



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE
CONTROL DE FRESADORA DE LABORATORIO DE FIMCP”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO/A EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

GEOVANNY MICHAEL IZURIETA BURGOS

NADIA ALEJANDRA MOLINA RIVAS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por darme la vida y llenarla siempre de bendiciones. A mis padres, hermano y familia, que siempre me han brindado su amor y apoyo incondicional. A todos mis amigos, por estar cuando se los necesita y su apoyo ante la adversidad. A mi compañero de tesis, Michael Izurieta, por su amistad y su apoyo. A mis profesores, quienes son los responsables de impartir los conocimientos que me harán una excelente profesional, en especial a los ingenieros Damián Larco, Ronald Solís y Fausto Maldonado, por sus consejos y apoyo en mi formación profesional y por supuesto en la culminación de este proyecto integrador.

Nadia Molina Rivas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar a este momento de mi vida en conjunto con toda mi familia, mi mamá y papá que siempre con su esfuerzo y dedicación nunca me dejaron abandonado en cada etapa o momento de mi vida en que los he necesitado, Agradezco a mis dos hermanos que siempre cada uno ha sido como un padre y madre más para mí entre todo lo malo o bueno están para mí, también a mis cuñados o hermanos de vida que siempre están cuando los necesito, a mis amigos el cual los considero más que solo amigos porque siempre son un apoyo en mi vida para tomar decisiones duras y hacerme ver mis errores y malas decisiones, pero la vida es de aprendizaje y lo importante es llegar a la meta y sentirte bien con uno mismo.

Geovanny Izurieta Burgos

DEDICATORIA

Le dedico principalmente a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, Jenny Rivas y Víctor Molina, quienes son el pilar fundamental en mi vida, por su amor, su apoyo incondicional y comprensión durante todo este tiempo; a mi hermano, Ali Molina, por además de ser mi compañero y mi amigo, gracias por siempre estar cuando lo necesito. A mis amigos y personas que con su ayuda me han permitido culminar con éxito este proyecto.

Nadia Molina Rivas

DEDICATORIA

Le dedico este logro a mi familia hermanos y padres que siempre hemos luchado y anhelado este momento, en especial a mi madre, Betsabeth Burgos, que siempre ha sido mi inspiración de lucha y fortaleza me enseñó que así no tengas forma de lograr algo, siempre se debe de buscar un camino y continuar. La vida nunca se acaba cuando los demás nos dicen si no cuando uno mismo lo decide. A mis hermanos, Josué, Lizbeth, Julio y Adriana que siempre han luchado conmigo en todas las batallas. A mis tías, Janeth, Pola, Ney y Panchita por siempre estar pendiente y ayudarme. Mis amigos Antony, Bryan, Luis, Pamela, Mayken, Nadia, Andrea, Jenniffer y Daniela, por nunca caer y seguir en esas noches eternas de estudio, brindarme su tiempo y paciencia.

Geovanny Izurieta Burgos

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; *Geovanny Michael Izurieta Burgos* y *Nadia Alejandra Molina Rivas* damos nuestro consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Geovanny Michael
Izurieta Burgos

Nadia Alejandra Molina
Rivas

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo modernizar el control electrónico de una máquina fresadora Denford Triac Serie CNC de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, que por fallas técnicas en su tablero de control se encuentra inoperativa, debido a que los drivers de control ya no se consiguen en el mercado local además de estar obsoleto, debido a este hecho se ve en la necesidad de reemplazar los motores de cada uno de los ejes de operación de la máquina fresadora con su respectivo controlador, con el fin de habilitar nuevamente el funcionamiento de la máquina fresadora CNC, de modo que pueda ser usada para mecanizar piezas en madera de esta manera docentes y estudiantes puedan desarrollar prácticas o trabajos basados en diseño CAD/CAM.

En este proyecto integrador se efectúa el diseño del sistema de control de una máquina fresadora CNC, además de la selección de motores y elementos requeridos en la máquina para lograr su operatividad (como, por ejemplo, el Spindle de la máquina fresadora).

Para ello se analizan las características físicas y propiedades mecánicas de la materia prima que se va a mecanizar, en nuestro caso madera, información preliminar que aporta para poder determinar las fuerzas ejercidas en las diferentes partes que componen dicha máquina, como mesa de trabajo o del Spindle, y con lo que se desarrollan los cálculos para la selección de componentes correspondientes.

A partir de los cálculos iniciales para la selección de componentes para la máquina CNC, se procede con un análisis de los componentes que cumplan con los requisitos requeridos para el funcionamiento de la máquina fresadora. Por lo consiguiente, se presenta dos opciones factibles de cada uno de los componentes para la operatividad de la máquina fresadora CNC. Además de una comparación de la máquina fresadora CNC modernizada versus una máquina fresadora CNC de la marca Siemens para uso educacional.

Con los resultados obtenidos, se realiza un análisis de costo – beneficio sobre la modernización de la máquina fresadora CNC Denford, la cual podrá realizar prácticas relacionadas a la mecanización en madera para la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de ESPOL.

Palabras Clave: CNC, fresadora Denford, CAD/CAM

ABSTRACT

The objective of this degree work is to modernize the electronic control of a Denford Triac CNC Series milling machine of the Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción of the Escuela Politécnica del Litoral, which for technical failures in its control panel is Inoperative, because the control drivers are no longer available in the local market in addition to being obsolete, due to this fact it is necessary to replace the motors of each of the axes of operation of the milling machine with its respective controller, in order to enable the operation of the CNC milling machine again, so that it can be used to machine wood pieces in this way teachers and students can develop practices or work based on CAD / CAM design.

In this project the design of the control system of a CNC milling machine is carried out, in addition to the selection of motors and elements required in the machine to achieve its operability (such as the Spindle of the milling machine).

For this, the physical characteristics and mechanical properties of the raw material to be machined are analyzed, in our case wood, preliminary information provided to determine the forces exerted on the different parts that make up the machine, such as a work table or Spindle, and with which the calculations for the selection of corresponding components are developed.

From the initial calculations for the selection of components for the CNC machine, an analysis of the components that meet the requirements required for the operation of the milling machine is carried out. Therefore, two feasible options of each of the components for the operation of the CNC milling machine are presented. In addition to a comparison of the modernized CNC milling machine versus a CNC milling machine of the Siemens brand for educational use.

