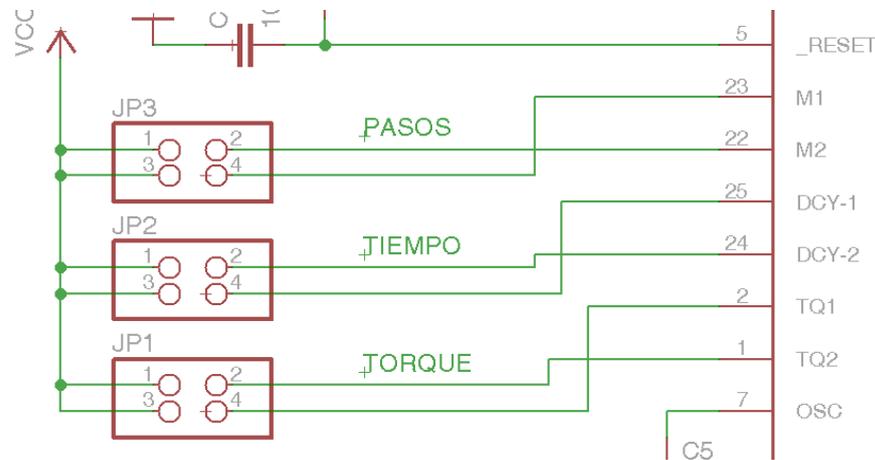


Figura 35. Pines de pasos, tiempos y torque

Fuente: Toshiba (2014). Diagrama de Bloques [Figura]. Recuperado de Toshiba TB6560AHQ BiCD Integrated Circuit Datasheet (p. 2).

Los pines SENS-A y SENS-B (Ver figura 34), son conectados a unas resistencias, estas resistencias controlan la referencia de la corriente máxima que conducirá el integrado TB6560, para calcular dicha corriente máxima el fabricante nos dice que el motor se detiene cuando el voltaje en la resistencia NFA(NFB) es 0.5V, entonces según la ley de Ohm.

$$I_{out}(A) = \frac{0.5(V)}{R_{NF}(Ohm)} \dots\dots\dots(Ec.2)$$

Para los motores de 2A: deseamos una corriente de salida de 2A entonces reemplazando en la (Ec.2).

$$2(A) = \frac{0.5(V)}{RNF(Ohm)}$$

$$RNF = \frac{0.5}{2}$$

$$RNF = 0.25\ Ohm$$

Para el motor de 2.5A: deseamos una corriente de salida de 2.5A entonces reemplazando en la (Ec.2).

$$2.5(A) = \frac{0.5(V)}{RNF(Ohm)}$$

$$RNF = \frac{0.5}{2.5}$$

$$RNF = 0.2\ Ohm$$

Dónde: RNF es el valor para las resistencias RNFA y RNFB, Iout es la corriente de salida para las bobinas de los motores.

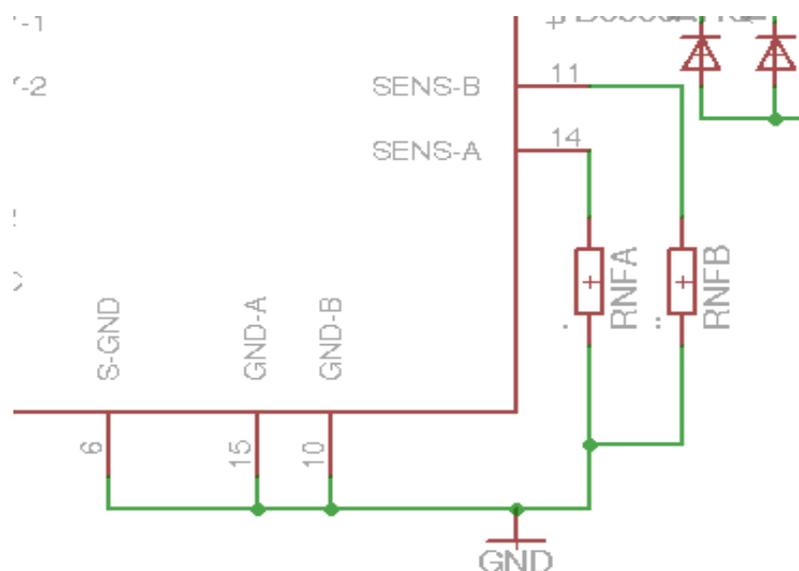


Figura 36. Pines de selección de corriente máxima  
 Fuente: Toshiba (2014). Diagrama de Bloques [Figura]. Recuperado de Toshiba TB6560AHQ BiCD Integrated Circuit Datasheet (p. 2).

#### 4.3.5. Diseño del sistema de limpieza

El sistema de limpieza es indispensable al procesar madera, en el trabajo en madera una maquina CNC produce una gran cantidad de residuos en forma de viruta y polvillo, haciendo que una maquina sin sistema de limpieza necesite mucho mantenimiento e incluso son perjudiciales para el sistema respiratorio del operario y personas que estén en el mismo ambiente.

El motor de un sistema de limpieza por lo general son motores monofásicos de fase partida y de alta potencia, aproximadamente entre 1000W a 2000W y utilizados en lavadoras, ventiladores, etc. (Pernia; 2011), entonces el primer objetivo de diseñar un controlador para este motor, consiste en reducir la caída de tensión que producen estos motores al encenderlos, esta caída de tensión puede ser entre 5 a 6 veces la potencia nominal del motor (Pernia; 2011), y el segundo objetivo de este controlador es hacer que el motor se encienda cada cierto tiempo, para así hacer una limpieza óptima con el beneficio de ahorrar energía.

Con estos objetivos se diseñó el controlador en dos partes: como primera parte se diseñó e implementó un controlador y como segunda parte se hizo un software ejecutable para hacer una modificación en el código G.

#### 4.3.6 Diseño de la placa de control

El objetivo de esta placa de control es eliminar la caída de tensión en el encendido del motor, el diseño de la placa de control que se realizó cuenta con varias etapas, se hizo el análisis matemático y luego la implementación, garantizando una placa de control robusto y con etapas de seguridad:

**El cruce por cero:** Como primera etapa tenemos el cruce por cero, que es indispensable para hacer el correcto disparo del Triac, el Triac se encarga de entregar la potencia al motor.

El voltaje de funcionamiento de la maquina en general es de 220V a 60Hz, entonces, para una mejor interpretación y análisis de señales en determinados nodos convertimos la frecuencia de 60Hz en tiempo con la siguiente formula.

$$T = \frac{1}{F} \dots\dots\dots(Ec.3)$$

**Dónde:** El tiempo es inversamente proporcional a la frecuencia, "T" es tiempo en segundos, "F" es frecuencia en Hertz.

Entonces reemplazando en la (Ec.3).

$$T = \left(\frac{1}{60Hz}\right)s$$

$$T = 0.01667s$$

$$T = 16.67ms$$

El voltaje alterno de 220V a 60Hz, tiene un periodo de oscilación de 16.67ms, entonces en una onda senoidal rectificadas cada cruce en cero estará dado cada semi ciclo, que es 8.335ms, entonces a partir de esto seleccionamos diodos y transistores que tengan la capacidad de soportar una oscilación de 60Hz ó 8.335ms.

Entonces el criterio utilizado para el cruce por cero es:

Un transformador con bobinas de cobre que reducen el voltaje de 220V AC a 12V AC con 1 Amperio en la corriente de salida, un encapsulado de diodos de silicio con una corriente máxima de 1 amperio,

Dos transistores BC548 en modo transistor inversor, el criterio utilizado en la selección de este transistor fue que entre las características de este transistor

según el fabricante es capaz de trabajar en una frecuencia máxima de 1KHz, además que este transistor es muy comercial y de bajo costo (Ver anexo 7).

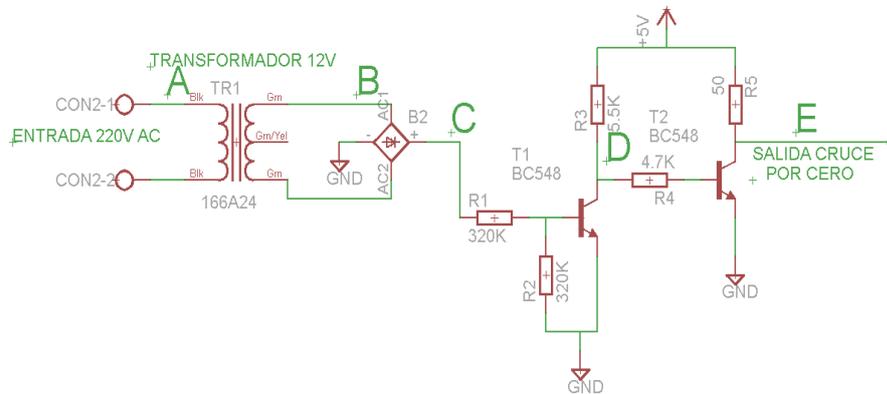


Figura 37. Cruce por cero con transistores  
 Fuente: [Esquemático, Cadsoft, Eagle 6.5.0 versión de prueba]. Elaboración Propia.

En la figura 37: en el punto “E – Salida cruce por cero” se conecta con la siguiente etapa que consta de un integrado “NE555 en el nodo - entrada cruce por cero” ver figura 39, y según las especificaciones del fabricante del integrado NE555 el voltaje de entrada del Pin número 2 - Trigger tendrá un correcto funcionamiento entre 5V a 15V, y una corriente máxima de 100mA (Ver anexo 6), entonces según estos requerimientos se procede al diseño del transistor “T2 – BC548”, el voltaje de alimentación utilizado en la lógica del controlador es 5V.

Las fórmulas utilizadas para transistores en modo inversor son:

$$I_c = I_b * \beta \dots\dots\dots(Ec.4)$$

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_c} \dots\dots\dots(Ec.5)$$

$$R_b = \frac{V_{ee} - V_{be}}{I_b} \dots\dots\dots(Ec.6)$$

**Dónde:** “Ic” es la corriente de colector, “Ib” es la corriente de la base y “β” es la ganancia del transistor.

Según las especificaciones del fabricante la ganancia “ $\beta$ ” es 110, y la corriente de colector máxima es de 500mA, entonces a partir de esto procedemos con el cálculo de las resistencias y de la corriente de base del segundo transistor.

Hallamos corriente de colector del segundo transistor reemplazando en la [Ec.1]

$$Rc = \frac{5V}{100mA}$$

$$Rc = 50ohm$$

Hallamos corriente de base del segundo transistor reemplazamos en la [Ec.3] y se obtiene:

$$Ib = 0.91mA$$

Hallamos resistencia de base del segundo transistor reemplazando en la [Ec.6]

$$Rb = \frac{5V - 0.7V}{0.91mA}$$

$$Rb = 4.7Kohm$$

La corriente requerida en la base del segundo transistor debe ser 0.91mA, entonces calculamos con las mismas fórmulas en el primer transistor “T1 – BC548”, ver figura 37.

Hallamos corriente de colector del primer transistor reemplazando en la (Ec.5):

$$Rc = \frac{5V}{0.91mA}$$

$$Rc = 5.5Kohm$$

Hallamos corriente de base del primer transistor reemplazando en la (Ec.4) y se obtiene:

$$I_b = 8.27\mu A$$

Hallamos resistencia de base del primer transistor reemplazando en la (Ec.6):

$$R_b = \frac{V_{ee} - V_{be}}{I_b}$$

$$R_b = \frac{6V - 0.7V}{8.27\mu A}$$

$$R_b = 640.87K\Omega$$

En la resistencia de base calculada de 640Kohm, se hace una división entre 2 debido al divisor de voltaje que se encuentra entre el primer transistor BC548 y el puente de diodos, entonces las resistencias a utilizarse serán e 320Kohm

Se hizo un análisis de la forma de onda empezando en el nodo A hasta el nodo E.

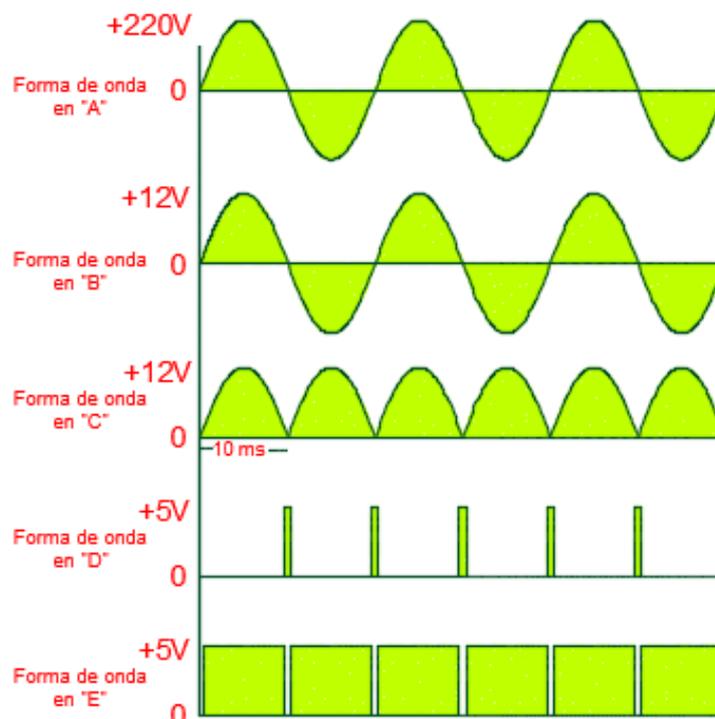


Figura 38. Señal en los puntos A, B, C, D Y E de la figura 37.  
 Fuente: [Forma de onda, Voltaje alterno domestico de 220V AC]. Elaboración Propia.

En el punto “A”, Ingresa un voltaje alterno de 220V, este voltaje es una señal senoidal con una amplitud de 220V y una frecuencia de 60Hz. En el punto “B”, Es un voltaje alterno de 12V, también es un voltaje senoidal con una amplitud de 12V y una frecuencia de 60Hz. En el punto “C”, el voltaje alterno de 12V se rectifica gracias al puente de diodos, entonces la señal será únicamente positiva con un paso en cero cada 10 ms. En el punto “D”, El primer transistor esta en modo transistor inversor, solo en el instante en que la onda rectificada llega a ser 0V, la señal en el punto “D” es 5V, en cualquier otro voltaje mayor que cero es 0V en el punto “D”. En el punto “E”, El segundo transistor BC548 está en modo transistor inversor, invirtiendo el tren de pulsos del punto “D” a un tren de pulsos casi continuo en 5V con caídas de 0V cada 10ms.

**Circuito Integrado Temporizador NE555:** el integrado está en modo monoestable multivibrador, es el encargado de tomar la señal de cruce por cero y regularla con una entrada de voltaje.

Para que el integrado NE555 logre una correcta sincronización con la red eléctrica de 220VAC es indispensable que el oscilador RC en diseño del integrado sea de la mitad del periodo total de 16.67ms, entonces se requiere una oscilación de 8.34ms en la oscilación del integrado, entonces a partir de esto hacemos el cálculo.

$$t = 1.1 * R * C \dots\dots\dots(Ec.7)$$

$$8.34ms = 1.1 * R * C$$

$$R * C = 7.58mHz$$

Para hallar los valores de  $R$  y  $C$  debemos dar un valor a uno de ellos, en este caso seleccionamos un capacitor de 1uF porque es un capacitor de bajo costo, entonces a partir de esto obtenemos el valor de  $R$ .

$$R = \frac{7.58mHz}{C}$$

$$R = \frac{7.58mHz}{1uF}$$

$$R = 7.58Kohm$$

Entonces el valor de la resistencia en el integrado NE555 es de 7.58Kohm, es por lo cual se utilizó un potenciómetro de 10Kohm, para poder graduarlo y llegar al valor deseado (Ver figura 39, la resistencia R7 de 10K de dicha figura 39 únicamente cumple la función de descarga).

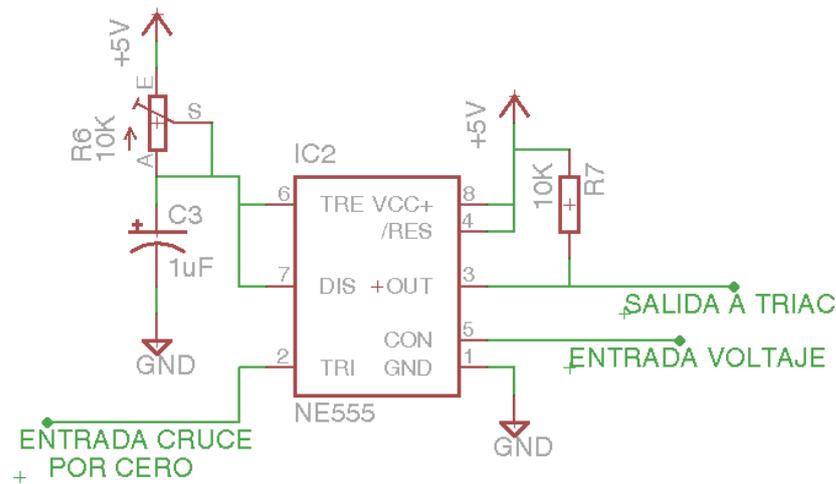


Figura 39. Integrado 555 monoestable multivibrador  
Fuente: [Esquemático, Cadsoft, Eagle 6.5.0 versión de prueba]. Elaboración Propia.

En el diseño de la figura 39 podemos un pin de ENTRADA DE CRUCE POR CERO que deriva del diseño del cruce por cero (Ver figura 37), el pin de salida a Triac es el encargado de mandar la señal modificada a la etapa de potencia (Ver figura 41), y el pin 5 es un pin de entrada de voltaje que en este caso es un voltaje descendente que tiene el objetivo de hacer el arranque lento del motor (Ver figura 40).

**Circuito Integrado LM358:** este integrado esta en modo seguidor de voltaje, la función de esta etapa es tener un voltaje descendente, en la entrada del integrado tenemos una configuración RC, y un divisor de voltaje.

Cuando el relé se encuentra apagado la resistencia el pin 3 del integrado recibe 5v debido a la resistencia de 1K.

Pero cuando se activa el relé, se desconecta la resistencia de 1K, entonces comienza el proceso de descarga gracias a la configuración resistencia y capacitor (RC).

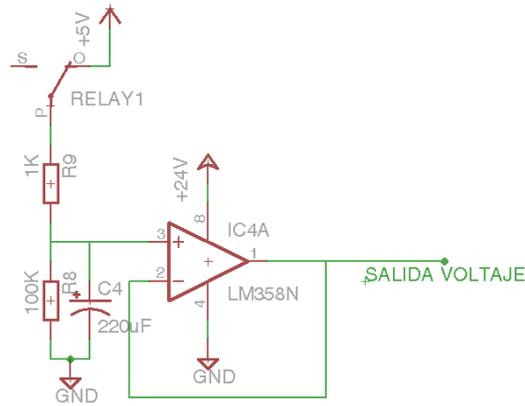


Figura 40. Generador de voltaje descendente

Fuente: [Esquemático, Cadsoft, Eagle 6.5.0 versión de prueba]. Elaboración Propia.