Keywords: CNC, milling machine Denford, CAD/CAM

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	4
DEDICATORIA.....	5
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	III
ÍNDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
CAPÍTULO 1	12
1 Introducción	12
1.1 Descripción del problema	12
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo General	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.3 Marco Teórico.....	15
1.3.1 Antecedentes Investigativos.....	15
1.3.2 Control Numérico Computarizado	15
1.3.3 Fresadora.....	19
CAPÍTULO 2	21
2 Metodología	21
2.1 Interface máquina – computador	21
2.1.1 Interface Mach3	22
2.2 Controladores	23
2.2.1 Controlador de Motor DC por USB.....	23

2.2.2	Controlador de Motores DC Doble	23
2.2.3	Controlador de Motor Paso a Paso Easy Step 3000	24
2.2.4	Controlador Interface Industrial	25
2.2.5	Drivers	26
2.2.6	Finales de carrera	27
2.3	Actuadores (Motores paso a paso)	28
3	DISEÑO Y SELECCIÓN	29
3.1	Parámetros de diseño.....	29
3.1.1	Parámetros de geométricos	30
3.1.2	Parámetros de operación	30
3.2	Criterios de selección	36
3.3	Selección del Spindle	38
3.3.1	Selección del Variador de Frecuencia para Spindle	39
3.4	Selección de los finales de carrera	40
3.5	Selección de los motores paso a paso	40
3.6	Selección de tarjetas electrónicas y controladores	42
3.6.1	Selección de los drivers	42
3.6.2	Selección del controlador	43
3.6.3	Selección de kit (motores, controladores, tarjetas)	45
3.7	Fresadora CNC Moderna	45
3.8	Presupuesto de Elaboración.....	47
3.8.1	Costos de Maquinas en el Mercado.	47
3.8.2	Análisis de costo y beneficios.....	48
4	Conclusión y Recomendación.....	49
4.1	Conclusiones:.....	49
4.2	Recomendaciones.....	50

BIBLIOGRAFIA

APENDICE

ABREVIATURAS

CNC	Control Numérico Computarizado
CAD	Diseño Asistido Por Ordenado
CAM	Fabricación Asistida Por Computadora
USB	Universal Serial Bus
DC	Corriente Directa
TTL	Lógica Transistor a Transistor
PWM	Modulación por Ancho de Pulso
RS232	Estándar Recomendado 232
MOSFET	Transistor de Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor
COM	Común
NO	Normalmente Abierto
NC	Normalmente Cerrado
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
NEMA	National Electrical Manufacturers Association

SIMBOLOGÍA

V	Voltios
A	Amperios
N	Newton
mm	Milímetros
mm ²	Milímetros cuadrados
mm ³	Milímetros cúbicos
RPM	Revoluciones por minuto
W	Watts
kW	Kilo watts
HP	Caballos de fuerza
m	Metros
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
h	Horas
min	Minutos
s	Segundos
ms	Milisegundos
Hz	Hertz
Kg	Kilogramos
Lbs	Libras
in	Pulgadas
in ²	Pulgadas cuadradas
in ³	Pulgadas cúbicas
MPa	Mega pascuales
ksi	Kilo libras/pulgada cuadrada
HRB	Dureza en Rockwell B
pie	Pies
pie ²	Pies cuadrados
pie ³	Pies cúbicos
CFM	Pies cúbicos por minuto
Oz	Onzas
hpp	Hilos por pulgada
spr	Pasos por revolución
sps	Pasos por segundo
V _c	Velocidad de corte
D	Diámetro de la herramienta de corte
N	Velocidad de la herramienta de corte
V _a	Velocidad de avance
f _z	Avance por diente
Z	Número de filos
p	Profundidad de corte
s'	Avance
AC	Área de corte

e	Espesor de viruta
K	Constante de proporcionalidad
K _{so}	Presión específica de corte
b	Factor de corrección
F _c	Fuerza de corte
P _c	Potencia de corte
P _e	Potencia eléctrica
η	Eficiencia del motor
F ₁	Fuerza uno
F ₂	Fuerza dos
F _T	Fuerza total
V	Fuerza cortante
L _t	Longitud total
L _d	Longitud de desplazamiento
d _e	Diámetro exterior
p	Paso del husillo de bolas
d _r	Diámetro de raíz
d _m	Diámetro medio
μ	Coeficiente de fricción
C _o	Capacidad de carga estática
Λ	Angulo de avance
Φ	Angulo en el plano normal
D _w	Diámetro primitivo
D _p	Diámetro primitivo para Polea
D _i	Diámetro Interno
D _e	Diámetro Externo
L	Distancia Recorrida por la tuerca en una revolución
N	Revoluciones
N _w	Número de Dientes
N _d	Número de Dientes para Poleas
P _x	Paso Axial
P _m	Potencia del Motor
T	Torque Requerido
Z _c	Número de Dientes
Z _e	Número de dientes mínimo en contacto

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Definición Ilustrativa del CNC	16
Figura 1.2 Control punto a punto	17
Figura 1.3 Mecanizado Paraxial	17
Figura 1.4 Control continuo	18
Figura 1.5 Interpolación lineal.....	18
Figura 1.6 Interpolación circular.....	19
Figura 1.7 Fresadora CNC	19
Figura 1.8 Partes de fresadora vertical No 1	20
Figura 1.9 Partes de fresadora vertical No 2.....	20
Figura 2.1 Estructura de Implementación de Fresadora CNC.....	21
Figura 2.2 Pantalla de inicio de Mach3	22
Figura 2.3 Controlador USB 18V7	23
Figura 3.1 Fresadora Denford Triac Serie CNC.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Dimensiones de la mesa de trabajo	30
Tabla 3.2 Presión específica de corte de fresado	34
Tabla 3.3 Pesos de elementos de la fresadora.....	36
Tabla 3.4 Características de los Spindle.....	38
Tabla 3.5 Características de Variador de Frecuencia para Husillo.....	39
Tabla 3.6 Características de los Motores.....	41
Tabla 3.7 Características de Drivers de Control	43
Tabla 3.8 Característica de Controlador	44
Tabla 3.9 Características de Kits de Motores	45
Tabla 3.10 Características de Fresadora Moderna	46
Tabla 3.11 Costo de Implementación del Sistema	47
Tabla 3.12 Costos en el Mercado de Fresadoras	48

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

En el campo manufacturero, la máquina CNC es una herramienta necesaria para la elaboración de piezas mecánicas de gran precisión de forma automática. Esta clase de máquina nos permite obtener detalles que otras máquinas carecen, manteniendo altos estándares de diseño y precisión, así mismo amenorando el tiempo de producción de manera que incrementa significativamente la productividad como respecto a la industria. Por dicha razón, la facultad de ingeniería mecánica y ciencias de la producción (FIMCP) con el fin de reforzar los conocimientos teóricos de los estudiantes y ponerlos en práctica, dispone en unos de sus laboratorios de una maquina CNC de la marca Denford, la cual se encuentra inoperativa por fallas en los drivers de control. Debido a esto, se propone la operatividad de esta máquina incorporando nuevos motores con su respectivo controlador además de incorporar un software que permita la comunicación con los drivers para que la máquina realice una tarea en específico, de modo que esta trabaje similar a su control original.

Este proyecto integrador tiene como finalidad la habilitación de la máquina fresadora CNC inactiva para alcanzar dicho objetivo se incorporarán motores a cada uno de los tres ejes de la máquina con su controlador pertinente. Además, mediante un software permitir el control por medio del usuario de una forma dinámica y amigable para el mismo. De modo que los estudiantes operen la máquina fresadora CNC poniendo en práctica sus conocimientos teóricos que próximamente los ayudará en el campo laboral.

1.1 Descripción del problema

Anteriormente el hombre para facilitar sus condiciones de vida ya sean estas en su hogar, el trabajo o simplemente en sus actividades diarias, este demandaba el uso de artefactos o pequeñas herramientas que le

ayuden a reducir su esfuerzo físico, estos instrumentos eran elaborados por métodos manuales como la forja, el moldeado, y otras técnicas de herraje que requerían de mucho tiempo para su elaboración, en sí toda la actividad del hombre y en particular de su tecnología se ha basado en la utilización de herramientas creadas de forma artesanal y con máquinas totalmente manuales.

Con el pasar de los años la revolución industrial abrió el camino a nuevas innovaciones tecnológicas que han permitido en la actualidad la inserción al campo manufacturero de nuevas máquinas totalmente automáticas, permitiendo aumentar en número y calidad de la elaboración de piezas mecánicas o demás utensilios que requieren de un proceso para su elaboración, optimizando así eficientemente una cadena producción, dándole más flexibilidad al poder cambiar el diseño a manufacturar sin requerir de nueva reingeniería en el proceso, o tener que parar la operación de la planta por un tiempo prolongando, disminuyendo también la mano de obra directa al no requerir supervisión en cada proceso de manufactura, que para una empresa es una meta gerencial.

Una de esta clase de máquinas totalmente automáticas y como tendencia moderna de automatización en una cadena de producción manufacturera son las operadas por control numérico o conocidas también como máquinas CNC mismas que están conectadas a un ordenador central que cuenta con un software en el cual se puede programar, almacenar y transmitir información para la operación de las máquinas operadas por control numérico.

La Escuela Superior Politécnica de Litoral impulsando el avance tecnológico en el Ecuador y principalmente promoviendo el desarrollo y progreso de la tecnología por medio de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción imparte sus conocimientos a los estudiantes en materia tecnológica sobre sistemas CAD que es un Diseño Asistido por Computadora y CAM que es una Manufactura Asistida por Computadora, para ello utiliza para practica de los estudiantes una máquina fresadora

CNC, la misma que por su fabricación y origen no permite tener un fácil acceso a repuestos, mantenimiento, y eventuales actualizaciones que se le debe suministrar para prolongar su vida útil.

Esta máquina fresadora CNC al momento se encuentra inactiva debido a fallas técnicas en su módulo controlador original provocadas por no haber recibido un buen mantenimiento, mala manipulación del equipo por parte de los estudiantes, o una falla en el sistema de protección de sobrecargas eléctricas, las cuales produjo que esta máquina esté al momento dañada y no pueda ser ocupada por los estudiantes para complementar prácticamente las materias de CAD y CAM que se imparten en la Facultad, es por eso que este estudio permitirá proponer un diseño alternativo de un módulo controlador elaborado con partes y elementos de fácil acceso que permita la correcta operación de la máquina y sustituir así el módulo controlador original logrando poner ésta máquina nuevamente en funcionamiento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de control modernizado para una maquina CNC fresadora de la Facultad de Mecánica y Ciencias de la Producción que sea manipulado mediante software.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar los motores ideales para cada uno de los ejes de la fresadora CNC para que cumpla con los requerimientos solicitados.
- Modernizar los drivers de control y elementos electrónicos obsoletos con la finalidad que la máquina CNC funcione correctamente.
- Escoger un software de control ideal que garantiza al usuario un entorno óptimo y amigable en las elaboraciones a realizar con la máquina CNC.

1.3 Marco Teórico

1.3.1 Antecedentes Investigativos

En la industria manufacturera debido al avance tecnológico que se observa en la actualidad y la demanda de los consumidores, las empresas que ofrecen este servicio se ven en la obligación de mejorar su capacidad de producción. Para esto las empresas en esta industria utilizan máquinas CNC, operadas por control numérico, ya que es un dispositivo rápido y eficiente de manipular en una línea de producción, donde es de gran importancia la operatividad y la disponibilidad de estos equipos ya que una para en una planta representan pérdidas de tiempo y monetaria para la empresa.

El control numérico controlado por computadora es básicamente adaptable a cualquier máquina donde sus trayectorias o movimientos de sus ejes son controlados por motores. El costo y diseño de estas máquinas dependerán de las especificaciones o características que la empresa necesite como velocidad, precisión, tamaño, tipo de operación, capacidad de almacenamiento, etc.

En nuestro país, las empresas agregan estas máquinas CNC a su cadena de producción. Debido al elevado costo, para las empresas no es sustentable adquirir equipos nuevos, por ello una solución que promueven a los estudiantes de distintas universidades del Ecuador es modernizar equipos CNC no operativos que dispongan diferentes empresas del país. De tal manera que puedan encaminar a máquinas convencionales a la automatización de manera que mejoren la línea de producción de modo que sea de fácil operatividad y control para el usuario [1].

1.3.2 Control Numérico Computarizado

El Control Numérico por Computador, también llamado CNC (por sus siglas en inglés, Computer Numerical Control), es cualquier dispositivo el cual sea posible dirigir el posicionamiento en diferentes planos de un aparato mecánico por medio de órdenes predeterminadas y elaboradas

de forma automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real para cumplir un trabajo específico (como se ilustra en la Figura 1.1) [1].