Para el análisis de este generador de voltaje descendente se consideró un tiempo necesario de descarga de 20 segundos obtenidos en pruebas de laboratorio, para que el motor encienda de tal manera que se elimine completamente el pico de tensión generados al encenderse, entonces a partir de este criterio calculamos los valores del Capacitor y Resistencia con la siguiente formula de carga y descarga de capacitores reemplazando en la (Ec.7):

$$20s = R * C$$

Para el cálculo del capacitor y resistencia seleccionamos un valor del capacitor de 220uF, se utilizó un capacitor de estas características para asegurar una descarga de 20s, entonces a partir de esto calculamos el valor de la resistencia.

$$20s = R * C$$

$$20s = R * 220\mu F$$

$$R = \frac{20s}{220\mu F}$$

$$R = \frac{20s}{220\mu F}$$

$$R = 90.09K$$

Se utilizó un 100K en vez de 90.09K debido a que el valor más comercial existente cercano a 90.09K es 100K.

**Etapas de potencia:** en esta etapa se utilizó un MOC3021 para separar la parte lógica de la parte de potencia, un Triac bt139, una configuración resistencia capacitor en serie como circuito SNUBBER, un fusible de 8A y un Relay.

Para el diseño del Triac se necesita calcular la resistencia R12 de la figura 41, se calcula esta resistencia según la ley de Ohm, de la siguiente manera.

$$R = \frac{V_{TM} - V_{GT}}{I_{GT}} \dots \dots \dots (Ec. 8)$$

Dónde:

*R:* Resistor de protección contra un exceso de corriente, conectada en serie a la terminal de compuerta (G) del TRIAC BT139. Se expresa en Ohms.

*V<sub>TM</sub>:* (Peak On-State Voltage) Voltaje necesario en las terminales del Foto-TRIAC del MOC3021, para que éste conduzca (se dispare) la corriente eléctrica.

*V<sub>GT</sub>:* (Gate Trigger Voltage) Voltaje necesario en la terminal de compuerta (G) del TRIAC BT139, para que éste último, permita la conducción de la corriente eléctrica.

*I<sub>GT</sub>:* (Gate Trigger Current) Corriente necesaria aplicada a la terminal de compuerta (G) del TRIAC BT139, para que éste último, permita la conducción de la corriente eléctrica.

Según la hoja de datos del MOC3021 tenemos un valor de  $V_{TM} = 1.8V$  (Ver anexo 4), y según el fabricante del Triac 139 el valor de  $V_{GT} = 0.7V$ ,  $I_{GT} = 5mA$  (Ver anexo 3), entonces reemplazando en la [Ec.8]:

$$R = \frac{1.8V - 0.7V}{5mA}$$

$$R = \frac{1.8V - 0.7V}{5mA}$$

$$R = 220 \text{ Ohm}$$

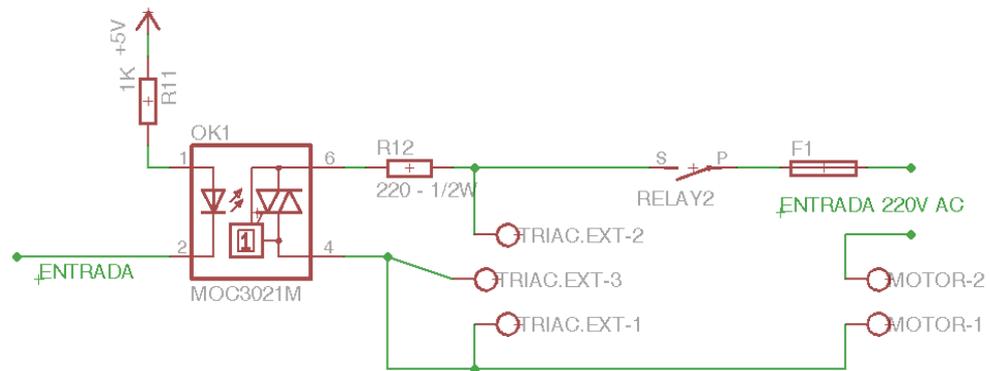


Figura 41. Etapa de potencia

Fuente: [Esquemático, Cadsoft, Eagle 6.5.0 versión de prueba]. Elaboración Propia.

**Circuito de protección**, esta etapa se encarga de hacer un encendido retardado, sirve como protección para garantizar la carga del capacitor del integrado LM358 (Ver figura 38), además de mantener desactivado el relé que activa al motor.

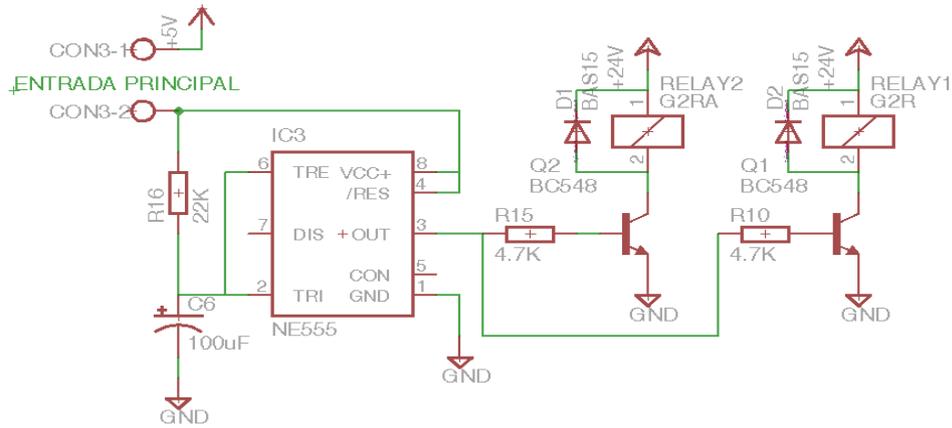


Figura 42. Encendido retardado con integrado 555

Fuente: [Esquemático, Cadsoft, Eagle 6.5.0 versión de prueba]. Elaboración Propia.

Esta etapa se activa haciendo un corto circuito en los dos terminales de ENTRADA PRINCIPAL (Ver figura 42), que se diseñó de esta forma debido a que será activado por un Relay externo que se encuentra en la placa del controlador, todo esto para activar dos Relays de las figuras 40 y 41.

Para el análisis del tiempo de retardo se toma un tiempo de protección de 2s para así garantizar, la carga del capacitor de la figura 40, entonces reemplazamos en la (Ec.7):

$$2s = R * C$$

Para el cálculo del capacitor y resistencia seleccionamos un valor del capacitor de 100uF, se utilizó un capacitor de estas características para asegurar una descarga de 2s, entonces a partir de esto calculamos el valor de la resistencia en la (Ec.7):

$$2s = R * 100\mu F$$

$$R = \frac{2s}{100\mu F}$$

$$R = \frac{2s}{100\mu F}$$

$$R = 20Kohm$$

Entonces seleccionamos un valor comercial de 22Kohm.

Para la activación de los Relays de la figura 42 se utilizó nuevamente transistores BC548, según el fabricante del Relay es necesario una corriente de 100mA para su correcto funcionamiento, entonces a partir de esto calculamos el valor de la resistencia de excitación:

Calculamos la corriente de base reemplazando en la (Ec.4):

$$Ic = Ib * \beta$$

$$Ib = \frac{100mA}{110}$$

$$Ib = 0.91mA$$

Entonces calculamos la resistencia de base reemplazando en la (Ec.6):

$$Rb = \frac{Vee - Vbe}{Ib}$$

$$Rb = \frac{5V - 0.7V}{0.91mA}$$

$$Rb = 4.73Kohm$$

Entonces utilizaremos una resistencia de base de 4.7K en los transistores de excitación de los Relays de la figura 40, además utilizamos un par de diodos rectificadores que cumplen la función de eliminar corrientes inversas.

**Regulador de voltaje**, esta etapa consta de un integrado LM7805, que es un regulador de voltaje de 5V, esto es necesario debido a que los integrados NE555 y opto acoplador funcionarán con 5V.

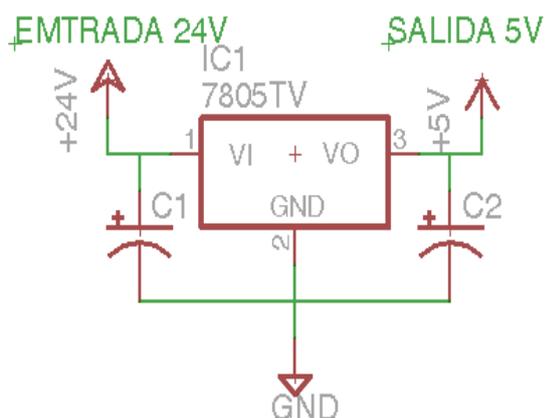


Figura 43. Regulador de voltaje

Fuente: [Esquemático, Cadsoft, Eagle 6.5.0 versión de prueba]. Elaboración Propia.

#### 4.3.7. Diseño del software para limpieza

Para el software de limpieza se diseñó un programa en Matlab, el objetivo de este programa es modificar un código G, e introducir líneas de código que le indiquen al motor Spindle encenderse y apagarse en determinadas capas o tiempos durante el fresado de madera.

Figura 44. Interfaz del software desarrollado

Fuente: [Diseño de programa en Matlab 2012, Versión de Prueba]. Elaboración Propia.

**Tipo de trayectoria:** las trayectorias más usadas en el fresado de madera en tres dimensiones es el “desbaste”, “limpieza de áreas” y el relieve 3D, entonces en nuestro programa es necesario seleccionar que tipo de trayectoria se trabajará.

**Tamaño del área:** para lograr que el programa diseñado reconozca las dimensiones del material a trabajarse es necesario introducir las medidas, tanto la “base”, “altura” y separación que se desee avanzar en cada vuelta “S”, todas estas medidas serán introducidas en milímetros.

**Cargar código G:** Es un botón que al ser presionado nos mandará a otra pestaña que nos llevará a un buscador donde debemos buscar nuestro código G previamente generado, una vez cargado el código G inmediatamente se genera el nuevo código G, mostrando el progreso en el rectángulo de color negro, el nuevo código G se encontrará en el mismo directorio donde se encuentra el código G original con un nombre adicional.

#### 4.3.8. Diseño del programa

Este programa está diseñado mediante funciones (Ver anexo 8), unas de las principales funciones son:

**Una primera función:** Para generar el panel o recuadro, aquí es donde mediante código se genera las dimensiones del panel, el color, la ubicación de los textos y figuras.

**Una segunda función:** Es de mapeo, esto sirve para mapear y ubicar el punto inicial durante el fresado.

**Una tercera función:** Se encarga de generar el código G modificado, es aquí donde se introduce un código en determinadas capas o niveles, el tiempo de finalización de este proceso depende del tamaño del código G y de la capacidad del procesador de la computadora.

**Una cuarta función:** Esta función se encarga de mostrar el progreso o avance de la modificación del código G, que muestra en una barra de color negro y esta enlazada a la función que genera el código G.

#### 4.3.9. Diseño de la cadena porta cables.

El diseño de una cadena porta cables es fundamental para evitar que los cables puedan ingresar a los rieles y causar un atasco.

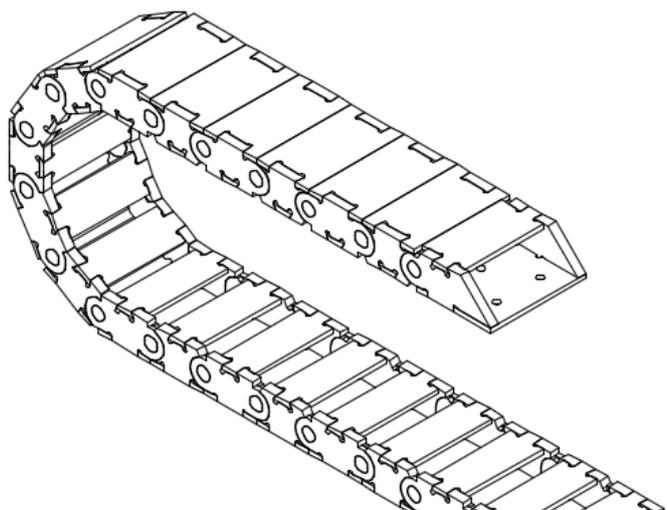


Figura 45. Cadena porta cables  
Fuente: [Diseño 3D en Autocad Student]. Elaboración Propia.

El material utilizado es PBC en planchas de 1/4 de pulgada para los laterales, y 1/8 de pulgada para la parte superior e inferior, todas las piezas fueron diseñadas en AutoCAD en su versión de prueba.

#### 4.4. Prueba y comparación de la máquina.

Se realizó un tallado en la máquina CNC de madera diseñada, con las siguientes características:

Tabla 13: Comparación de un tallado hecho por la máquina.

| <b>Característica</b>    | <b>Tallado realizado en la máquina diseñada.</b> | <b>Tallado realizado por un artesano.</b> |
|--------------------------|--|---|
| <b>Tipo de madera</b>    | Cedro  | Cedro                                     |
| <b>Dimensiones</b>       | 30x35cm con 5cm de grosor.                       | 35x40cm con 4cm de grosor.                |
| <b>Tiempo de tallado</b> | 6 Horas.   | 48 Horas.                                 |
| <b>Acabado</b>           | Fino.  | Regular.                                  |
| <b>Costo de insumos</b>  | 80 soles   | 210 soles                                 |

Fuente: [Prueba experimental y Comparación]. Elaboración propia.

**Ventajas:** En comparación con un tallador artesanal y la Máquina CNC, se obtiene un menor tiempo de tallado, un mejor acabado, un menor costo de insumos.

## CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Se ha logrado diseñar una Máquina de Control Numérico Computarizado compacto, realizado con diseños en AutoCAD para la estructura, diseño de placas de control, estos diseños incluyen plano de la estructura de los ejes, placas de control y piezas de plástico realizados con una impresora 3D.

**SEGUNDO:** Se ha diseñado un algoritmo de control que permite la automatización de la máquina, en este algoritmo se utilizó las condiciones y movimientos básicos de una máquina CNC fresadora en tres dimensiones.

**TERCERO:** El diseño de un controlador diseñado en Eagle Cadsoft es una muy buena alternativa para el control de motores paso a paso, por que soportan una corriente máxima de hasta 3.5A, además con este controlador es posible aumentar la resolución del motor paso a paso hasta en 1/8 de paso.

**CUARTO:** El sistema de limpieza reduce un consumo de energía, gracias al controlador que elimina el pico de tensión al ser encendido el motor, y el software desarrollado en Matlab que modifica el código G del modelo indicando al motor de limpieza activarse solo en determinadas capas.

**QUINTO:** Se ha observado que la Máquina de Control Numérico Computarizado, puede realizar un tallado de 30x35cm en 06 horas a comparación de un artesano que lo realiza en 48 horas, por lo que la Máquina es de gran ayuda.

## SUGERENCIAS

**PRIMERO:** Tomar en consideración las especificaciones técnicas de los componentes a usarse.

**SEGUNDO:** Para garantizar un continuo funcionamiento de los motores paso a paso usar controladores de mayor potencia a la requerida por el motor, esto evitará el calentamiento del controlador.

**TERCERO:** Usar disipadores en los motores paso a paso, cuando se utiliza un motor paso a paso a su máxima potencia estos se sobre calientan, un buen disipador es un ventilador del tipo brushless, esto logra controlar este sobrecalentamiento y no consumen mucha corriente.

**CUARTO:** Tener cuidado con la corriente alterna de 220v que se conectan al motor y a las fuentes de alimentación.

**QUINTO:** Utilizar cable de buena calidad entre el controlador y la computadora, un cable apantallado es una muy buena opción.

**Sexto:** Utilizar una conexión de puesta a tierra, como medida de protección.

Desarrollar software de gestión propio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Artsoft I. S. (2005), The Nurture, Care and Feeding of the Mach3 Controlled CNC Mill – Mach3 release 1.84.
- Bill Earl(2015), All About Stepper Motors.
- Casillas A.L. Compilador C CCS y Simulador PROTEUS, Marcombo. Máquinas – Editorial: Artes gráficas ENCO – 3 Edición. García Eduardo.
- Castiglione, N. (2011). Transmisión de los Movimientos a los Ejes de los Routers.
- Conti Francisco. Motores paso a paso.
- Echeverria L., Salazar J. C., Gortaire A. V. (2010), Sangolqui, Ecuador. Diseño y simulación de una mini fresadora didáctica controlada por PC. Escuela Politécnica del Ejército.
- James A. H. (2004), Machine Shop Trade Secrets.
- Jimenez, R. (2014). Control Numérico por Computadora (CNC).
- Katsuhiko Ogata (2007), Ingeniería de Control Moderna – 3ra edición.
- Microcontroller, 3ra edicion, McGraw-Hill Professional. Aaron D. Deutschman, Diseño de Máquinas Teoría y Práctica. Joseph Edward, Diseño en Ingeniería Mecánica.
- Morris M. (1994), Arquitectura de Computadoras – 3ra Edición.
- Oppenheim, A., Schafer, R. (2009), Tratamiento de Señales en Tiempo Discreto – 3ra Edición.
- Pernia M. A. (2011) San Cristóbal. Conceptos Básicos de Motores Monofásicos
- Rafael F. M. (1988), Como Programar un Control Numérico, Editorial: Marcombo

- Ruiz H. G. (2007) Diseño y Construcción De Un Control Numérico De Arquitectura Abierta. Salesiana, México: Universidad Politécnica.
- Robert L. M, (2006), Diseño de Elementos de Máquinas.
- Seong – Kyoon Kang, Dae – Hyuk Chung Ian Stroud , Theory and Design of CNC Systems.
- Vallejo, M. F. (2008), Motores de Corriente Alterna.
- Villalobos M. (2014), Motor Monofásico de Fase Partida.

ANEXOS

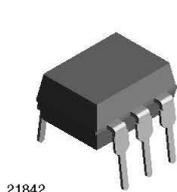
ANEXO 01: Hoja de datos 4n25.