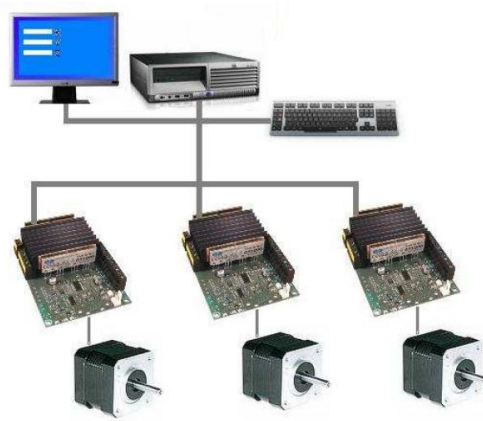


Figura 1.1 Definición Ilustrativa del CNC

Principio de funcionamiento

El sistema de CNC se basa en el control de los movimientos de los ejes de coordenadas de la máquina, generado por un software el cual es ejecutado por un computador.

Generalmente el CNC es requerido en operaciones específicas de maquinado como son las de fresado, corte o productos que en el mercado demanden características de normalización e igualdad, como por ejemplo en el mercado de repuestos y partes de autos. Este sistema ha facilitado la fabricación de todo tipo de objetos en la industria manufacturera [1].

Sistemas de control del movimiento para el CN

Existen tres modos básicos de control para el movimiento de los ejes de coordenadas de una máquina, y es posible que estén puedan operan por cualquiera de estos tipos de control.

Control Numérico punto a punto

Este tipo de control también se lo denomina de posicionado, este determina y posiciona la herramienta en un punto previamente definido sin tomar en cuenta la trayectoria seguida. Los parámetros de interés para este control únicamente serán la rapidez que alcanza la herramienta y la precisión de encontrarse en el punto deseado. El posicionamiento puede ser secuencial o simultáneo dependiendo del desplazamiento de la

herramienta siguiendo la dirección de los ejes (como se observa en la Figura 1.2) [1].

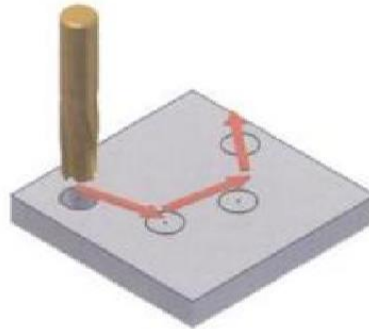


Figura 1.2 Control punto a punto

Control Numérico Paraxial

Para el mecanizado paraxial, solo le es permitido a la máquina realizar movimientos paralelos u ortogonales (ver Figura 1.3). Este movimiento se obtiene mediante el accionamiento de un solo eje mientras que el resto se encuentran bloqueados. Este control no permite realizar mecanizados en direcciones distintas a la de los ejes. Un CN paraxial puede efectuar un movimiento punto a punto [1].

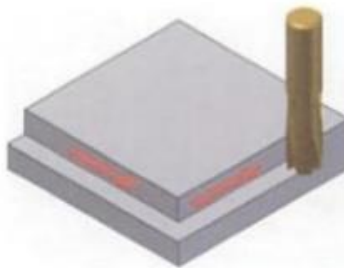


Figura 1.3 Mecanizado Paraxial

Control Numérico interpolar o continuo

A diferencia del mecanizado paraxial, este mecanizado tiene la capacidad de controlar varios ejes de forma simultánea. De esta forma la herramienta puede realizar cualquier trayectoria en el plano, ya sean estas líneas rectas o curvas como se puede observar en la Figura 1.4 [1].

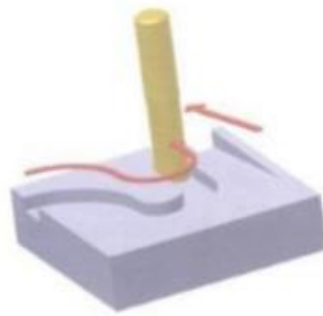


Figura 1.4 Control continuo

La posibilidad de mover dos o más motores simultáneamente se la denomina interpolación. En los CNC convencionales los más utilizados son la interpolación lineal y la interpolación circular.

En la interpolación lineal, el controlador mueve la herramienta en línea recta entre dos puntos mediante trenes de pulsos uniformemente distribuidos, donde la relación entre las frecuencias de cada eje es la pendiente de la recta como podemos ver en la Figura 1.5 [1].

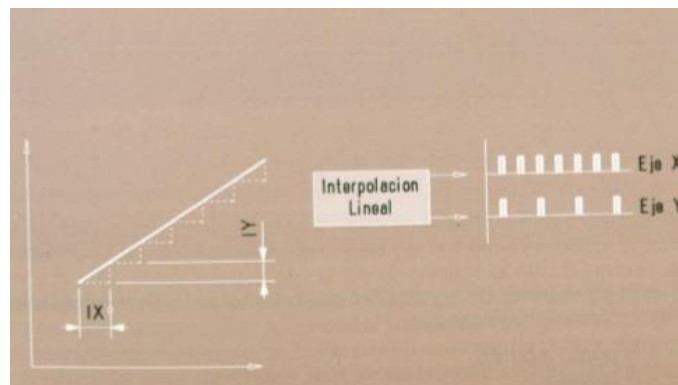


Figura 1.5 Interpolación lineal

Mientras que para la interpolación circular, el controlador mueve la herramienta en una trayectoria circular mediante impulsos cuyas frecuencias siguen la ley del seno y del coseno en cada eje respectivamente. En primer lugar para definir una interpolación circular se debe situar en el plano que contiene el arco y dar puntos de inicio y de fin para definir el radio como se observa en la Figura 1.6 [1].

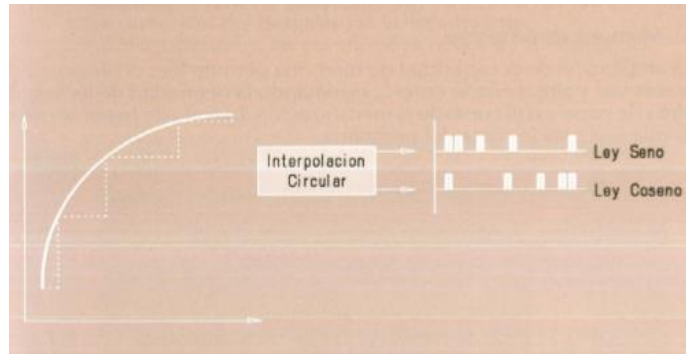


Figura 1.6 Interpolación circular

1.3.3 Fresadora

Descripción de una maquina fresadora

Una fresadora es una máquina la cual su función principal es girar a una velocidad constante una herramienta provistas de artistas cortantes situadas simétricamente alrededor de un eje , llamado fresa, con la finalidad de eliminar material de una pieza de trabajo móvil.

Antiguamente, todos los movimientos de los ejes de la fresadora se efectuaban manualmente. Actualmente con el avance tecnológico, las fresadoras modernas son controladas por computadora, es decir cuentan con un control numérico computarizado, como la mostrada en la Figura 1.7 [1].