4N25, 4N26, 4N27, 4N28

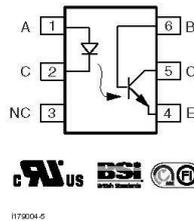
Vishay Semiconductors



Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V<sub>RMS</sub>
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO: EN 60950, EN 60065, EN 60335

DESCRIPTION

The 4N25 family is an industry standard single channel phototransistor coupler. This family includes the 4N25, 4N26, 4N27, 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

| ORDER INFORMATION |                   |
|-------------------|-------------------|
| PART              | REMARKS           |
| 4N25              | CTR > 20 %, DIP-6 |
| 4N26              | CTR > 20 %, DIP-6 |
| 4N27              | CTR > 10 %, DIP-6 |
| 4N28              | CTR > 10 %, DIP-6 |

| ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup> |                |                   |       |      |
|---|----------------|-------------------|-------|------|
| PARAMETER                               | TEST CONDITION | SYMBOL            | VALUE | UNIT |
| <b>INPUT</b>                            |                |                   |       |      |
| Reverse voltage                         |                | V <sub>R</sub>    | 5     | V    |
| Forward current                         |                | I <sub>F</sub>    | 60    | mA   |
| Surge current                           | t ≤ 10 μs      | I <sub>FSM</sub>  | 3     | A    |
| Power dissipation                       |                | P <sub>diss</sub> | 100   | mW   |
| <b>OUTPUT</b>                           |                |                   |       |      |
| Collector emitter breakdown voltage     |                | V <sub>CEO</sub>  | 70    | V    |
| Emitter base breakdown voltage          |                | V <sub>EBO</sub>  | 7     | V    |
| Collector current                       |                | I <sub>C</sub>    | 50    | mA   |
|   | t ≤ 1 ms       | I <sub>G</sub>    | 100   | mA   |
| Power dissipation                       |                | P <sub>diss</sub> | 150   | mW   |

www.vishay.com  
132

For technical questions, contact: [optocoupleranswers@vishay.com](mailto:optocoupleranswers@vishay.com)

Document Number: 83725  
Rev. 1.8, 07-Jan-10



**4N25, 4N26, 4N27, 4N28**

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors  
with Base Connection

| ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS <sup>(1)</sup>          |  |           |               |                  |
|--|--|-----------|---------------|------------------|
| PARAMETER  | TEST CONDITION   | SYMBOL    | VALUE         | UNIT             |
| <b>COUPLER</b>                                   |  |           |               |                  |
| Isolation test voltage                           |  | $V_{ISO}$ | 5000          | $V_{RMS}$        |
| Creepage distance                                |  |           | $\geq 7$      | mm               |
| Clearance distance                               |  |           | $\geq 7$      | mm               |
| Isolation thickness between emitter and detector |  |           | $\geq 0.4$    | mm               |
| Comparative tracking index                       | DIN IEC 112/VDE 0303, part 1   |           | 175           |                  |
| Isolation resistance                             | $V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$                    | $R_{IO}$  | $10^{12}$     | $\Omega$         |
|  | $V_{IO} = 500\text{ V}, T_{amb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$                   | $R_{IO}$  | $10^{11}$     | $\Omega$         |
| Storage temperature                              |  | $T_{stg}$ | - 55 to + 125 | $^\circ\text{C}$ |
| Operating temperature                            |  | $T_{amb}$ | - 55 to + 100 | $^\circ\text{C}$ |
| Junction temperature                             |  | $T_j$     | 125           | $^\circ\text{C}$ |
| Soldering temperature <sup>(2)</sup>             | max. 10 s clip soldering:<br>distance to seating plane<br>$\geq 1.5\text{ mm}$ | $T_{sld}$ | 260           | $^\circ\text{C}$ |

**Notes**

<sup>(1)</sup>  $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

<sup>(2)</sup> Refer to reflow profile for soldering conditions for surface mounted devices (SMD). Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (DIP).

| ELECTRICAL CHARACTERISTICS <sup>(1)</sup>          |  |      |                      |      |      |      |                  |
|--|--|------|----------------------|------|------|------|------------------|
| PARAMETER  | TEST CONDITION                             | PART | SYMBOL               | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT             |
| <b>INPUT</b>                                       |  |      |                      |      |      |      |                  |
| Forward voltage <sup>(2)</sup>                     | $I_F = 50\text{ mA}$                       |      | $V_F$                |      | 1.3  | 1.5  | V                |
| Reverse current <sup>(2)</sup>                     | $V_R = 3\text{ V}$                         |      | $I_R$                |      | 0.1  | 100  | $\mu\text{A}$    |
| Capacitance  | $V_R = 0\text{ V}$                         |      | $C_O$                |      | 25   |      | pF               |
| <b>OUTPUT</b>                                      |  |      |                      |      |      |      |                  |
| Collector base breakdown voltage <sup>(2)</sup>    | $I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$             |      | $BV_{CBO}$           | 70   |      |      | V                |
| Collector emitter breakdown voltage <sup>(2)</sup> | $I_C = 1\text{ mA}$                        |      | $BV_{CEO}$           | 30   |      |      | V                |
| Emitter collector breakdown voltage <sup>(2)</sup> | $I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$             |      | $BV_{ECO}$           | 7    |      |      | V                |
| $I_{CEO}(\text{dark})$ <sup>(2)</sup>              | $V_{CE} = 10\text{ V}$ , (base open)       | 4N25 |                      |      | 5    | 50   | nA               |
|  |  | 4N26 |                      |      | 5    | 50   | nA               |
|  |  | 4N27 |                      |      | 5    | 50   | nA               |
|  |  | 4N28 |                      |      | 10   | 100  | nA               |
| $I_{CBO}(\text{dark})$ <sup>(2)</sup>              | $V_{CB} = 10\text{ V}$ ,<br>(emitter open) |      |                      |      | 2    | 20   | nA               |
| Collector emitter capacitance                      | $V_{CE} = 0$                               |      | $C_{CE}$             |      | 6    |      | pF               |
| <b>COUPLER</b>                                     |  |      |                      |      |      |      |                  |
| Isolation test voltage <sup>(2)</sup>              | Peak, 60 Hz                                |      | $V_{IO}$             | 5000 |      |      | V                |
| Saturation voltage, collector emitter              | $I_{CE} = 2\text{ mA}, I_F = 50\text{ mA}$ |      | $V_{CE(\text{sat})}$ |      |      | 0.5  | V                |
| Resistance, input output <sup>(2)</sup>            | $V_{IO} = 500\text{ V}$                    |      | $R_{IO}$             | 100  |      |      | $\text{G}\Omega$ |
| Capacitance, input output                          | $f = 1\text{ MHz}$                         |      | $C_{IO}$             |      | 0.6  |      | pF               |

**Notes**

<sup>(1)</sup>  $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified.

Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

<sup>(2)</sup> JEDEC registered values are 2500 V, 1500 V, 1500 V, and 500 V for the 4N25, 4N26, 4N27, and 4N28 respectively.

**4N25, 4N26, 4N27, 4N28**



Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection

| CURRENT TRANSFER RATIO (1) |  |      |            |      |      |      |      |
|----------------------------|--|------|------------|------|------|------|------|
| PARAMETER                  | TEST CONDITION                             | PART | SYMBOL     | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT |
| DC current transfer ratio  | $V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}$ | 4N25 | $CTR_{DC}$ | 20   | 50   |      | %    |
|                            |  | 4N26 | $CTR_{DC}$ | 20   | 50   |      | %    |
|                            |  | 4N27 | $CTR_{DC}$ | 10   | 30   |      | %    |
|                            |  | 4N28 | $CTR_{DC}$ | 10   | 30   |      | %    |

**Note**

(1) Indicates JEDEC registered values.

| SWITCHING CHARACTERISTICS |   |            |      |      |      |               |  |
|---------------------------|---|------------|------|------|------|---------------|--|
| PARAMETER                 | TEST CONDITION  | SYMBOL     | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT          |  |
| Rise and fall times       | $V_{CE} = 10\text{ V}, I_F = 10\text{ mA}, R_L = 100\ \Omega$ | $t_r, t_f$ |      | 2    |      | $\mu\text{s}$ |  |

**TYPICAL CHARACTERISTICS**

$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

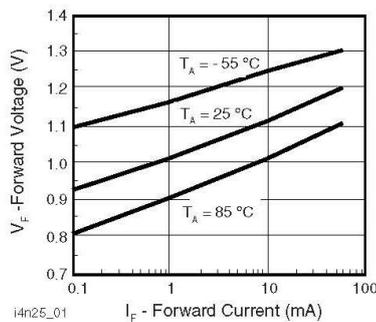


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

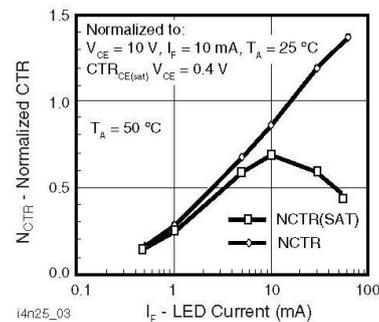


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

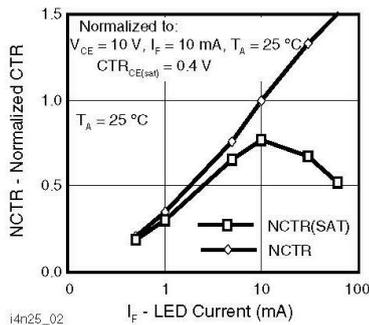


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

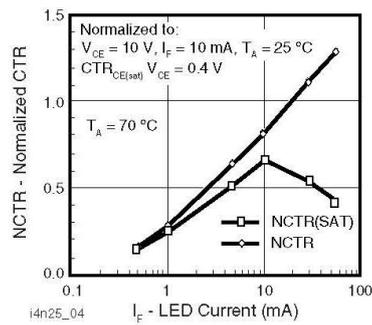


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current





**6N137, VO2601, VO2611, VO2630, VO2631, VO4661**

[www.vishay.com](http://www.vishay.com)

Vishay Semiconductors

| TRUTH TABLE (positive logic) |        |        |
|------------------------------|--------|--------|
| LED                          | ENABLE | OUTPUT |
| On                           | H      | L      |
| Off                          | H      | H      |
| On                           | L      | H      |
| Off                          | L      | H      |
| On                           | NC     | L      |
| Off                          | NC     | H      |

| ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T <sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified) |               |                   |                         |      |
|---|---------------|-------------------|-------------------------|------|
| PARAMETER   | CONDITIONS    | SYMBOL            | VALUE                   | UNIT |
| <b>INPUT</b>  |               |                   |                         |      |
| Average forward current (single channel)  |               | I <sub>F</sub>    | 20                      | mA   |
| Average forward current (per channel for dual channel)                          |               | I <sub>F</sub>    | 15                      | mA   |
| Reverse input voltage   |               | V <sub>R</sub>    | 5                       | V    |
| Enable input voltage  |               | V <sub>E</sub>    | V <sub>CC</sub> + 0.5 V | V    |
| Enable input current  |               | I <sub>E</sub>    | 5                       | mA   |
| Surge current   | t = 100 μs    | I <sub>FSM</sub>  | 200                     | mA   |
| Output power dissipation (single channel)                                       |               | P <sub>diss</sub> | 35                      | mW   |
| Output power dissipation (per channel for dual channel)                         |               | P <sub>diss</sub> | 25                      | mW   |
| <b>OUTPUT</b>   |               |                   |                         |      |
| Supply voltage  | 1 min maximum | V <sub>CC</sub>   | 7                       | V    |
| Output current  |               | I <sub>O</sub>    | 50                      | mA   |
| Output voltage  |               | V <sub>O</sub>    | 7                       | V    |
| Output power dissipation (single channel)                                       |               | P <sub>diss</sub> | 85                      | mW   |
| Output power dissipation (per channel for dual channel)                         |               | P <sub>diss</sub> | 60                      | mW   |
| <b>COUPLER</b>  |               |                   |                         |      |
| Storage temperature   |               | T <sub>stg</sub>  | -55 to +150             | °C   |
| Operating temperature   |               | T <sub>amb</sub>  | -40 to +100             | °C   |
| Lead solder temperature   | for 10 s      |                   | 260                     | °C   |
| Solder reflow temperature   |               |                   | 260                     | °C   |

**Note**

- Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.



6N137, VO2601, VO2611, VO2630, VO2631, VO4661

www.vishay.com

Vishay Semiconductors

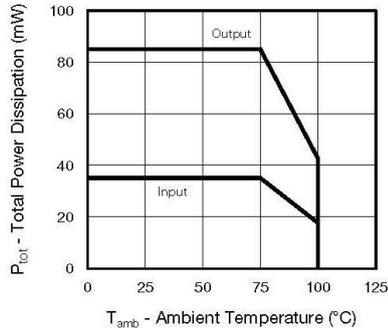


Fig. 1 - Total Power Dissipation vs. Ambient Temperature (single channel)

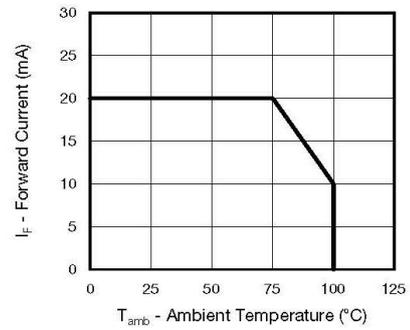


Fig. 3 - Forward Current vs. Ambient Temperature (single channel)

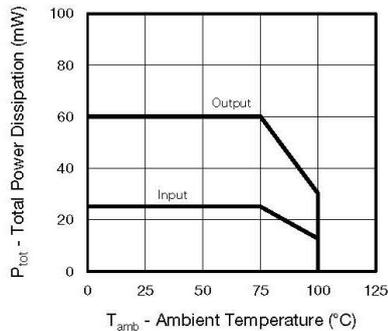


Fig. 2 - Total Power Dissipation vs. Ambient Temperature (dual channel)

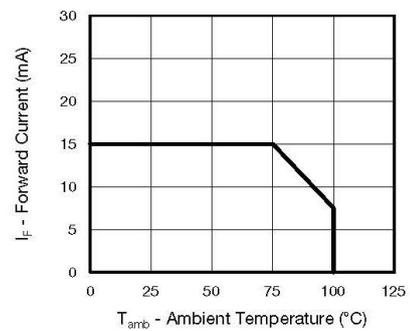


Fig. 4 - Forward Current vs. Ambient Temperature (dual channel)

| RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS |                       |                  |      |                 |      |
|----------------------------------|-----------------------|------------------|------|-----------------|------|
| PARAMETER                        | TEST CONDITION        | SYMBOL           | MIN. | MAX.            | UNIT |
| Operating temperature            |                       | T <sub>amb</sub> | -40  | 100             | °C   |
| Supply voltage                   |                       | V <sub>CC</sub>  | 4.5  | 5.5             | V    |
| Input current low level          |                       | I <sub>FL</sub>  | 0    | 250             | μA   |
| Input current high level         |                       | I <sub>FH</sub>  | 5    | 15              | mA   |
| Logic high enable voltage        |                       | V <sub>EH</sub>  | 2    | V <sub>CC</sub> | V    |
| Logic low enable voltage         |                       | V <sub>EL</sub>  | 0    | 0.8             | V    |
| Output pull up resistor          |                       | R <sub>L</sub>   | 330  | 4K              | Ω    |
| Fanout                           | R <sub>L</sub> = 1 kΩ | N                | -    | 5               | -    |

**ANEXO 03: Hoja de datos BT139.**

Philips Semiconductors

Product specification

**Triacs**

**BT139 series**

**GENERAL DESCRIPTION**

Glass passivated triacs in a plastic envelope, intended for use in applications requiring high bidirectional transient and blocking voltage capability and high thermal cycling performance. Typical applications include motor control, industrial and domestic lighting, heating and static switching.

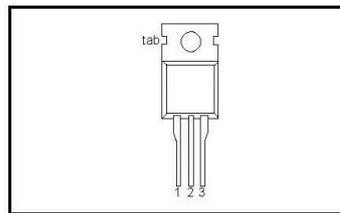
**QUICK REFERENCE DATA**

| SYMBOL       | PARAMETER                            | MAX.                | MAX.                | MAX.                | UNIT |
|--------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| $V_{DRM}$    | Repetitive peak off-state voltages   | 500<br>500F<br>500G | 600<br>600F<br>600G | 800<br>800F<br>800G | V    |
| $I_{T(RMS)}$ | RMS on-state current                 | 16                  | 16                  | 16                  | A    |
| $I_{TSM}$    | Non-repetitive peak on-state current | 140                 | 140                 | 140                 | A    |

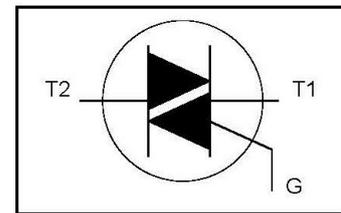
**PINNING - TO220AB**

| PIN | DESCRIPTION     |
|-----|-----------------|
| 1   | main terminal 1 |
| 2   | main terminal 2 |
| 3   | gate            |
| tab | main terminal 2 |

**PIN CONFIGURATION**



**SYMBOL**



**LIMITING VALUES**

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).

| SYMBOL       | PARAMETER  | CONDITIONS  | MIN. | MAX.                     |                          |             | UNIT             |
|--------------|--|---|------|--------------------------|--------------------------|-------------|------------------|
|              |  |   |      | -500<br>500 <sup>1</sup> | -600<br>600 <sup>1</sup> | -800<br>800 |                  |
| $V_{DRM}$    | Repetitive peak off-state voltages                           |   | -    |                          |                          |             | V                |
| $I_{T(RMS)}$ | RMS on-state current   | full sine wave; $T_{mb} \leq 99^\circ\text{C}$  | -    | 16                       |                          |             | A                |
| $I_{TSM}$    | Non-repetitive peak on-state current                         | full sine wave; $T_j = 25^\circ\text{C}$ prior to surge<br>$t = 20\text{ ms}$           | -    | 140                      |                          |             | A                |
|              |  | $t = 16.7\text{ ms}$  | -    | 150                      |                          |             | A                |
| $I^2t$       | $I^2t$ for fusing  | $t = 10\text{ ms}$  | -    | 98                       |                          |             | A <sup>2</sup> s |
| $di_T/dt$    | Repetitive rate of rise of on-state current after triggering | $I_{TM} = 20\text{ A}$ ; $I_G = 0.2\text{ A}$ ;<br>$di_G/dt = 0.2\text{ A}/\mu\text{s}$ |      |                          |                          |             |                  |
|              |  | T2+ G+  | -    | 50                       |                          |             | A/ $\mu\text{s}$ |
|              |  | T2+ G-  | -    | 50                       |                          |             | A/ $\mu\text{s}$ |
|              |  | T2- G-  | -    | 50                       |                          |             | A/ $\mu\text{s}$ |
|              |  | T2- G+  | -    | 10                       |                          |             | A/ $\mu\text{s}$ |
| $I_{GM}$     | Peak gate current  |   | -    | 2                        |                          |             | A                |
| $V_{GM}$     | Peak gate voltage  |   | -    | 5                        |                          |             | V                |
| $P_{GM}$     | Peak gate power  |   | -    | 5                        |                          |             | W                |
| $P_{G(AV)}$  | Average gate power   | over any 20 ms period   | -    | 0.5                      |                          |             | W                |
| $T_{stg}$    | Storage temperature  |   | -40  | 150                      |                          |             | $^\circ\text{C}$ |
| $T_j$        | Operating junction temperature                               |   | -    | 125                      |                          |             | $^\circ\text{C}$ |

<sup>1</sup> Although not recommended, off-state voltages up to 800V may be applied without damage, but the triac may switch to the on-state. The rate of rise of current should not exceed 15 A/ $\mu\text{s}$ .

Triacs

BT139 series

**THERMAL RESISTANCES**

| SYMBOL       | PARAMETER                                    | CONDITIONS                | MIN. | TYP. | MAX. | UNIT |
|--------------|--|---------------------------|------|------|------|------|
| $R_{thj-mb}$ | Thermal resistance junction to mounting base | full cycle                | -    | -    | 1.2  | K/W  |
| $R_{thj-a}$  | Thermal resistance junction to ambient       | half cycle<br>in free air | -    | 60   | 1.7  | K/W  |

**STATIC CHARACTERISTICS**

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise stated

| SYMBOL   | PARAMETER                 | CONDITIONS  | MIN. | TYP. | MAX. |      |      | UNIT |
|----------|---------------------------|---|------|------|------|------|------|------|
| $I_{GT}$ | Gate trigger current      | <b>BT139-</b><br>$V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$<br>T2+ G+<br>T2+ G-<br>T2- G-<br>T2- G+                          | -    | 5    | ...  | ...F | ...G | mA   |
| $I_L$    | Latching current          | $V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$<br>T2+ G+<br>T2+ G-<br>T2- G-<br>T2- G+  | -    | 7    | 40   | 40   | 60   | mA   |
| $I_H$    | Holding current           | $V_D = 12\text{ V}; I_{GT} = 0.1\text{ A}$<br>T2+ G-<br>T2- G-<br>T2- G+  | -    | 8    | 40   | 40   | 60   | mA   |
| $V_T$    | On-state voltage          | $I_T = 20\text{ A}$   | -    | 1.2  | 1.6  |      |      | V    |
| $V_{GT}$ | Gate trigger voltage      | $V_D = 12\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A}$<br>$V_D = 400\text{ V}; I_T = 0.1\text{ A};$<br>$T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$ | -    | 0.7  | 1.5  |      |      | V    |
| $I_D$    | Off-state leakage current | $V_D = V_{DRM(max)}$<br>$I_T = 125\text{ }^\circ\text{C}$   | -    | 0.1  | 0.5  |      |      | mA   |

**DYNAMIC CHARACTERISTICS**

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise stated

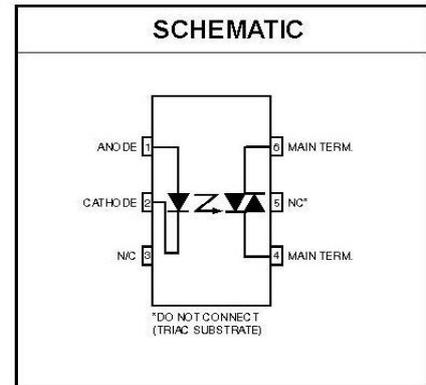
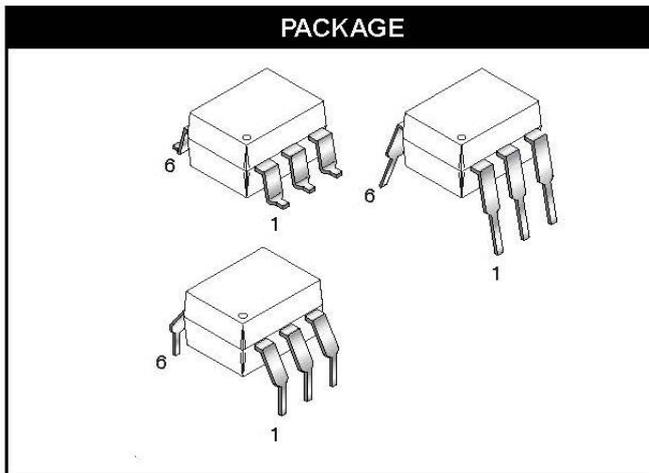
| SYMBOL        | PARAMETER                                      | CONDITIONS   | MIN. |      |      | TYP. | MAX. | UNIT             |
|---------------|--|--|------|------|------|------|------|------------------|
| $dV_D/dt$     | Critical rate of rise of off-state voltage     | <b>BT139-</b><br>$V_{DM} = 67\% V_{DRM(max)}$<br>$T_j = 125\text{ }^\circ\text{C}$ ; exponential waveform; gate open circuit                   | ...  | ...F | ...G | 250  | -    | V/ $\mu\text{s}$ |
| $dV_{com}/dt$ | Critical rate of change of commutating voltage | $V_{DM} = 400\text{ V}; T_j = 95\text{ }^\circ\text{C};$<br>$I_{T(RMS)} = 16\text{ A};$<br>$di_{com}/dt = 7.2\text{ A/ms}$ ; gate open circuit | -    | -    | 10   | 20   | -    | V/ $\mu\text{s}$ |
| $t_{gt}$      | Gate controlled turn-on time                   | $I_{TM} = 20\text{ A}; V_D = V_{DRM(max)}$<br>$I_G = 0.1\text{ A}; di_G/dt = 5\text{ A}/\mu\text{s}$   | -    | -    | -    | 2    | -    | $\mu\text{s}$    |

ANEXO 04: Hoja de datos MOC3021.



6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M



DESCRIPTION

The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a GaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115 VAC operations.

FEATURES

- Excellent  $I_{FT}$  stability—IR emitting diode has low degradation
- High isolation voltage—minimum 5300 VAC RMS
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File #E90700
- Peak blocking voltage
  - 250V-MOC301XM
  - 400V-MOC302XM
- VDE recognized (File #94766)
  - Ordering option V (e.g. MOC3023VM)

APPLICATIONS

- Industrial controls
- Traffic lights
- Vending machines
- Solid state relay
- Lamp ballasts
- Solenoid/valve controls
- Static AC power switch
- Incandescent lamp dimmers
- Motor control



**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

**MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M**

| <b>ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS</b> ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)        |           |                                     |                |                            |
|---|-----------|-------------------------------------|----------------|----------------------------|
| Parameters  | Symbol    | Device                              | Value          | Units                      |
| <b>TOTAL DEVICE</b>   |           |                                     |                |                            |
| Storage Temperature   | $T_{STG}$ | All                                 | -40 to +150    | $^\circ\text{C}$           |
| Operating Temperature   | $T_{OPR}$ | All                                 | -40 to +85     | $^\circ\text{C}$           |
| Lead Solder Temperature   | $T_{SOL}$ | All                                 | 260 for 10 sec | $^\circ\text{C}$           |
| Junction Temperature Range  | $T_J$     | All                                 | -40 to +100    | $^\circ\text{C}$           |
| Isolation Surge Voltage <sup>(1)</sup><br>(peak AC voltage, 60Hz, 1 sec duration)         | $V_{ISO}$ | All                                 | 7500           | Vac(pk)                    |
| Total Device Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$<br>Derate above 25 $^\circ\text{C}$  | $P_D$     | All                                 | 330<br>4.4     | mW<br>mW/ $^\circ\text{C}$ |
| <b>EMITTER</b>  |           |                                     |                |                            |
| Continuous Forward Current  | $I_F$     | All                                 | 60             | mA                         |
| Reverse Voltage   | $V_R$     | All                                 | 3              | V                          |
| Total Power Dissipation 25 $^\circ\text{C}$ Ambient<br>Derate above 25 $^\circ\text{C}$   | $P_D$     | All                                 | 100<br>1.33    | mW<br>mW/ $^\circ\text{C}$ |
| <b>DETECTOR</b>   |           |                                     |                |                            |
| Off-State Output Terminal Voltage   | $V_{DRM}$ | MOC3010M/1M/2M<br>MOC3020M/1M/2M/3M | 250<br>400     | V                          |
| Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)  | $I_{TSM}$ | All                                 | 1              | A                          |
| Total Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Ambient<br>Derate above 25 $^\circ\text{C}$ | $P_D$     | All                                 | 300<br>4       | mW<br>mW/ $^\circ\text{C}$ |

**Note**

1. Isolation surge voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.



**6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)**

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

| ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T <sub>A</sub> = 25°C Unless otherwise specified) |  |                  |        |     |      |     |       |
|---|--|------------------|--------|-----|------|-----|-------|
| INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS  |  |                  |        |     |      |     |       |
| Parameters  | Test Conditions                                      | Symbol           | Device | Min | Typ  | Max | Units |
| <b>EMITTER</b>  |  |                  |        |     |      |     |       |
| Input Forward Voltage   | I <sub>F</sub> = 10 mA                               | V <sub>F</sub>   | All    |     | 1.15 | 1.5 | V     |
| Reverse Leakage Current   | V <sub>R</sub> = 3 V, T <sub>A</sub> = 25°C          | I <sub>R</sub>   | All    |     | 0.01 | 100 | μA    |
| <b>DETECTOR</b>   |  |                  |        |     |      |     |       |
| Peak Blocking Current, Either Direction                                       | Rated V <sub>DRM</sub> , I <sub>F</sub> = 0 (note 1) | I <sub>DRM</sub> | All    |     | 10   | 100 | nA    |
| Peak On-State Voltage, Either Direction                                       | I <sub>TM</sub> = 100 mA peak, I <sub>F</sub> = 0    | V <sub>TM</sub>  | All    |     | 1.8  | 3   | V     |

| TRANSFER CHARACTERISTICS (T <sub>A</sub> = 25°C Unless otherwise specified.) |                       |                 |          |     |     |     |       |
|--|-----------------------|-----------------|----------|-----|-----|-----|-------|
| DC Characteristics   | Test Conditions       | Symbol          | Device   | Min | Typ | Max | Units |
| LED Trigger Current  | Voltage = 3V (note 3) | I <sub>FT</sub> | MOC3020M |     |     | 30  | mA    |
|  |                       |                 | MOC3010M |     |     | 15  |       |
|  |                       |                 | MOC3021M |     |     |     |       |
|  |                       |                 | MOC3011M |     |     | 10  |       |
|  |                       |                 | MOC3022M |     |     |     |       |
|  |                       |                 | MOC3012M |     |     | 5   |       |
|  |                       |                 | MOC3023M |     |     |     |       |
| Holding Current, Either Direction  |                       | I <sub>H</sub>  | All      |     | 100 |     | μA    |

**Note**

1. Test voltage must be applied within dv/dt rating.
2. This is static dv/dt. See Figure 5 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
3. All devices are guaranteed to trigger at an I<sub>F</sub> value less than or equal to max I<sub>FT</sub>. Therefore, recommended operating I<sub>F</sub> lies between max I<sub>FT</sub> (30 mA for MOC3020M, 15 mA for MOC3010M and MOC3021M, 10 mA for MOC3011M and MOC3022M, 5 mA for MOC3012M and MOC3023M) and absolute max I<sub>F</sub> (60 mA).

## ANEXO 05: Hoja de datos TB6560.

**TOSHIBA**

TB6560AHQ/AFG

TOSHIBA BiCD Integrated Circuit Silicon Monolithic

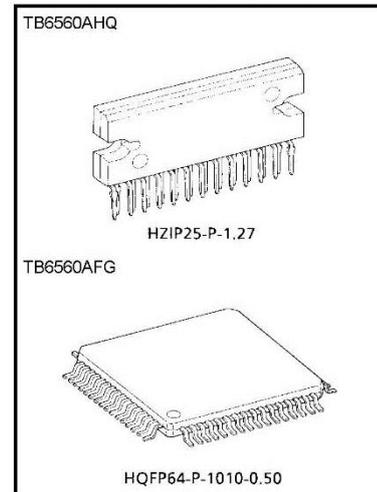
**TB6560AHQ, TB6560AFG**

## PWM Chopper-Type Bipolar Driver IC for Stepping Motor Control

The TB6560AHQ/AFG is a PWM chopper-type stepping motor driver IC designed for sinusoidal-input microstep control of bipolar stepping motors. The TB6560AHQ/AFG can be used in applications that require 2-phase, 1-2-phase, 2W1-2-phase and 4W1-2-phase excitation modes. The TB6560AHQ/AFG is capable of low-vibration, high performance forward and reverse driving of a two-phase bipolar stepping motor using only a clock signal.

**Features**

- Single-chip motor driver for sinusoidal microstep control of stepping motors
- High output withstand voltage due to the use of BiCD process:  
Ron (upper and lower sum) =  
TB6560AHQ: 0.6  $\Omega$  (typ.)  
TB6560AFG: 0.7  $\Omega$  (typ.)
- Forward and reverse rotation
- Selectable phase excitation modes (2, 1-2, 2W1-2 and 4W1-2)
- High output withstand voltage:  $V_{DSS} = 40$  V
- High output current:  $I_{OUT} =$  TB6560AHQ: 3.5 A (peak)  
TB6560AFG: 2.5 A (peak)
- Packages: HZIP25-P-1.27  
HQFP64-P-1010-0.50
- Internal pull-down resistors on inputs: 100 k $\Omega$  (typ.)
- Output monitor pin: MO current ( $I_{MO}$  (max)) = 1 mA
- Reset and enable pins
- Thermal shutdown (TSD)



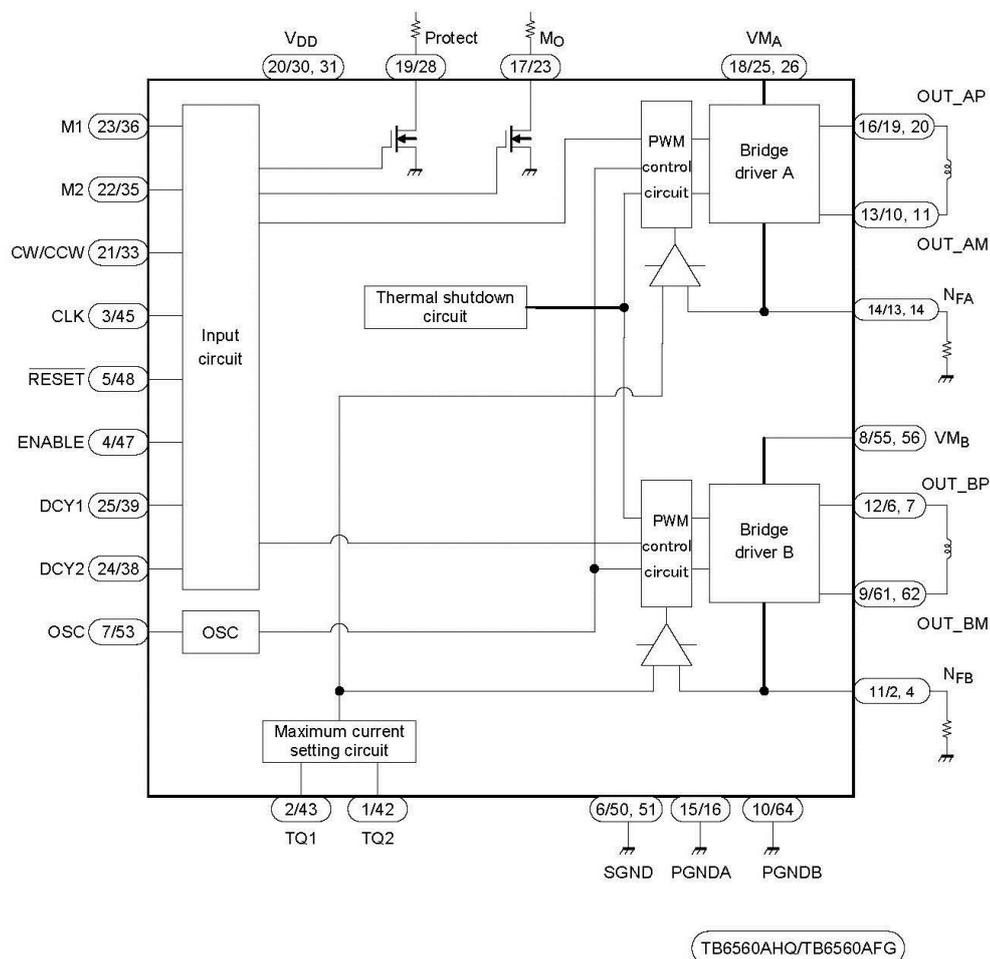
Weight  
HZIP25-P-1.27: 9.86 g (typ.)  
HQFP64-P-1010-0.50: 0.26 g (typ.)

\*: These ICs are highly sensitive to electrostatic discharge. When handling them, ensure that the environment is protected against electrostatic discharge. Ensure also that the ambient temperature and relative humidity are maintained at reasonable level.

**TOSHIBA**

TB6560AHQ/AFG

**Block Diagram**



# TOSHIBA

## TB6560AHQ/AFG

### Pin Functions

| Pin No.   |           | I/O    | Symbol            | Functional Description   | Remarks                     |
|-----------|-----------|--------|-------------------|--|-----------------------------|
| TB6560AHQ | TB6560AFG |        |                   |  |                             |
| 1         | 42        | Input  | TQ2               | Torque setting input (current setting)   | Internal pull-down resistor |
| 2         | 43        | Input  | TQ1               | Torque setting input (current setting)   | Internal pull-down resistor |
| 3         | 45        | Input  | CLK               | Clock input for microstepping  | Internal pull-down resistor |
| 4         | 47        | Input  | ENABLE            | H: Enable; L: All outputs OFF  | Internal pull-down resistor |
| 5         | 48        | Input  | RESET             | L: Reset (The outputs are reset to their initial states.)  | Internal pull-down resistor |
| 6         | 50/51     | —      | SGND              | Signal ground (for control block)  | (Note 1)                    |
| 7         | 53        | —      | OSC               | A CR oscillation circuit is connected to this pin. Performs output chopping.                                     |                             |
| 8         | 55/56     | Input  | VM <sub>B</sub>   | Motor power supply pin (for phase-B driver)  | (Note 1)                    |
| 9         | 61/62     | Output | OUT <sub>BM</sub> | OUT <sub>B</sub> output  | (Note 1)                    |
| 10        | 64 (*)    | —      | PGNDB             | Power ground   |                             |
| 11        | 2/4 (*)   | —      | N <sub>FB</sub>   | Connection pin for a B-channel current sensing resistor<br>Two pins of the TB6560AFG should be short-circuited.  | (Note 1)                    |
| 12        | 6/7       | Output | OUT <sub>BP</sub> | OUT <sub>B</sub> output  | (Note 1)                    |
| 13        | 10/11     | Output | OUT <sub>AM</sub> | OUT <sub>A</sub> output  | (Note 1)                    |
| 14        | 13/14 (*) | —      | N <sub>FA</sub>   | Connection pin for an A-channel current sensing resistor<br>Two pins of the TB6560AFG should be short-circuited. | (Note 1)                    |
| 15        | 16        | —      | PGNDA             | Power ground   |                             |
| 16        | 19/20     | Output | OUT <sub>AP</sub> | OUT <sub>A</sub> output  | (Note 1)                    |
| 17        | 23        | Output | M <sub>O</sub>    | Initial state sensing output. This pin is enabled in the initial state.  | Open drain                  |
| 18        | 25/26     | Input  | VM <sub>A</sub>   | Motor power supply pin (for phase-A driver)  | (Note 1)                    |
| 19        | 28        | Output | Protect           | When TSD is activated: High; when in normal state: High-Z.   | Open drain                  |
| 20        | 30/31     | Input  | V <sub>DD</sub>   | Power supply pin for control block   | (Note 1)                    |
| 21        | 33        | Input  | CW/CCW            | Rotation direction select input.<br>L: Clockwise; H: Counterclockwise  | Internal pull-down resistor |
| 22        | 35        | Input  | M2                | Excitation mode setting input  | Internal pull-down resistor |
| 23        | 36        | Input  | M1                | Excitation mode setting input  | Internal pull-down resistor |
| 24        | 38        | Input  | DCY2              | Current decay mode setting input   | Internal pull-down resistor |
| 25        | 39        | Input  | DCY1              | Current decay mode setting input   | Internal pull-down resistor |

(\*): The pin assignment of the TB6560AFG is different from that of the TB6560FG.

TB6560AHQ: There is no no-connect (NC) pin.

TB6560AFG: Except the above pins, all pins are NC. The pin numbers of NC pins are: 1, 3, 5, 8, 9, 12, 15, 17, 18, 21, 22, 24, 27, 29, 32, 34, 37, 40, 41, 44, 46, 49, 52, 54, 57, 58, 59, 60, and 63.

Applying a voltage to NC pins does not cause any problem since they are not connected inside the IC.

All control input pins have an internal pull-down resistor of 100 kΩ (typ.)

Note 1: As for the TB6560AFG, two pins that have the same functionality should be short-circuited at a location as close to the TB6560AFG as possible.

(The electrical characteristics provided in this document are measured when those pins are handled in this manner.)