Figura 1.7 Fresadora CNC

Tipos de fresadoras

Fresadoras verticales

Las fresadoras verticales son aquellas donde la fresa solo se puede mover de arriba hacia abajo o viceversa, en otras palabras que el eje del husillo es vertical. Por lo tanto la fresa puede acercarse o alejarse de la parte superior o de la superficie de la pieza.

Fresadoras horizontales

Mientras que las fresadoras horizontales la fresa solo puede moverse de derecha a izquierda o viceversa. Ya que el eje del husillo es horizontal este solo puede acercarse o alejarse de la cara de la pieza.

Partes de la fresadora

Para nuestro proyecto integrador modernizaremos una fresadora vertical, Denford CNC Triac PC, nos focalizaremos en las partes de este tipo de fresadoras las cuales son: (ver Figura 1.8 y 1.9) [1].

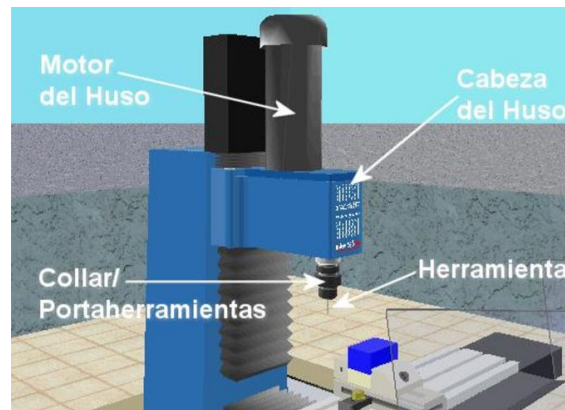


Figura 1.8 Partes de fresadora vertical No 1

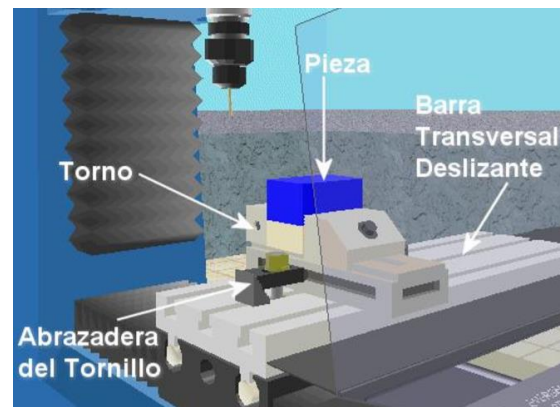


Figura 1.9 Partes de fresadora vertical No 2

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

El enfoque investigativo de este proyecto integrador es el empírico-analítico teniendo como objetivo dar una solución a una necesidad que surge en el ámbito profesional. Por lo tanto, está direccionado a la selección adecuada de los motores de cada uno de los ejes de la fresadora vertical con su respectivo driver de control además de que software-hardware seleccionar. Para la implementación de una fresadora CNC existen variedad de soluciones, pero en este caso en particular seguiremos la estructura mostrada en la Figura 2.1.

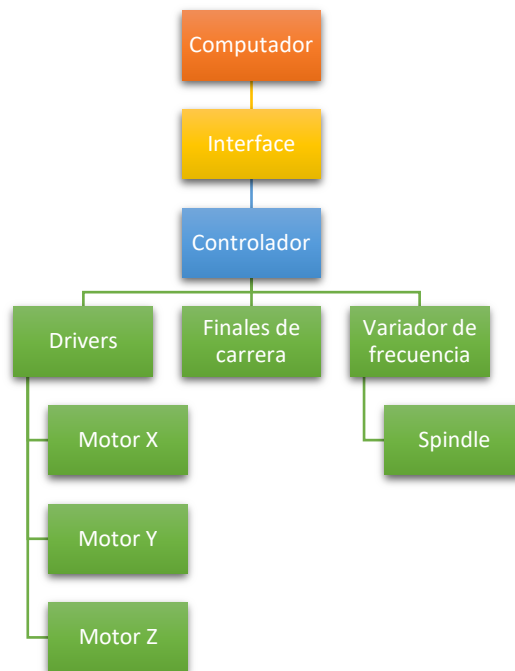


Figura 2.1 Estructura de Implementación de Fresadora CNC

2.1 Interface máquina – computador

La interface es el programado encargado de monitorear el estado de la máquina por pantalla, el cual se comunica de forma bidireccional; en otras palabras, transfiere información en ambas direcciones. Existen diferentes interfaces de comunicación con la CNC y el ordenador como GRBL, el cual es un intérprete del Código G optimizado para trabajar sobre Arduino. Mientras que para usuarios de Linux se recomienda utilizar la interface EMC2 que igual que GRBL es un proyecto “Open Source”.

Para este proyecto integrador usaremos una de las interfaces más usadas Mach3, la cual es totalmente compatible con cualquier versión de Windows 2000.

2.1.1 Interface Mach3

Mach3 es un software de control computarizado que efectúa la comunicación entre la computadora y los servomotores.

Este sistema es uno de los controles más versátiles de la industria. Mach3 es un sistema amigable al usuario por lo que las industrias los utilizan para automatizar sus equipos CNC.

Este controlador tiene implementado un integrado el cual efectúa la comunicación directa entre el control y CAD/CAM sin necesidad de guardar y exportar en Código G. Mach 3 es compatible con la mayoría de los sistemas CAD/CAM y los equipos existentes en el mercado.

A continuación, en la Figura 2.2, podemos visualizar la pantalla de inicio de nuestra interface Mach3 la cual se puede acceder a esta de cualquier parte de la interface presionando la combinación de tecla Alt+1 [2].