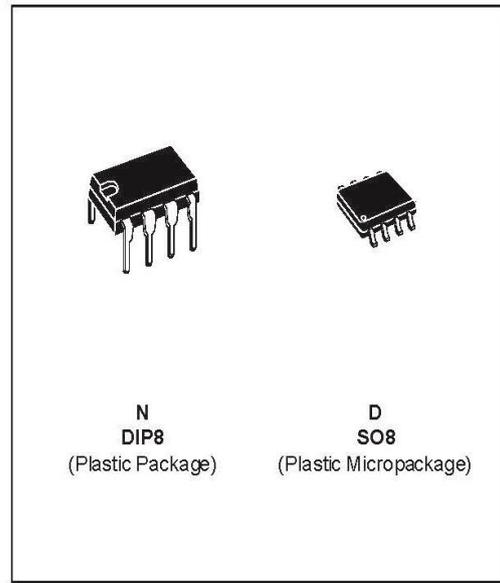
**NE555  
SA555 - SE555**

**GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS**

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

**DESCRIPTION**

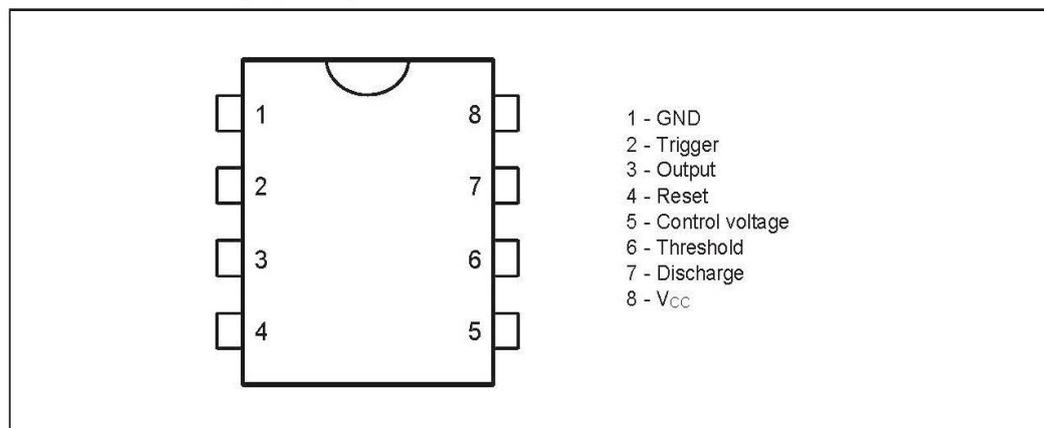
The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.



**ORDER CODES**

| Part Number | Temperature Range | Package |   |
|-------------|-------------------|---------|---|
|             |                   | N       | D |
| NE555       | 0°C, 70°C         | •       | • |
| SA555       | -40°C, 105°C      | •       | • |
| SE555       | -55°C, 125°C      | •       | • |

**PIN CONNECTIONS (top view)**



**ANEXO 06:** Hoja de datos NE555.



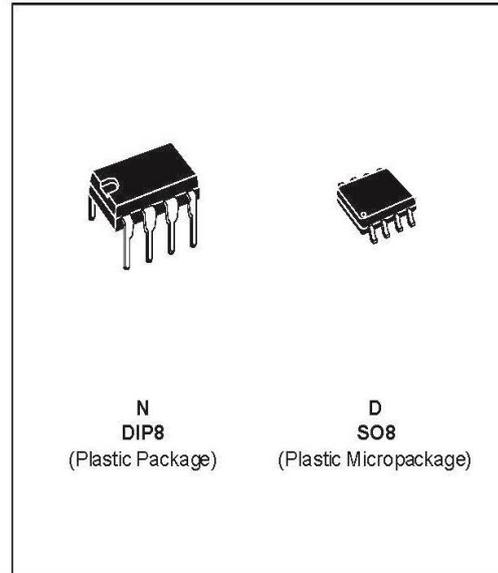
**NE555  
SA555 - SE555**

**GENERAL PURPOSE SINGLE BIPOLAR TIMERS**

- LOW TURN OFF TIME
- MAXIMUM OPERATING FREQUENCY GREATER THAN 500kHz
- TIMING FROM MICROSECONDS TO HOURS
- OPERATES IN BOTH ASTABLE AND MONOSTABLE MODES
- HIGH OUTPUT CURRENT CAN SOURCE OR SINK 200mA
- ADJUSTABLE DUTY CYCLE
- TTL COMPATIBLE
- TEMPERATURE STABILITY OF 0.005% PER°C

**DESCRIPTION**

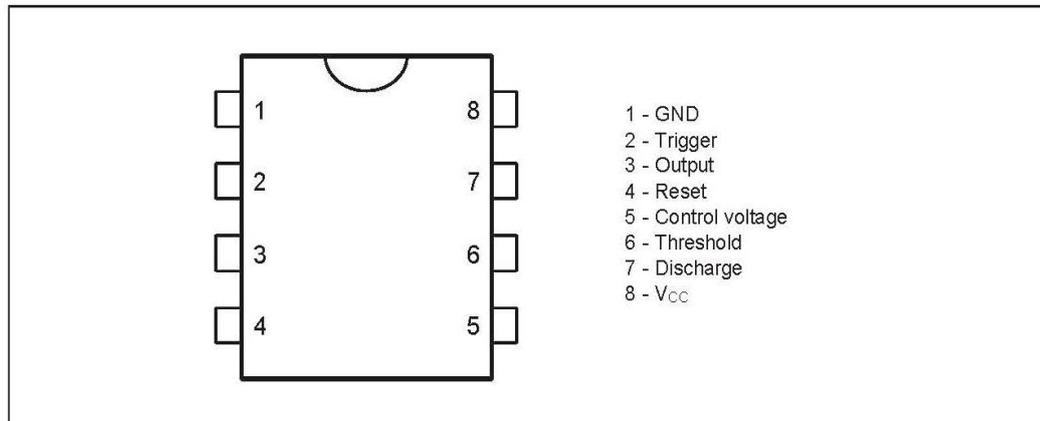
The NE555 monolithic timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For a stable operation as an oscillator, the free running frequency and the duty cycle are both accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output structure can source or sink up to 200mA. The NE555 is available in plastic and ceramic minidip package and in a 8-lead micropackage and in metal can package version.



**ORDER CODES**

| Part Number | Temperature Range | Package |   |
|-------------|-------------------|---------|---|
|             |                   | N       | D |
| NE555       | 0°C, 70°C         | •       | • |
| SA555       | -40°C, 105°C      | •       | • |
| SE555       | -55°C, 125°C      | •       | • |

**PIN CONNECTIONS** (top view)



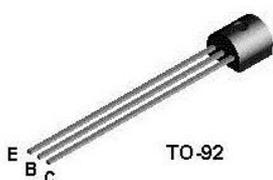
ANEXO 07: Hoja de datos BC548

BC548 / BC548A / BC548B / BC548C



Discrete POWER & Signal Technologies

**BC548**  
**BC548A**  
**BC548B**  
**BC548C**



**NPN General Purpose Amplifier**

This device is designed for use as general purpose amplifiers and switches requiring collector currents to 300 mA. Sourced from Process 10. See PN 100A for characteristics.

**Absolute Maximum Ratings\***

TA = 25°C unless otherwise noted

| Symbol                            | Parameter  | Value       | Units |
|-----------------------------------|--|-------------|-------|
| V <sub>CE0</sub>                  | Collector-Emitter Voltage                        | 30          | V     |
| V <sub>CEs</sub>                  | Collector-Base Voltage                           | 30          | V     |
| V <sub>EB0</sub>                  | Emitter-Base Voltage                             | 5.0         | V     |
| I <sub>C</sub>                    | Collector Current - Continuous                   | 500         | mA    |
| T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub> | Operating and Storage Junction Temperature Range | -55 to +150 | °C    |

\*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

**NOTES:**

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

**Thermal Characteristics**

TA = 25°C unless otherwise noted

| Symbol           | Characteristic                                | Max               | Units |
|------------------|---|-------------------|-------|
|                  |   | BC548 / A / B / C |       |
| P <sub>D</sub>   | Total Device Dissipation<br>Derate above 25°C | 625               | mW    |
|                  |   | 5.0               | mW/°C |
| R <sub>θJC</sub> | Thermal Resistance, Junction to Case          | 83.3              | °C/W  |
| R <sub>θJA</sub> | Thermal Resistance, Junction to Ambient       | 200               | °C/W  |

**NPN General Purpose Amplifier**  
(continued)

**Electrical Characteristics**

*T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise noted*

| Symbol                              | Parameter                            | Test Conditions  | Min   | Max                      | Units                    |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--|---|--------------------------|--------------------------|
| <b>OFF CHARACTERISTICS</b>          |                                      |  |   |                          |                          |
| $V_{(BR)CEO}$                       | Collector-Emitter Breakdown Voltage  | $I_C = 10\text{ mA}, I_E = 0$  | 30  |                          | V                        |
| $V_{(BR)CBO}$                       | Collector-Base Breakdown Voltage     | $I_C = 10\text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$   | 30  |                          | V                        |
| $V_{(BR)CES}$                       | Collector-Base Breakdown Voltage     | $I_C = 10\text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$   | 30  |                          | V                        |
| $V_{(BR)EBO}$                       | Emitter-Base Breakdown Voltage       | $I_E = 10\text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$   | 5.0   |                          | V                        |
| $I_{CBO}$                           | Collector Cutoff Current             | $V_{CE} = 30\text{ V}, I_E = 0$<br>$V_{CE} = 30\text{ V}, I_E = 0, T_A = +150\text{ }^\circ\text{C}$                               |   | 15<br>5.0                | nA<br>$\mu\text{A}$      |
| <b>ON CHARACTERISTICS</b>           |                                      |  |   |                          |                          |
| $h_{FE}$                            | DC Current Gain                      | $V_{CE} = 5.0\text{ V}, I_C = 2.0\text{ mA}$   | <b>548</b><br><b>548A</b><br><b>548B</b><br><b>548C</b> | 110<br>110<br>200<br>420 | 800<br>220<br>450<br>800 |
| $V_{CE(sat)}$                       | Collector-Emitter Saturation Voltage | $I_C = 10\text{ mA}, I_B = 0.5\text{ mA}$<br>$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 5.0\text{ mA}$  |   | 0.25<br>0.60             | V<br>V                   |
| $V_{BE(on)}$                        | Base-Emitter On Voltage              | $V_{CE} = 5.0\text{ V}, I_C = 2.0\text{ mA}$<br>$V_{CE} = 5.0\text{ V}, I_C = 10\text{ mA}$  | 0.58  | 0.70<br>0.77             | V<br>V                   |
| <b>SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS</b> |                                      |  |   |                          |                          |
| $h_{fe}$                            | Small-Signal Current Gain            | $I_C = 2.0\text{ mA}, V_{CE} = 5.0\text{ V},$<br>$f = 1.0\text{ kHz}$  | 125   | 900                      |                          |
| NF                                  | Noise Figure                         | $V_{CE} = 5.0\text{ V}, I_C = 200\text{ }\mu\text{A},$<br>$R_S = 2.0\text{ k}\Omega, f = 1.0\text{ kHz},$<br>$B_W = 200\text{ Hz}$ |   | 10                       | dB                       |

BC548 / BC548A / BC548B / BC548C

**ANEXO 08:** Programación en Matlab del sistema de limpieza.

**Funcion:** barra\_progreso.m

```

%Initalize waitbar
h = waitbar(0,'Loading...',...
           'Name','Matlabvn_waitbar');
steps = 1000;
% Update waitbar
for step = 1:steps
    waitbar(step /
steps,h,sprintf('Loading...%.2f%%',step/steps*100));
end
%Delete waitbar
delete(h)

```

**Funcion:** barra\_cargadora.m

```

function varargout = barra_cargadora(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @barra_cargadora_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @barra_cargadora_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function barra_cargadora_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

h=handles.axis_waitbar;
%if ~ishandle(h);return;end;
value = 0.001;
set(h,'Visible','Off');

function varargout = barra_cargadora_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
varargout{1} = handles.output;

function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
value = get(hObject,'Value')

h=handles.axis_waitbar;
%if ~ishandle(h);return;end;

```

```

set(h, 'Visible', 'On');
axes(h);
cla;
patch([0,value,value,0],[0,0,1,1], 'g');
axis([0,1,0,1]);
axis off;

function slider1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end

```

**Funcion: contar\_lineas.m**

```

contador=0;
f=fopen('desbastez(13n)(0.983mmp).cnc');
while 1
    if ~ischar(fgetl(f))
        break;
    end
    contador=contador + 1;
end
fclose(f);
sprintf('el numero de lineas es : %d',contador)

```

**Funcion: gcode\_generator.m**

```

function gcode_generator(x,y,s)
separacion=s;%separacion en y 30mm
t=round(y/separacion);
x1=0.000;y1=0.000;
global cadena;
cadena = '';
cadena{1}=sprintf('%s','O1');
cadena{2}=sprintf('%s','G0 X0.000 Y0.000 Z10.000');
for n=1:1:t
    if mod(n,2)
        x1 = 0.000;%impar
    else
        x1 = x;%par
    end
    y1 = y1 + separacion;
    cadena{n+2}=sprintf('X%0.3f\nY%0.3f',x1,y1);
end

```

**Funcion: borrar\_strings.m**

```
f=fopen('hola.txt');
indic=1;

strings = '';
while 1
    tline=fgetl(f);
    if ~ischar(tline)
        break
    end
    strings{indic}=tline;
    indic=indic+1;
end
disp('full strings:')
strings
disp('borrar strings :')
strings=0
```

**Funcion: panel\_cnc.m**

```
function varargout = panel_cnc(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @panel_cnc_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @panel_cnc_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function panel_cnc_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = panel_cnc_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
[FileName PathName]=uigetfile({'*.txt;*.cnc;*.nc'}, 'Abrir
Documento');
FullPathName = strcat(PathName, FileName); %leer direccion del archivo
fid = fopen( fullfile(FullPathName) );
str = textscan(fid, '%s', 'Delimiter', '\n');
str = str{1};
fclose(fid);
%# GUI with multi-line editbox
hFig = figure('Menubar','none', 'Toolbar','none');
hPan = uipanel(hFig, 'Title','Display window', ...
```

```

        'Units','normalized', 'Position',[0.05 0.05 0.9 0.9]);
hEdit = uicontrol(hPan, 'Style','edit', 'FontSize',9, ...
    'Min',0, 'Max',2, 'HorizontalAlignment','left', ...
    'Units','normalized', 'Position',[0 0 1 1], ...
    'String',str);

    %# enable horizontal scrolling
jEdit = findobj(hEdit);
jEditbox = jEdit.getViewport().getComponent(0);
jEditbox.setWrapping(false);           %# turn off word-wrapping
jEditbox.setEditable(false);          %# non-editable
set(jEdit, 'HorizontalScrollBarPolicy',30); %#
HORIZONTAL_SCROLLBAR_AS_NEEDED

    %# maintain horizontal scrollbar policy which reverts back on
    component resize
hjEdit = handle(jEdit, 'CallbackProperties');
set(hjEdit, 'ComponentResizedCallback',...
    'set(gcbo, 'HorizontalScrollBarPolicy',30)');

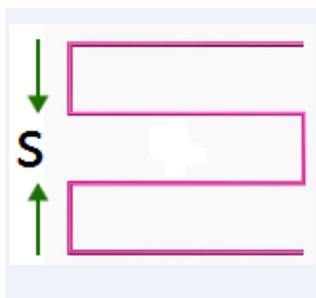
```

**Funcion:** map.m

```

function val = map(x_1, x00, x11, y00, y11)
    m=(y11-y00)/(x11-x00);
    y=m*(x_1-x00)+y00;
    val = y;

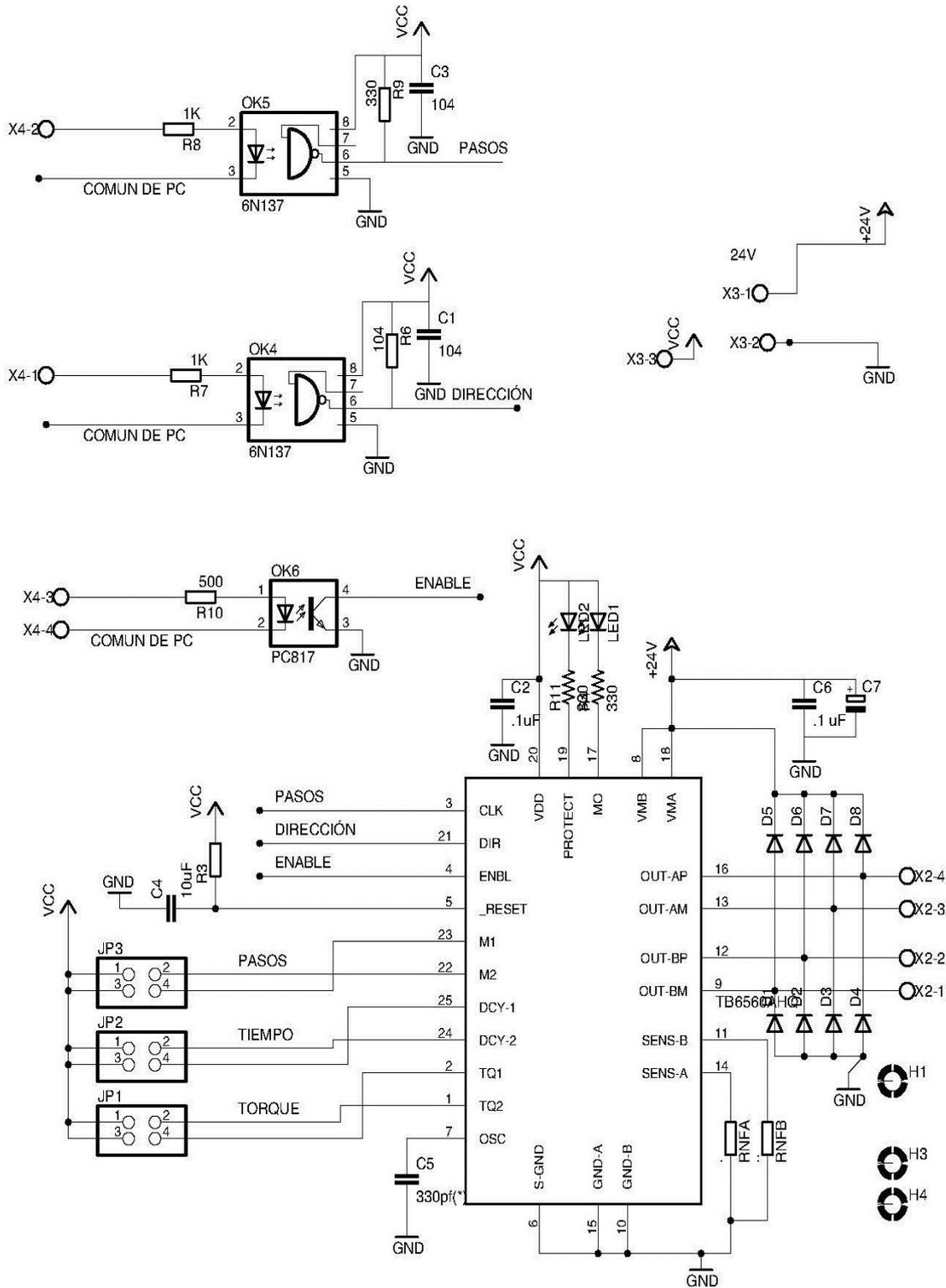
```

**Imagen:** icon.ico**Imagen:** líneas.png**Imagen:** líneas.png

```

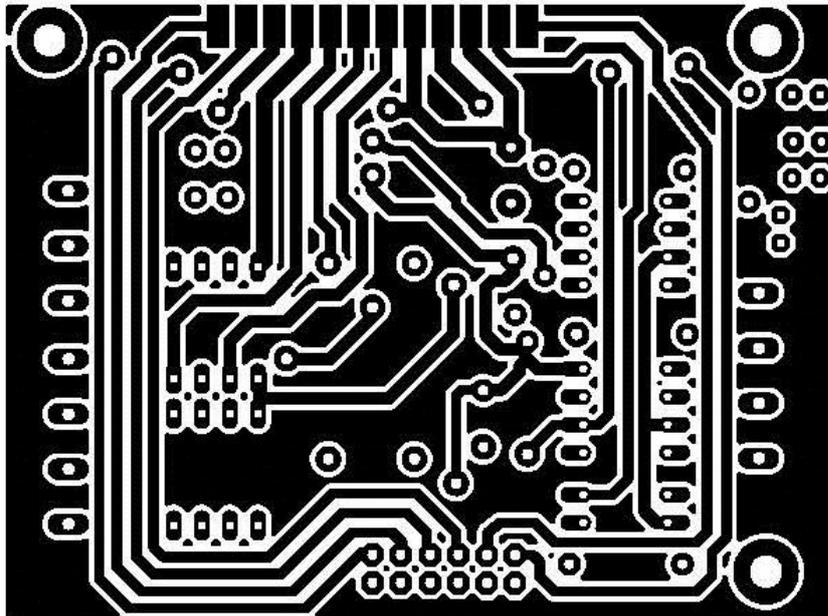
}
```

ANEXO 09: Esquemático del controlador de motores paso a paso.