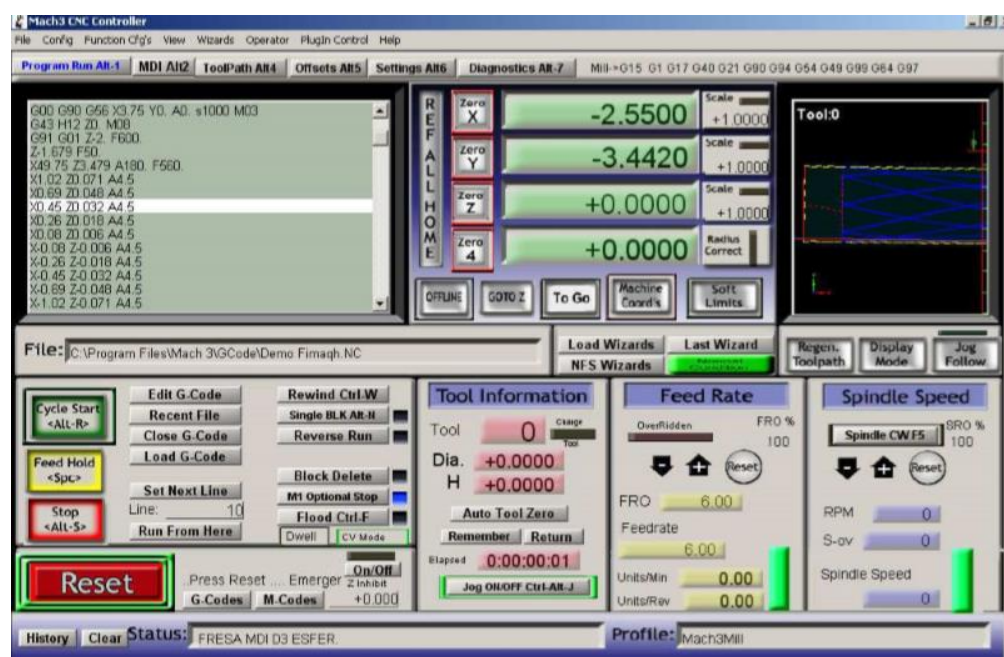


Figura 2.2 Pantalla de inicio de Mach3

2.2 Controladores

2.2.1 Controlador de Motor DC por USB

En la Figura 2.3, podemos observar un controlador el cual es capaz de controlar motores de corriente continua con un máximo de 24 voltios y 7 amperios mediante un ordenador vía USB. Este controlador puede ser intervenido por medio de comandos TTL, control mediante tensión de analógica o desde una radio control tipo RC. Permite el control de la velocidad y del sentido de giro de manera sencilla y precisa. Además, este controlador es compatible con Windows 8, 7, Vista XP y Linux para el monitoreo del funcionamiento del motor [3].



Figura 2.3 Controlador USB 18V7

2.2.2 Controlador de Motores DC Doble

El controlador tipo puente en H (ver Figura 2.4), tiene la capacidad de controlar hasta 2 motores de corriente continua de 12V a 2,8A. La comunicación del controlador con el ordenador se lo puede realizar por medio de un bus serie o bus I2C. El controlador es capaz de registrar la velocidad, aceleración, la corriente que circula por cada motor y los contadores de los codificadores de cuadrantes de cada motor. Este controlador tiene entradas para codificadores de motores los que retorna un tren de impulsos acorde el giro del eje del motor. Por consiguiente, esto permite que el controlador regule la potencia entregada a los motores para obtener la velocidad establecida en el registro [3].

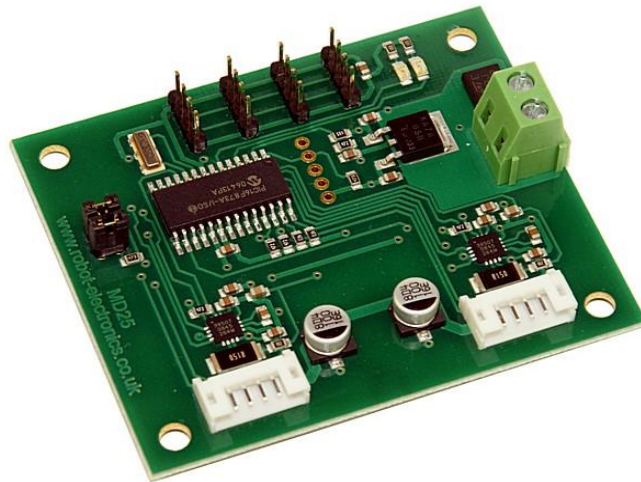


Figura 2.4 Controlador de Motores DC MD25

2.2.3 Controlador de Motor Paso a Paso Easy Step 3000

El controlador de motor paso a paso, mostrado en la Figura 2.5, consta de tres modos de operación. El primero denominado modo serie es aquel donde su modo de comunicación es mediante un puerto serie RS232. El segundo se lo conoce como el modo esclavo, el cual es controlado por entradas de paso y dirección, es decir que por medio de impulsos logran mover el motor un paso. Mientras que el tercer modo es aquel controlado por voltaje de entre 0 a 5V. De manera que permite controlar la posición del motor mediante potenciómetros al igual que un servo. Además, el Easy Step cuenta con un registro el cual guarda la posición relativa desde un origen establecido por el usuario y un registro de marca. Es capaz de controlar motores paso a paso unipolares con un máximo de 35V y 3A por fase [3].

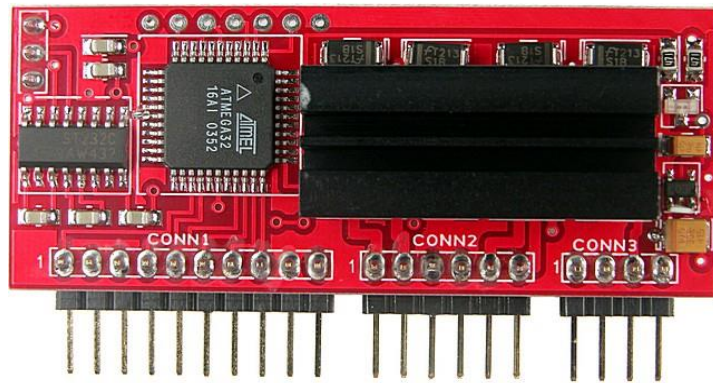


Figura 2.5 Easy Step 3000

2.2.4 Controlador Interface Industrial

En la figura 2.6, podemos visualizar el controlador industrial de motores de paso a paso el cual tiene incorporado funciones de aprendizaje y repetición que está montado sobre un circuito con borneras lo que permite integrar el controlador a cualquier máquina de manera sencilla. Este controlador tiene una entrada con indicador de alimentación y salida de 5V además de protección contra corto circuitos [3].

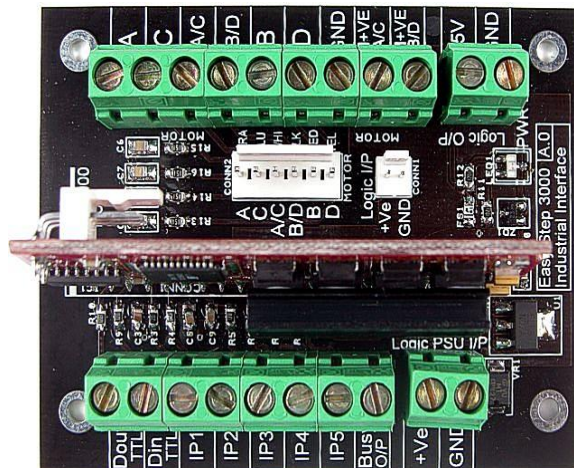


Figura 2.6 Controlador Industrial Easy Step

2.2.5 Drivers

Driver de motor paso a paso

Los drivers están compuestos por tres tarjetas, dos de ellas son las encargadas de la conmutación de los MOSFETs del puente en H que regula la corriente que pasa por cada una de las fases del motor paso a paso. Mientras que la tercera tarjeta es la que garantiza el acondicionamiento de las señales provenientes del encoder [4].

Tarjetas de conmutación MOSFETs

Como logramos visualizar en la Figura 2.7 (enmarcado en rojo), el driver está constituido por dos tarjetas de conmutación MOSFETs las cuales tienen añadido circuitos de control y potencia. Cada una de estas tarjetas tiene la responsabilidad de gobernar una de las fases del motor paso a paso. En lo único que se diferencia una de la otra es que una de las tarjetas lleva la conexión con la PC, porque ambas tarjetas están diseñadas de la misma manera [4].

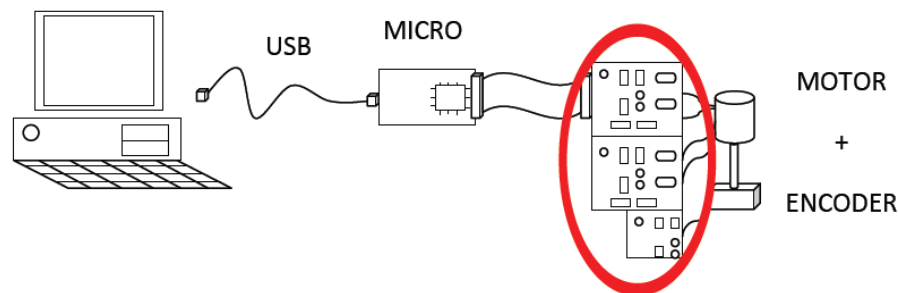


Figura 2.7 Esquema del circuito de control y potencia

Para controlar el motor paso a paso, cada una de las fases del motor está conectada a un convertidor en puente de cuatro transistores MOSFET controlados. La regulación de la corriente que circula por los devanados del motor se efectúa mediante la modulación de ancho de pulso (PWM) lo que es ejecutado por transistores que se encuentra en las ramas inferiores por medio de un circuito lógico.

Cuando una interrupción se genera, debido a la finalización de la cuenta del contador interno del microprocesador, envía una cadena de señales

tanto analógicas como digitales al driver del motor. La velocidad de giro de motor depende de forma proporcional al intervalo de la realización de dos interrupciones sucesivas [4].

Tarjeta encoder

La tarjeta encoder es responsable de tres funciones principales. La primera, el acondicionamiento de la señal de salida que provee el encoder. La segunda es cuadruplicar la resolución. La tercera y última es detectar el sentido de giro del motor paso a paso.

Tanto el motor paso a paso como el encoder se alimenta a 15V, por lo que le permita ajustar la salida entre 0 y 15 V los cuales están a 90 grados eléctricos desfasados entre sí. Para acondicionar las dos señales a niveles TTL, se cuenta con dos comparadores (LM311) con sus respectivos lazos de histéresis. La resolución al pasar por la tarjeta está se cuadricula (de 345 a 1380 impulsos por resolución) esto se obtiene mediante una función lógica XOR de las dos señales previamente acondicionadas a niveles TTL, ya con este paso previo la señal se encuentra duplicada. Posteriormente estas señales duplicadas además de un retraso adicional de esta señal tanto en los flancos de subida como bajada mediante una red RC más dos inversores con Trigger-Schmitt, los cuales son agregados para eliminar rebotes, se someten a una función XOR nuevamente lo que resulta en la señal cuadruplicada. Finalmente, esta señal resultante se envía por medio de un opto acoplador al microprocesador.

Para finalizar la tarjeta para detectar el sentido de giro del motor paso a paso lo realizar mediante una sola báscula Flip-Flop tipo D, la cual detecta los flancos de subida [4].

2.2.6 Finales de carrera

Los finales de carrera son pulsadores los cuales son utilizados para, como su nombre lo dice, indicar la finalización de un proceso en un sistema automatizado. Pero cuenta con dos características que las diferencian de los pulsadores comunes. En su mayoría, en vez de contar con un botón

los finales de carrera disponen de una pequeña palanca. Para nuestro caso en particular, si uno de los ejes se mueve hasta el final de su recorrido y acciona el final de carrera, el eje se detendrá por lo acontecido. La segunda característica, es que los finales de carrera cuentan de 3 pines, descritos como COM (común), NO (normalmente abierto) y NC (normalmente cerrado), como se observa en la Figura 2.9. El pin NO describe que cuando el pulsador está activo permite circular la corriente y si no es así pues no pasa corriente. Mientras que el NC por el contrario utiliza una lógica negada es decir que cuando el pulsador se encuentra activo no permite el paso de corriente y por el contrario no está accionado deja circular la corriente. El COM como su nombre lo indica es el pin común su uso dependerá de la configuración que se elija ya sea NC o NO.

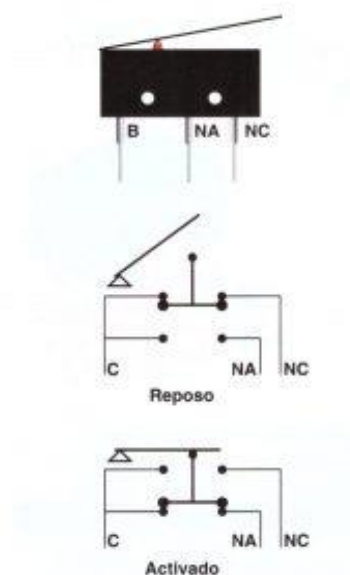


Figura 2.8 Finales de carrera

2.3 Actuadores (Motores paso a paso)

Estos motores son ideales para fabricación y construcción de maquinas o mecanismo donde se necesita un movimiento de una gran precisión. El funcionamiento principal de estos motores es lograr el movimiento en ángulos pequeños que van desde los 1.7° hasta los 90°, 180, 200 grados todo esto depende de los pasos que necesita los motores para llegar a las 90° en general los motores convencionales necesitan 4 pasos [5].

CAPÍTULO 3

3 DISEÑO Y SELECCIÓN

3.1 Parámetros de diseño

Para el diseño y modernización del sistema de control de la fresadora CNC Denford (ver Figura 3.1) es importante considerar la estructura de los materiales que se desean mecanizar. Con el fin de establecer relación entre la potencia requerida para mecanizar los distintos materiales con respecto a la potencia que entrega por la fresadora CNC.