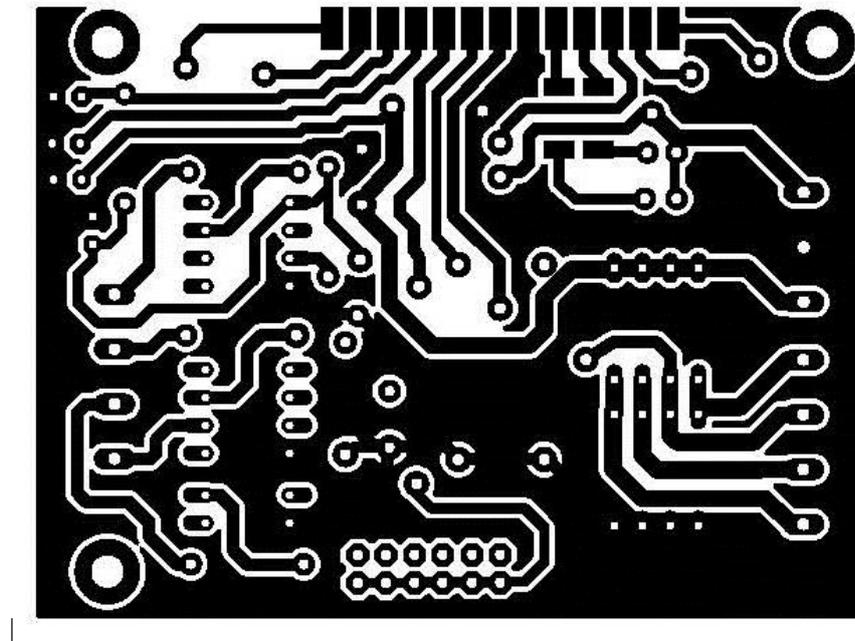


**ANEXO 10:** PCB del controlador de motores paso a paso.

Lado superior o Top. Figura exportada en modo espejo.

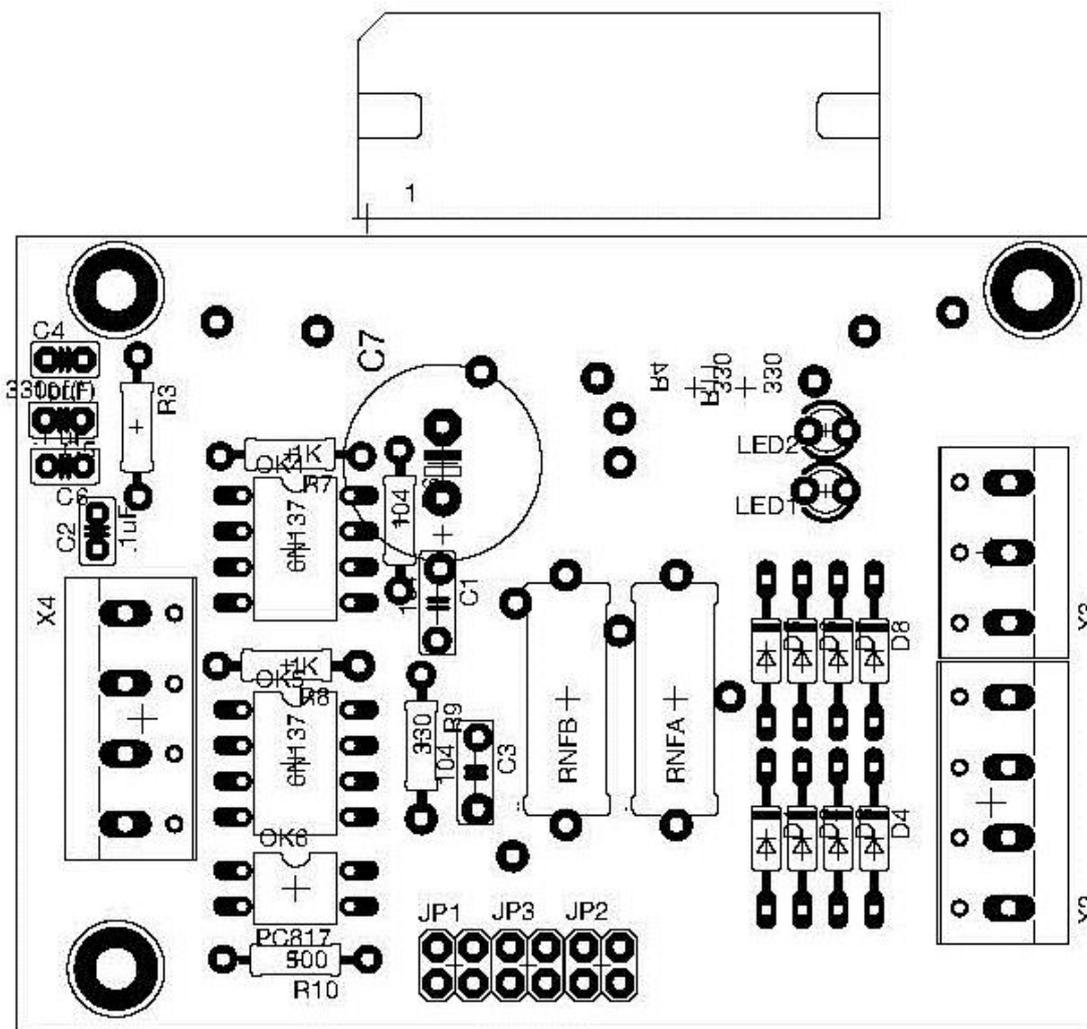


Lado inferior o Bottom. Figura exportada en modo normal.

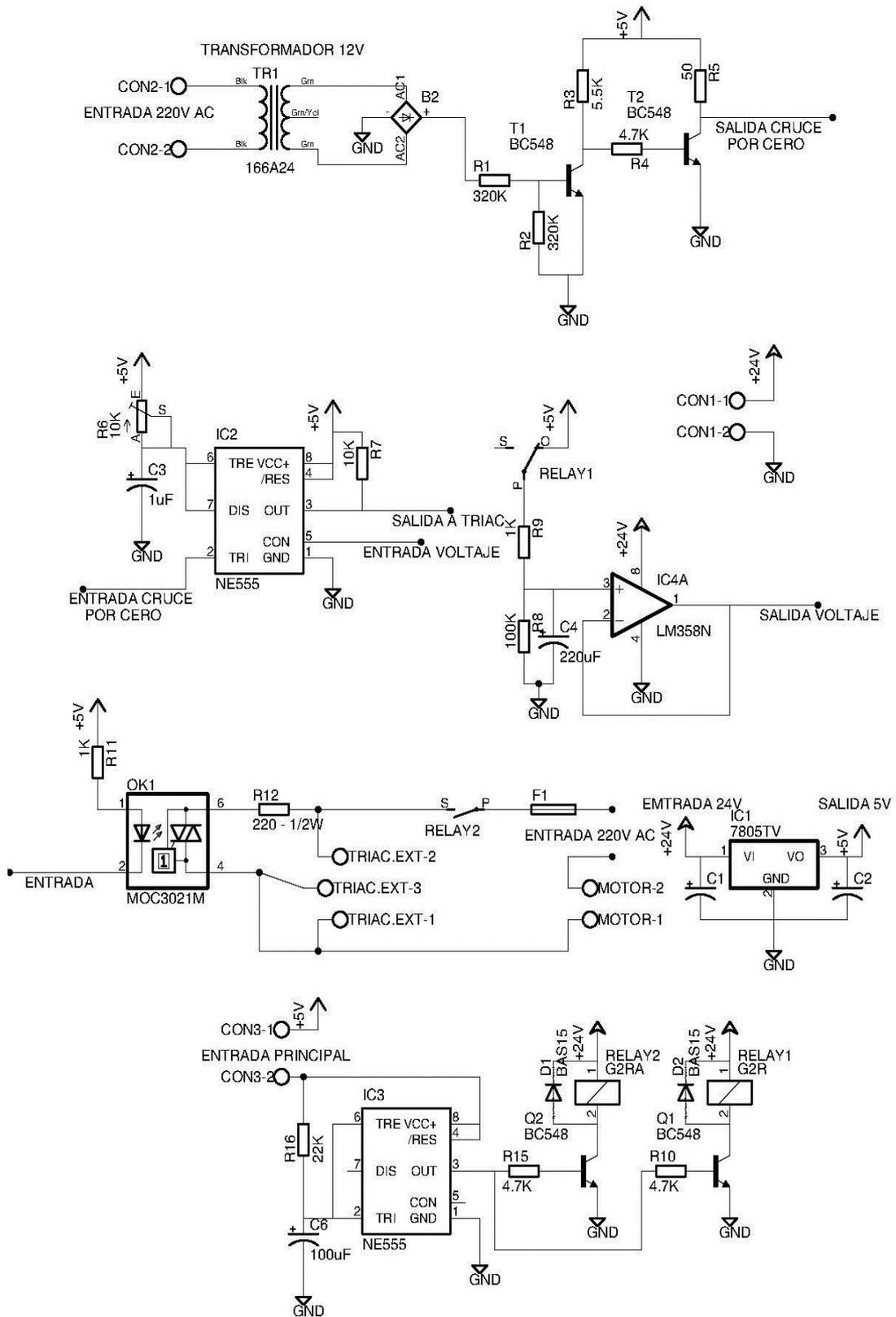


1

ANEXO 11: Guía de ensamblado del controlador de motores paso a paso.

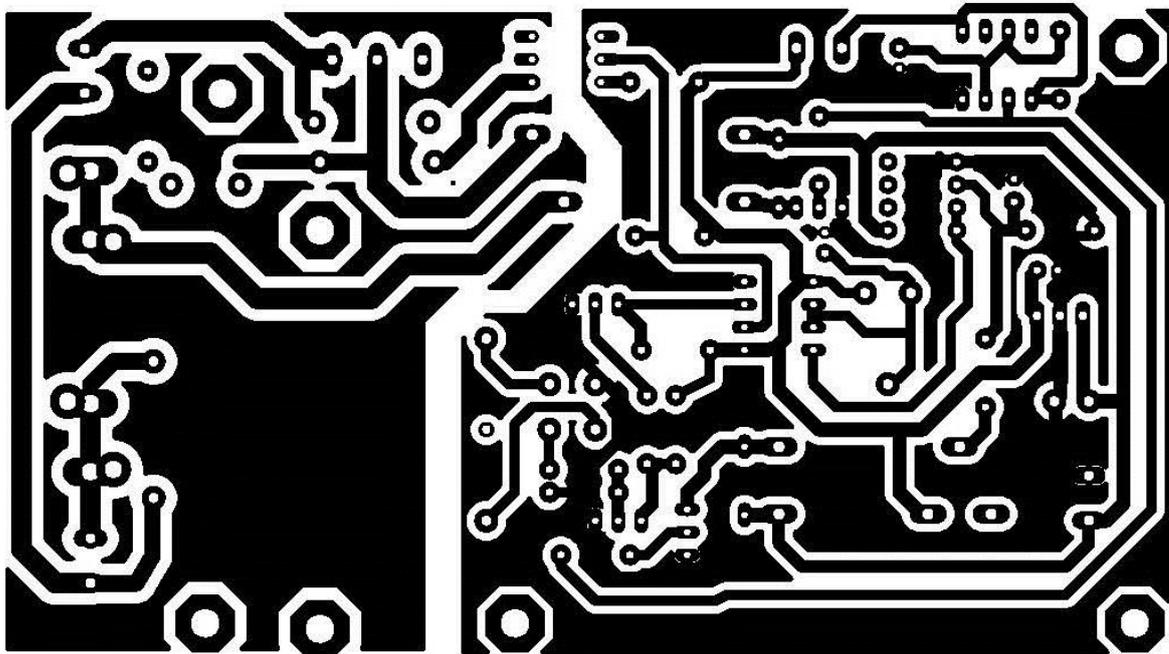


ANEXO 12: Esquemático del sistema de limpieza.

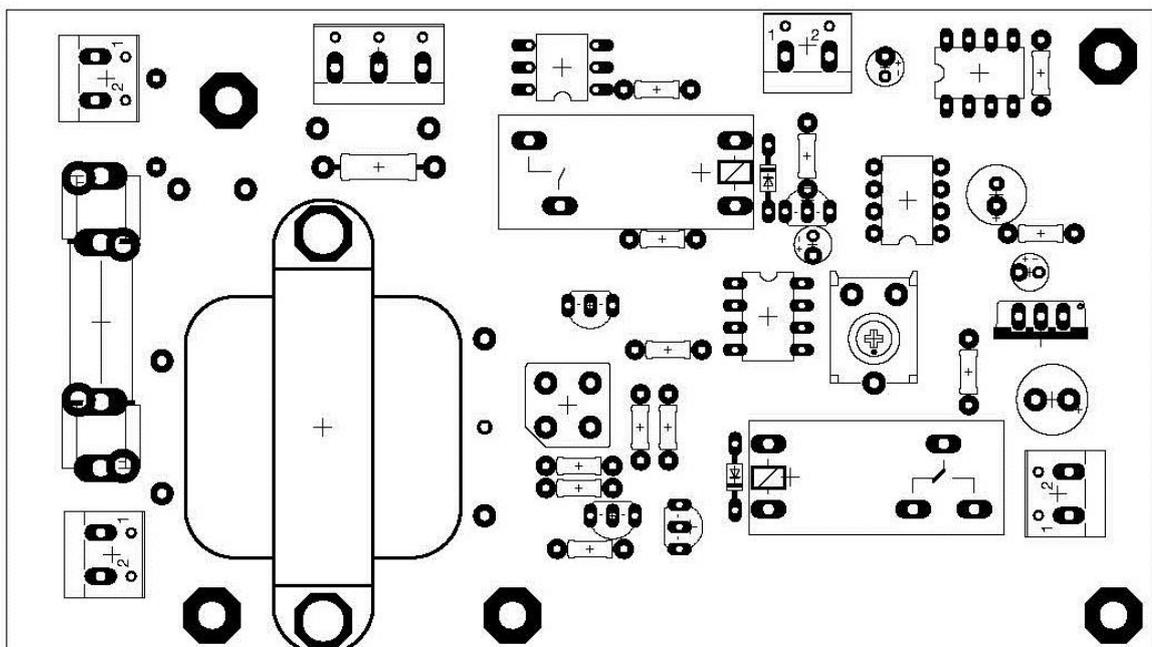


**ANEXO 13:** PCB del sistema de limpieza y guía de ensamblado.

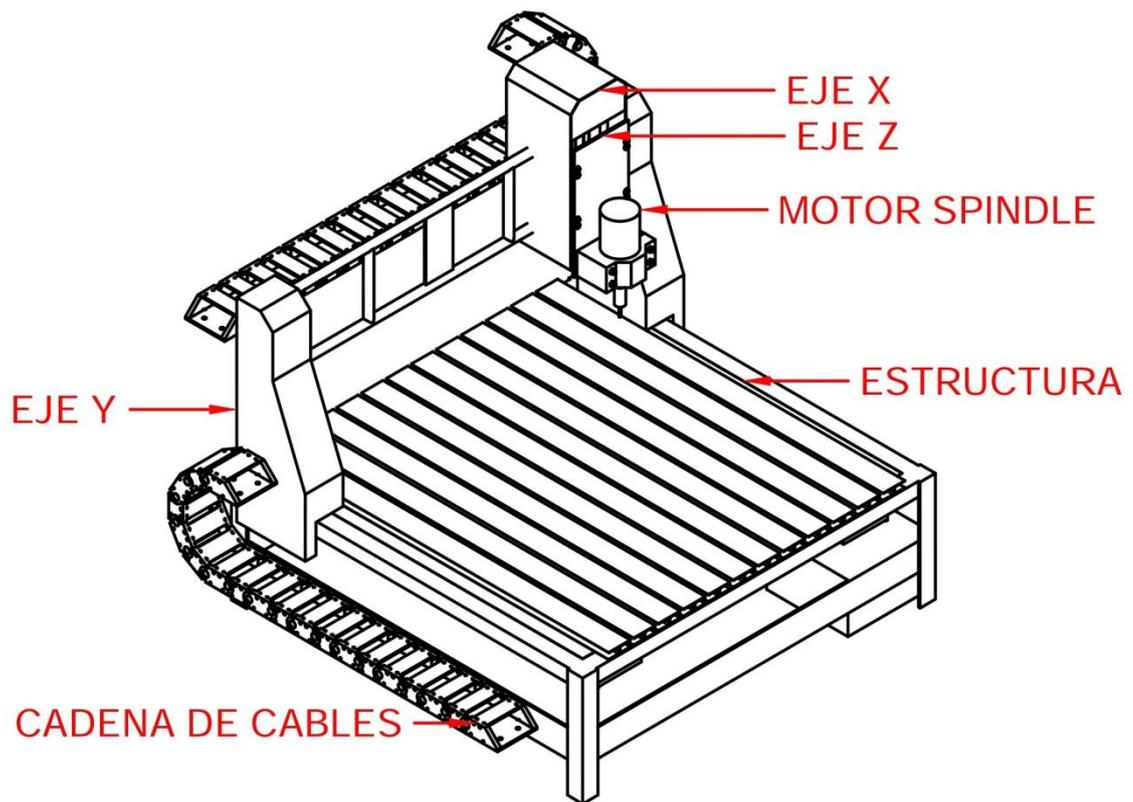
Lado inferior o Button. Figura exportada en modo normal



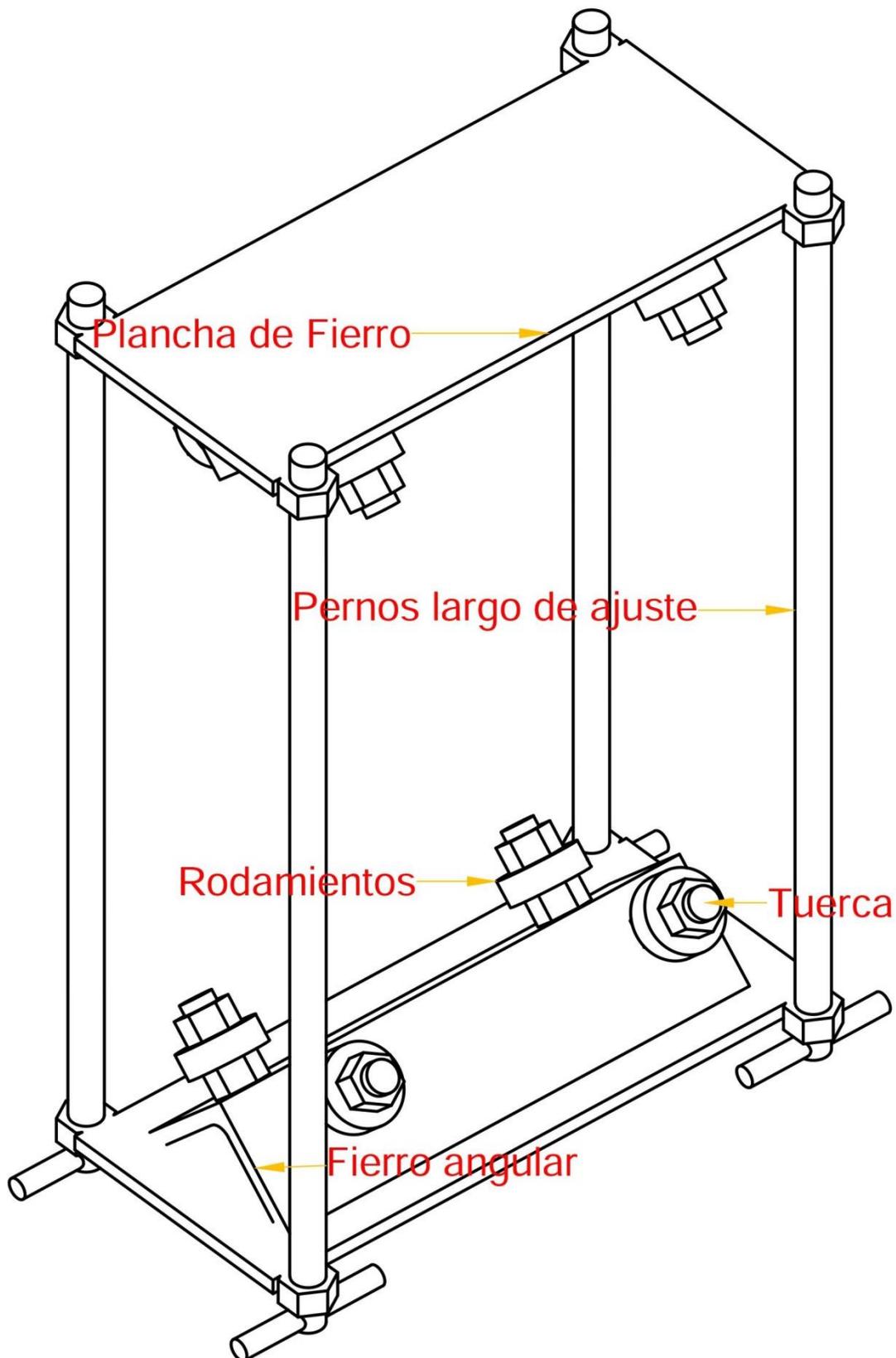
Guía de ubicación y ensamblado de componentes



**ANEXO 14:** Vista general del diseño de la Máquina

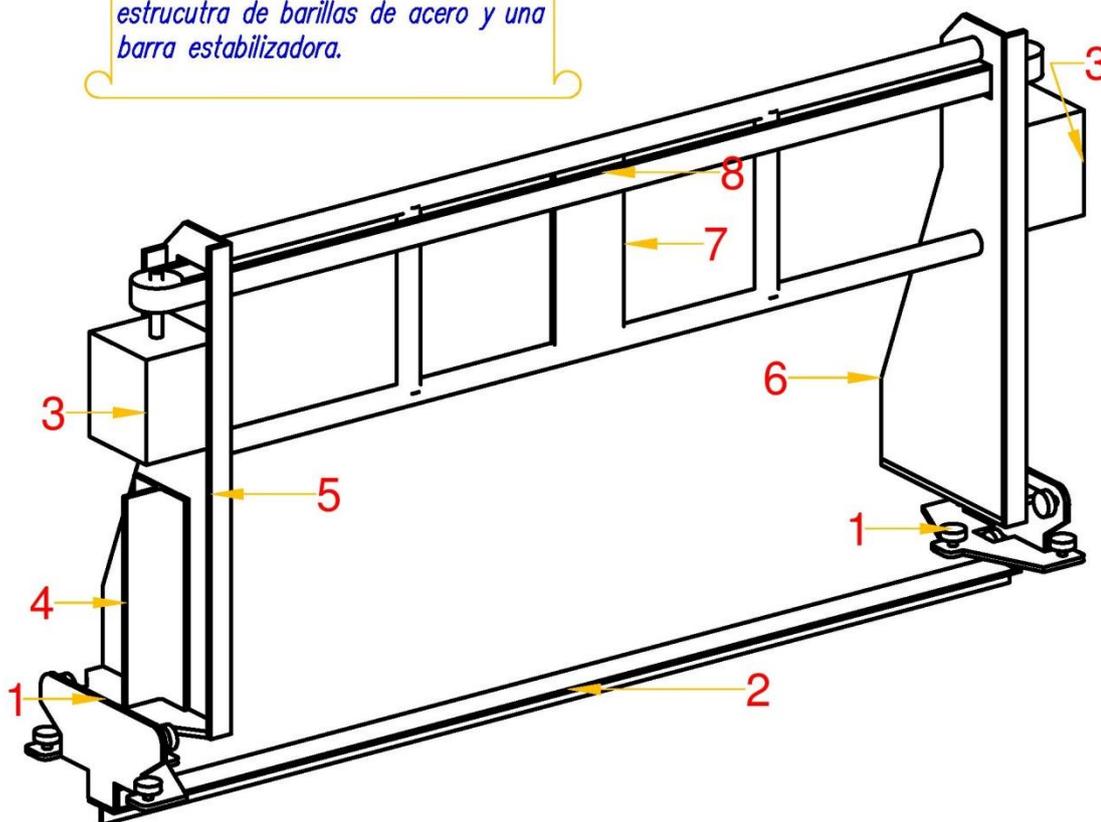


ANEXO 15: Vista General del eje X de la Máquina.



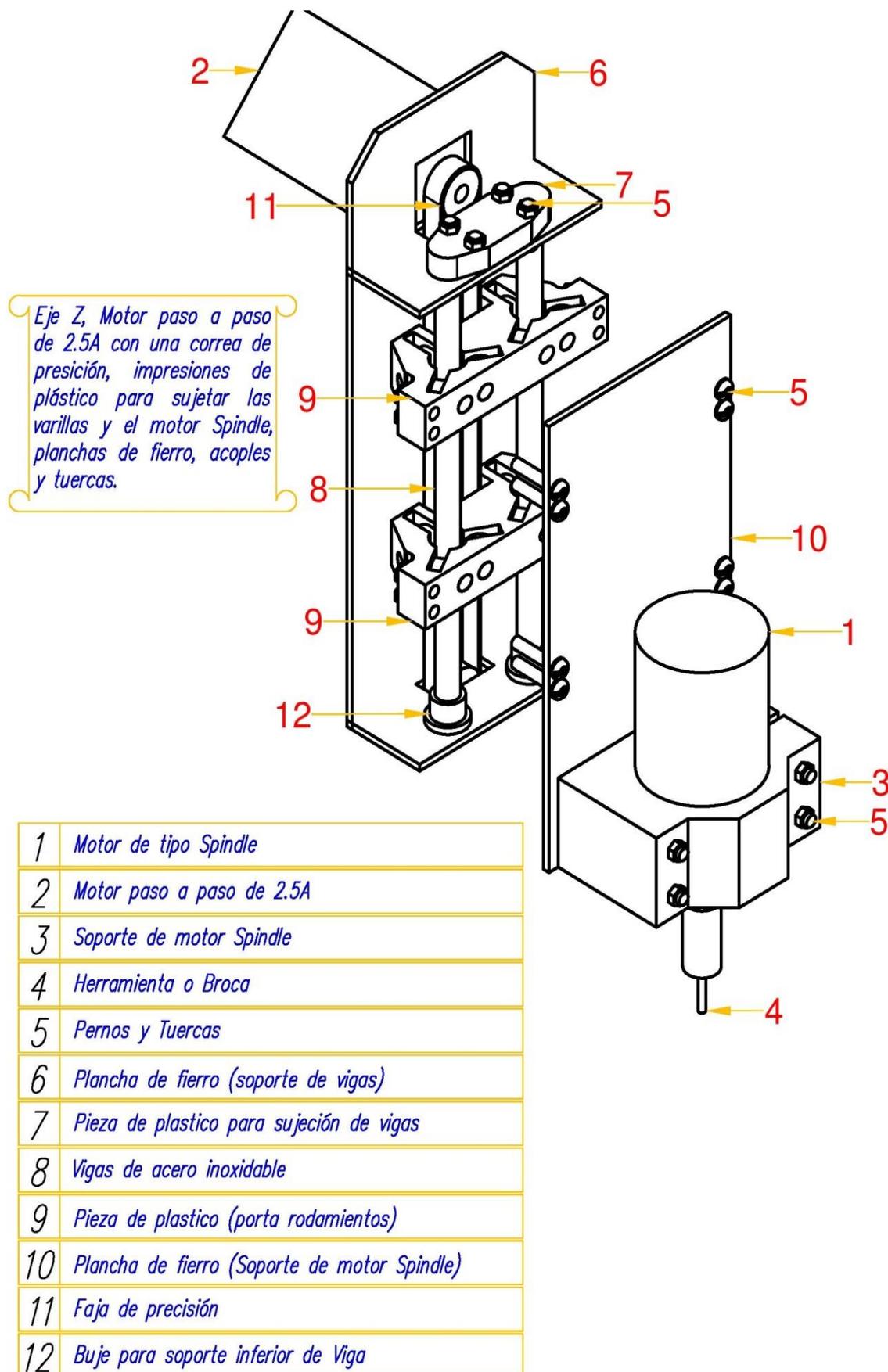
**ANEXO 16:** Vista general del eje Y de la Máquina.

*Eje "Y", 02 motores paso a paso en ambos extremos, 06 rodamientos en cada sistema de desplazamiento, una estructura de varillas de acero y una barra estabilizadora.*



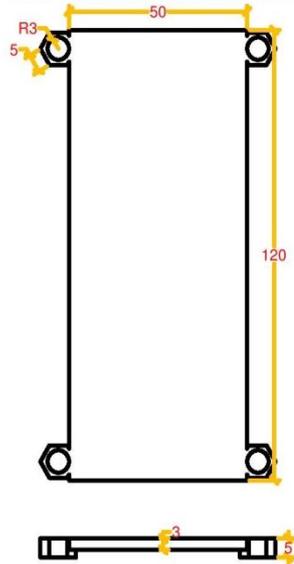
|   |   |
|---|---|
| 1 | Sistema de desplazamiento con rodamientos eje Y |
| 2 | Barra estabilizadora                            |
| 3 | Motor paso a paso bipolar                       |
| 4 | Refuerzo en forma "T"                           |
| 5 | Refuerzo en forma de cinta                      |
| 6 | SopORTE de varillas de acero                    |
| 7 | Varillas de acero inoxidable                    |
| 8 | Faja de precisión                               |

ANEXO 17: Vista general del eje Z de la Máquina.

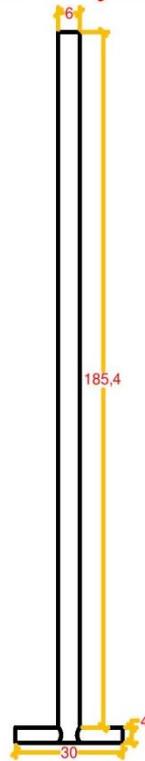


**ANEXO 18:** Partes, dimensiones del eje X de la Máquina.

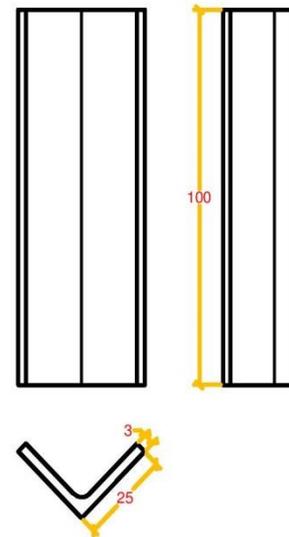
**Extremos de estrucutra**



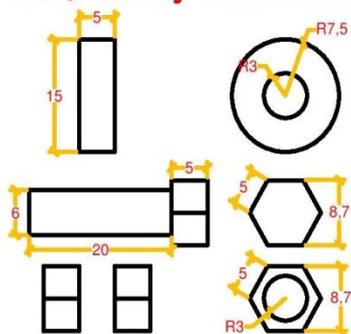
**Perno de ajuste**



**Fierro tipo angulo**

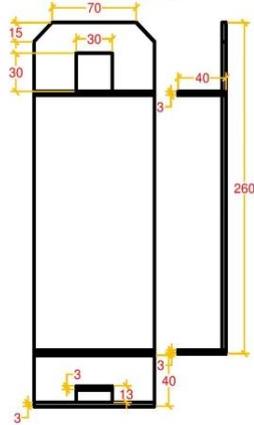


**Perno, tuerca y Rodamientos**

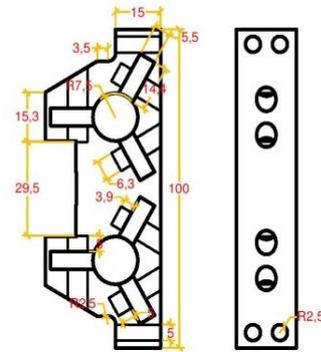
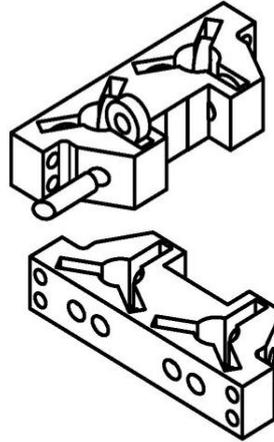


**ANEXO 19:** Partes, dimensiones del eje Z de la Máquina.

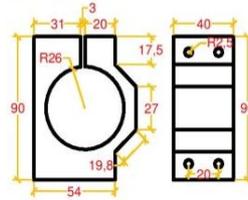
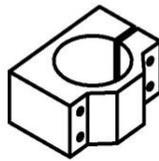
*Plancha de fierro (soporte de vigas)*



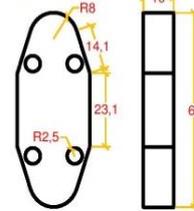
*Pieza de plastico (porta rodamientos)*



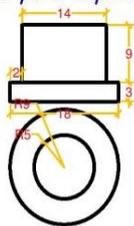
*Soporte de motor Spindle*



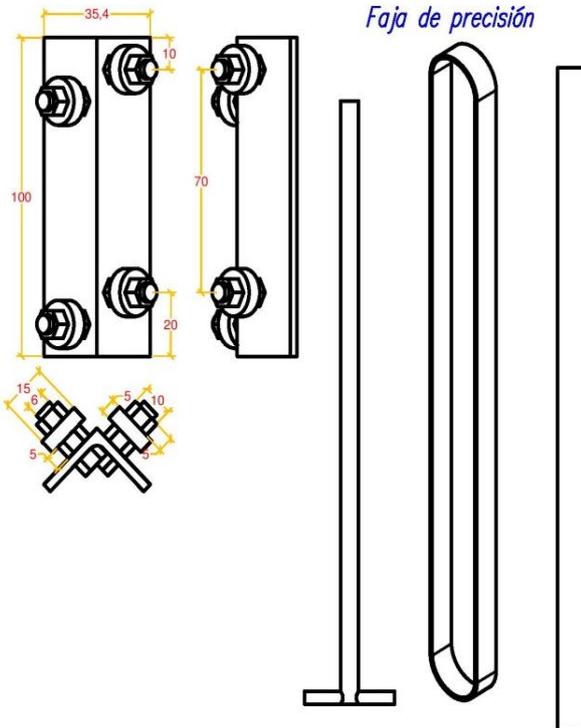
*Pieza de plastico para sujeción de vigas*



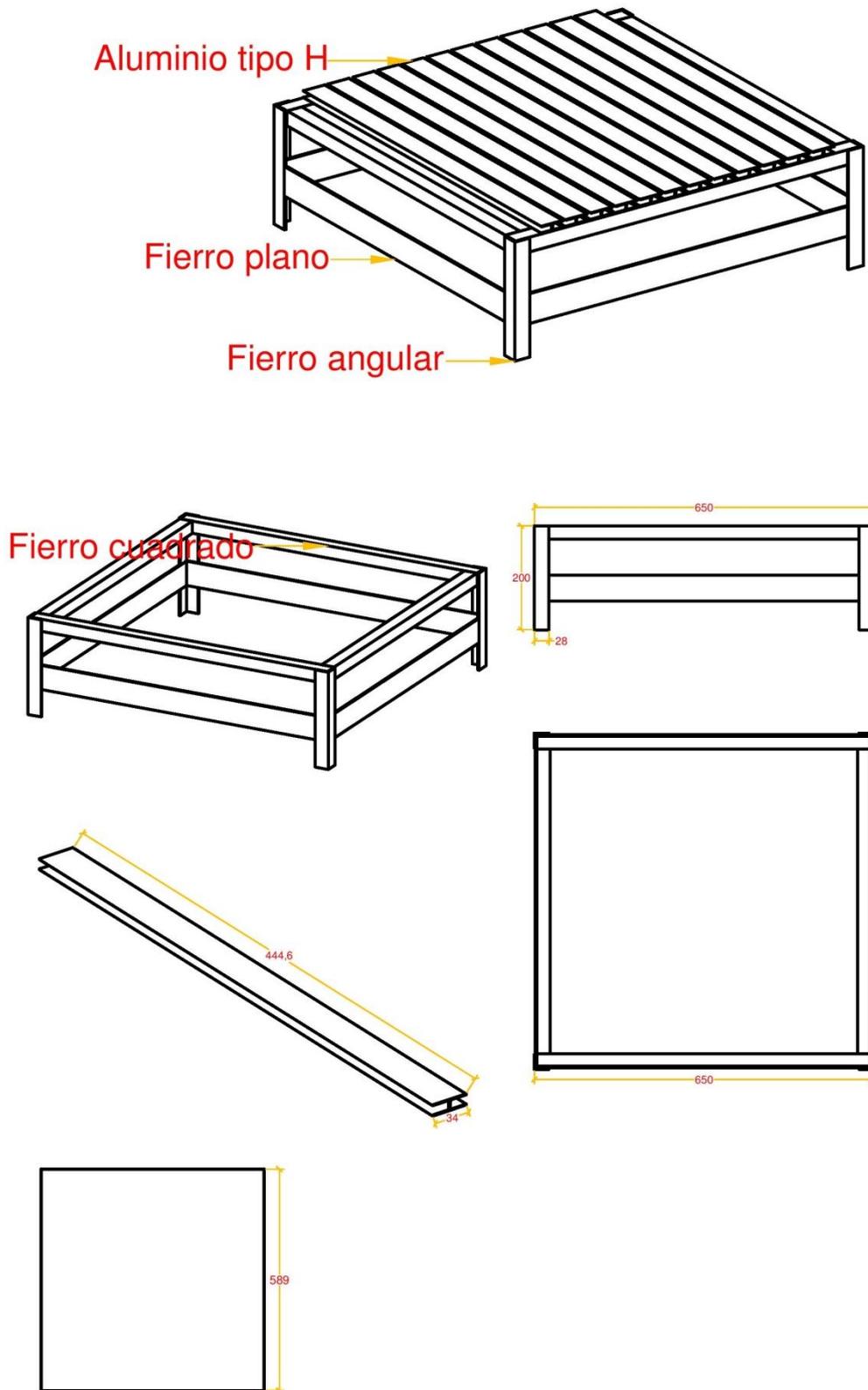
*Buje para soporte inferior de Viga*



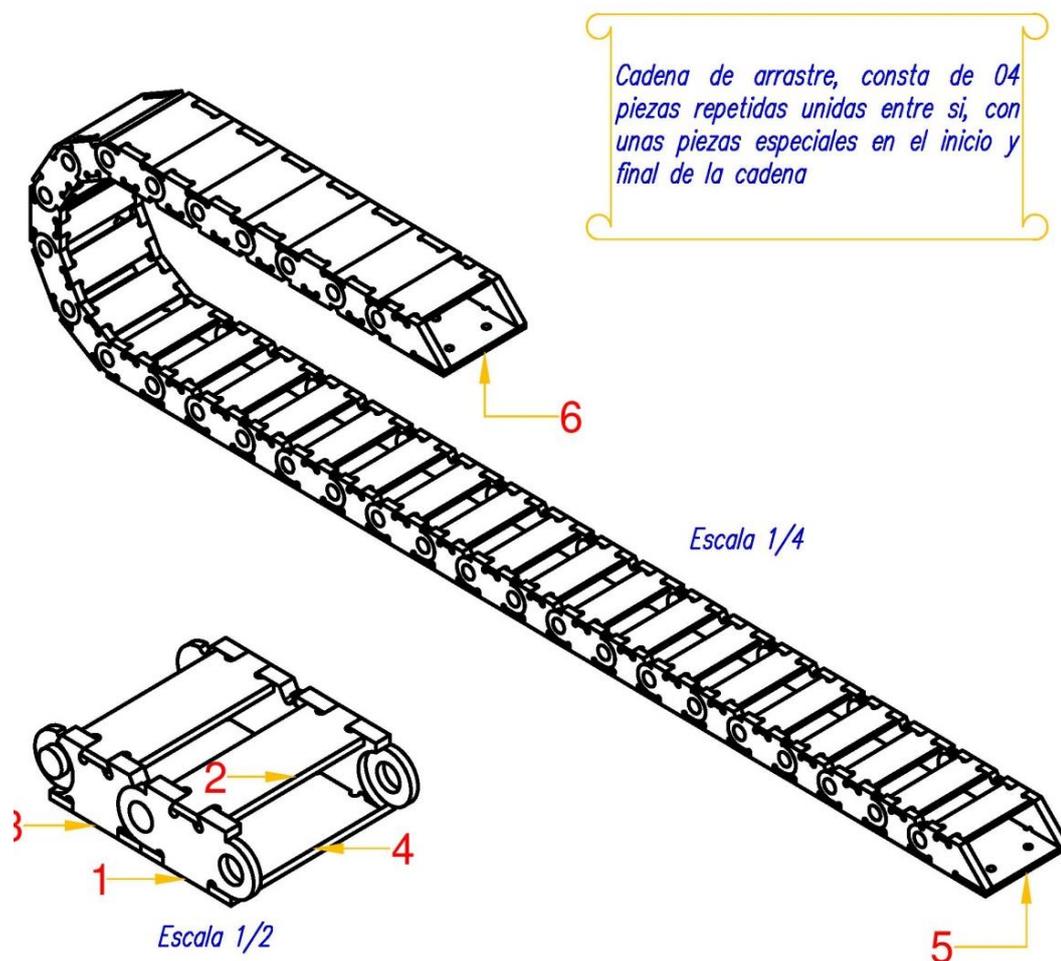
*Faja de precisión*



ANEXO 20: Mesa de la Máquina.



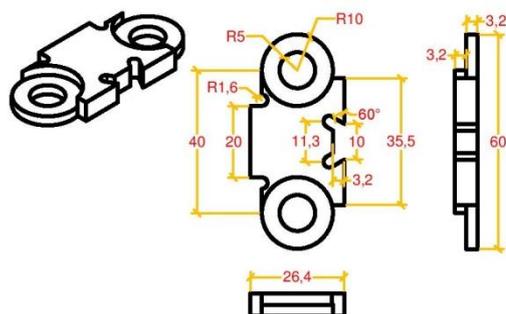
ANEXO 21: Vista general de la Cadena Porta Cables de PVC.



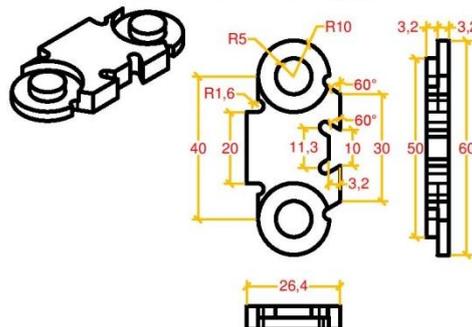
|   |                              |
|---|------------------------------|
| 1 | Pieza lateral con agujeros   |
| 2 | Pieza lateral sin agujeros   |
| 3 | Pieza superior               |
| 4 | Pieza posterior              |
| 5 | Piezas especiales del inicio |
| 6 | Piezas especiales del final  |

ANEXO 22: Partes, Dimensiones de cadena porta cables.

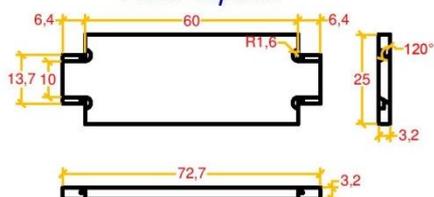
*Pieza lateral con agujeros*



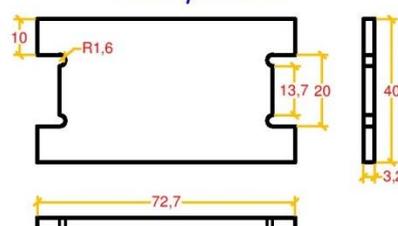
*Pieza lateral sin agujeros*



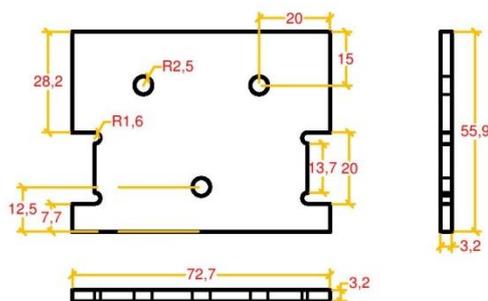
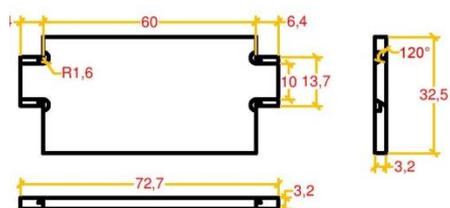
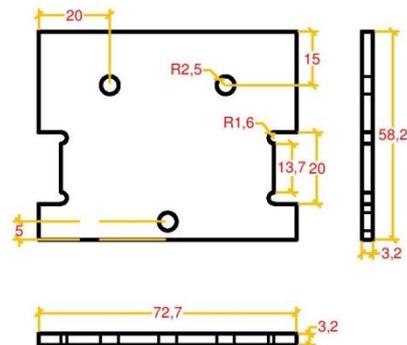
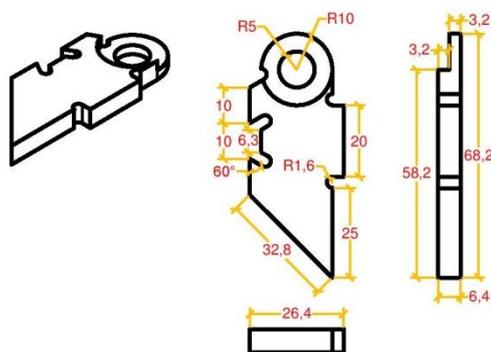
*Pieza superior*



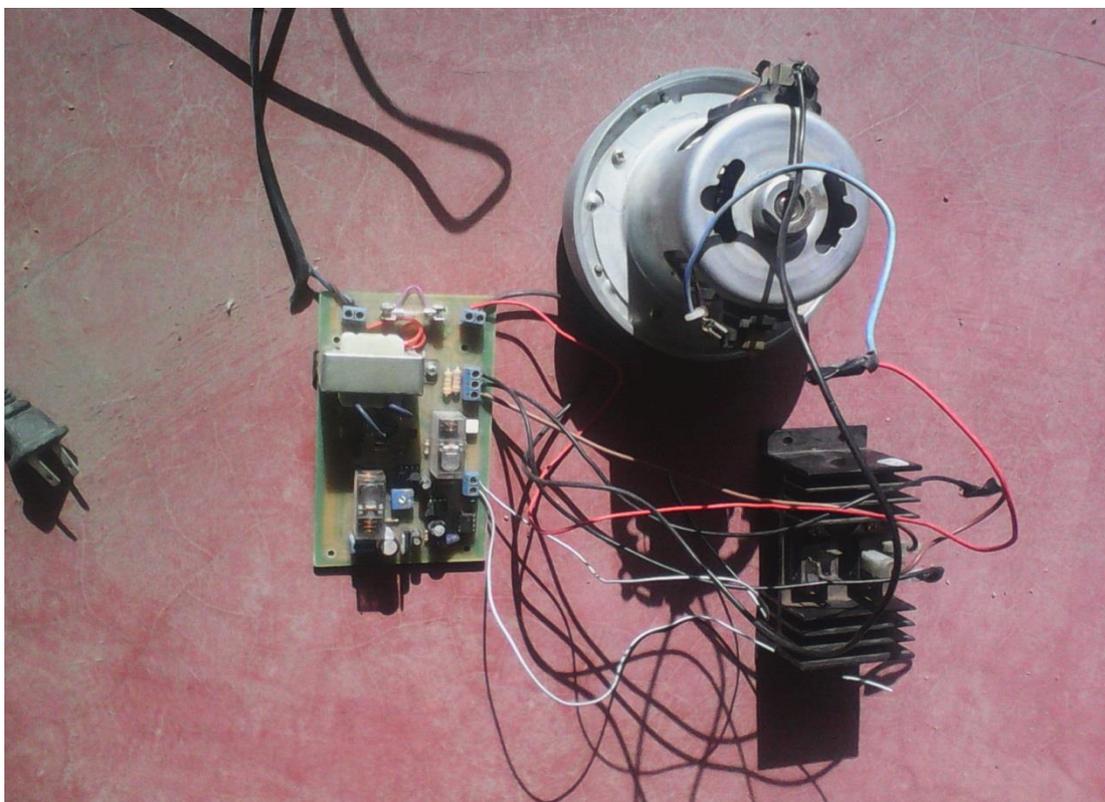
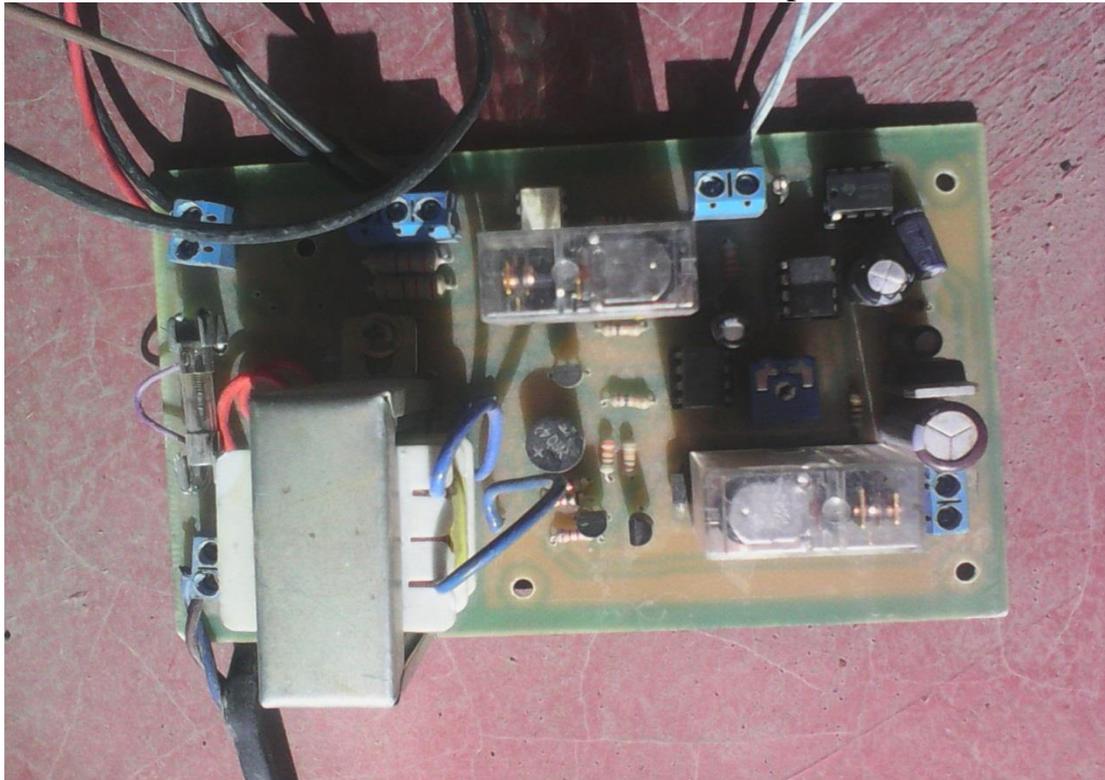
*Pieza posterior*



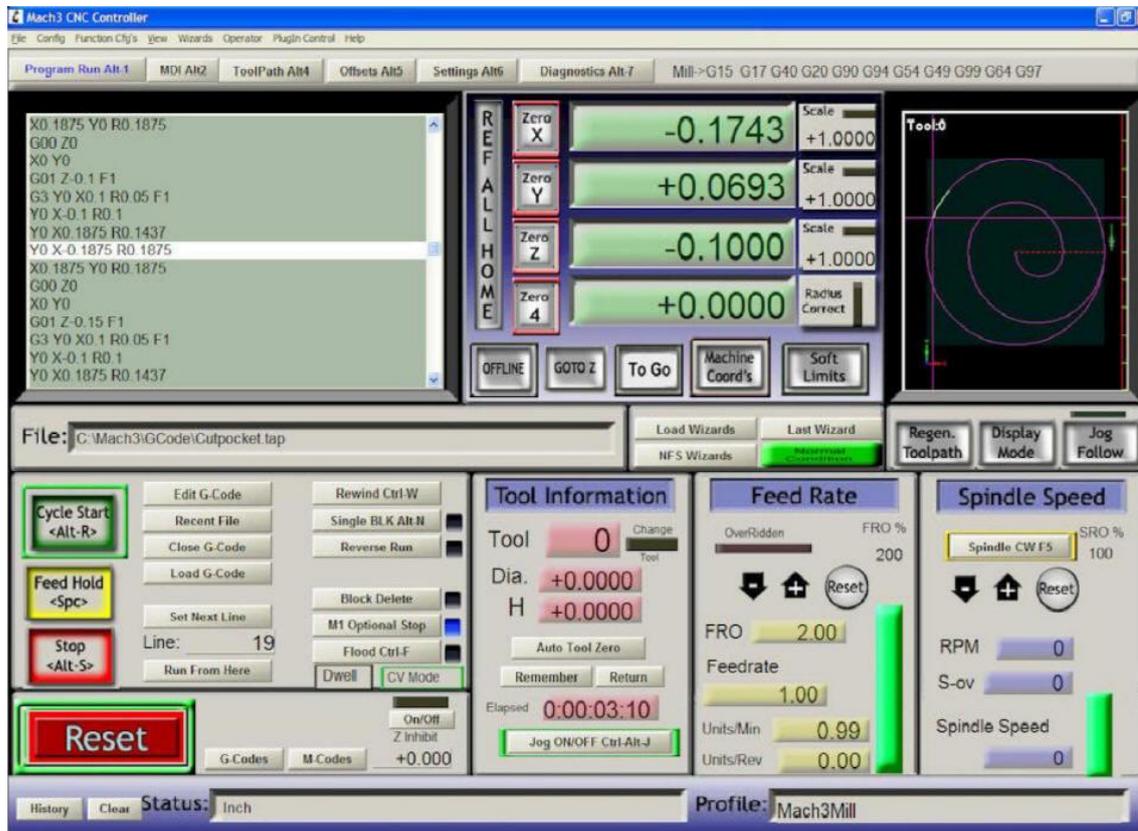
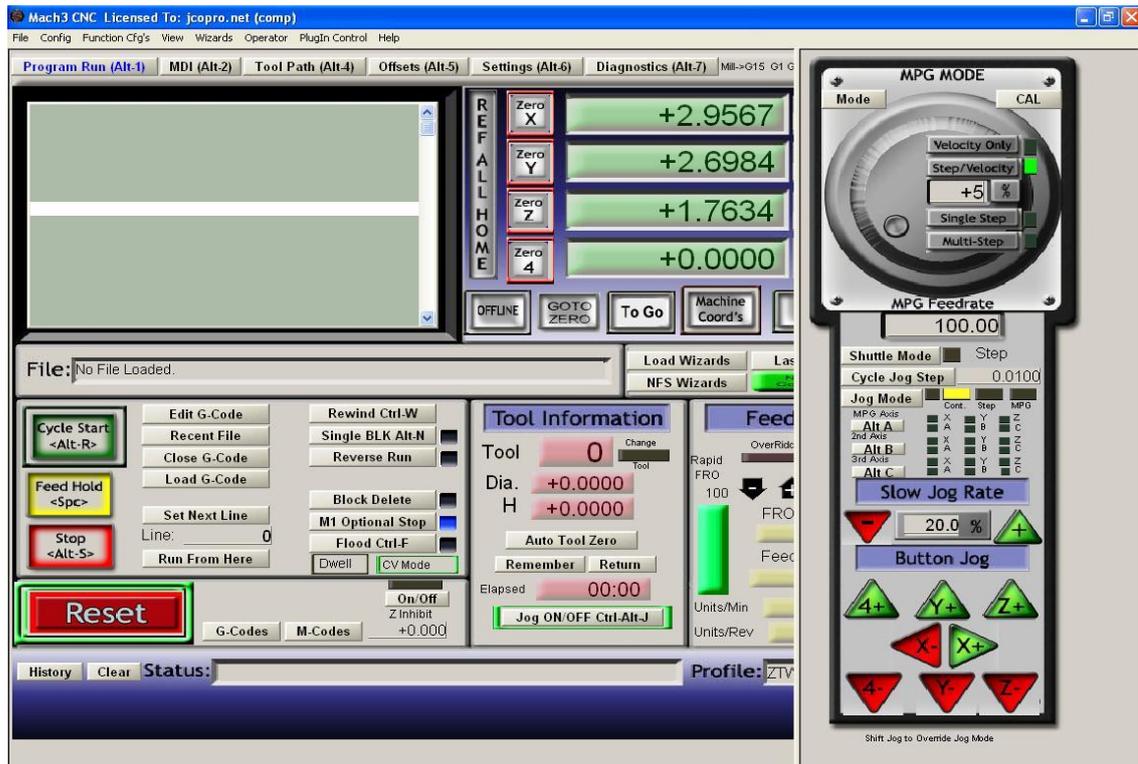
*Piezas especiales del inicio y final*



**ANEXO 23:** Fotos del controlador del sistema de limpieza.



ANEXO 24: Capturas de pantalla del software.



ANEXO 25: Fotos de la máquina CNC.



ANEXO 26: Fotos del tallado de 30x35cm realizado en la Máquina.