En el caso específico de la selección de motores, es importante tomar en consideración el tipo de fresadora CNC a modernizar para este caso en particular una fresadora vertical. Por ello para la elección de los motores tanto del eje X como del eje Y se considera el peso de la mesa de trabajo más el del elemento a mecanizar de manera que se logre calcular las fuerzas a las cuales los motores serán sometidos. Por el contrario, para la elección de motor del eje Z se toma en cuenta los pesos del cabezal y el husillo de la fresadora además de la fuerza de corte requerida para la mecanización [6].

Una vez seleccionado los motores considerando los parámetros antes mencionados, se procede a elegir los drivers y controladores requeridos con respecto a las especificaciones de cada motor. Para la selección de los drivers de control se considera parámetros como el voltaje y corriente nominal de cada motor. Mientras que para los controladores se toma en cuenta las señales de modulación de ancho de pulso (PWM) requeridas por el motor y los protocolos de comunicación con el ordenador [7].



Figura 3.1 Fresadora Denford Triac Serie CNC

3.1.1 Parámetros de geométricos

Como lo mencionamos anteriormente, para la selección de los motores y el diseño de control es importante considerar las dimensiones de la mesa de trabajo. Por ello se midieron el largo, ancho y altura de nuestra mesa de trabajo detallada en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Dimensiones de la mesa de trabajo

Largo	6300 mm
Ancho	3600 mm
Altura	4800 mm

Las dimensiones de los demás componentes que forman parte del mecanismo total de la máquina fresadora Denford CNC, se basarán en relación a las dimensiones generales de la máquina además de los resultados conseguidos al emplear los respectivos criterios de diseño garantizando su resistencia a todos los esfuerzos a los están inmersos durante el funcionamiento del sistema en general [7].

3.1.2 Parámetros de operación

Para el diseño de este sistema de control y selección de los motores requeridos tomamos en cuenta las características de la madera que es el

tipo de material a mecanizar para lograr un proceso eficiente y con un excelente acabado superficial final.

La madera se puede clasificar en blandas o duras, cada una con sus propiedades y características correspondientes. Para la elección de los parámetros de operación, se considera el caso más crítico en nuestro caso en particular valores recomendados de trabajo para maderas duras. Para la herramienta de corte a considerar para la fresa vertical es de 12,7 mm de diámetros, con una longitud de corte de 24 mm y cuatro filos. Dependiendo de la dureza de la madera y del acabado superficial que se espera alcanzar, se usara una velocidad de giro desde 9000 RPM hasta 20000 RPM [7].

Velocidad de corte

Para obtener la velocidad de corte (V_c) se debe tomar en cuenta tres aspectos. Uno de ellos es la consideración de las características propias de la herramienta de corte. Adicionalmente es importante considerar la dureza del material y el proceso de mecanizado que se desea emplear.

Para calcular la velocidad de corte se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{\pi * D * N}{1000} \quad (3.1)$$

$$D(mm) = 11[\text{Diámetro de la herramienta de corte}]$$

$$N(RPM) = [\text{Velocidad de herramienta de corte}]$$

$$V_c = \frac{\pi * (11mm) * (9000RPM)}{1000} = 311.018 \frac{m}{min}$$

$$V_c = 311.018 \frac{m}{min} * \frac{1 min}{60 s} = 5.18 \frac{m}{s}$$

No olvidar que existen dos factores que influyen significativamente al realizar el mecanizado en conjunto con la velocidad de corte. Uno de los factores importantes es la fijación del material base y otro de los factores a considerar es la sujeción de la herramienta empleada ya que esto evita posibles vibraciones, accidentes o fallas [6].

Velocidad de avance

La velocidad de avance (V_a) es aquella que se genera del movimiento del material a mecanizar contra la herramienta de corte o viceversa, la cual está limitada por los mismos factores de la velocidad de corte, pero además se necesita que la velocidad nos dé una mayor eficiencia de arranque de material sin alterar la integridad de la fresa y consiga un buen mecanizado final [7].

La velocidad de avance se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_a = f_z * Z * N \quad (3.2)$$

$$f_z \left(\frac{mm}{diente} \right) = 0,143 [Avance \text{ por diente}]$$

$$Z = 4 [\text{Número de filos}]$$

$$N(RPM) = 9000 [Velocidad \text{ de herramienta de corte}]$$

$$V_a = 0,143 \frac{mm}{diente} * 4 * 9000 RPM = 5148 \frac{mm}{min}$$

$$V_a = 5148 \frac{mm}{min} * \frac{1m}{1000mm} = 5 \frac{m}{min}$$

Profundidad de corte

La profundidad de corte (p) depende del espesor del material que se desea mecanizar, grado de precisión dimensional, potencia de la máquina y parámetros de la herramienta de corte como tamaño, longitud de corte o perfil de la misma.

El máximo valor de profundidad de corte está directamente relacionado con la longitud de la arista del filo de corte de la herramienta a emplear. En el caso de mecanizar madera se utilizan profundidades que van desde 0.5mm a 3mm, y se elige el espesor dependiendo de la calidad superficial o rapidez con la que se necesita realizar dichos procesos.

Para un mejor acabado es preferible que la profundidad de corte sea pequeña, mientras que si deseamos optimizar el tiempo de mecanizado es preferible que la profundidad de corte sea grande. Para los cálculos respectivos usaremos una profundidad de corte máxima de 3mm [6].

Cálculo de la fuerza de corte

Calculamos el avance (s') en mm/rev con la siguiente fórmula:

$$s' = \frac{V_a}{N} \quad (3.3)$$

$$V_a \left(\frac{mm}{min} \right) = 5148 [\text{Velocidad de avance}]$$

$$N(RPM) = 9000 [\text{Velocidad de giro}]$$

$$s' = \frac{5148 \text{ mm/min}}{9000 \text{ RPM}} = 0,57 \frac{mm}{rev}$$

El área de corte (AC) se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$AC = \frac{s' * D}{2} \quad (3.4)$$

$$s' \left(\frac{mm}{rev} \right) = 0,57 [\text{Avance}]$$

$$D(mm) = 12,7 [\text{Diámetro de la herramienta de corte}]$$

$$AC = \frac{0,57 \frac{mm}{rev} * 12,7mm}{2} = 3,6 \frac{mm^2}{rev} = 3,6mm^2$$

Con la siguiente fórmula se calcula el espesor de viruta (e):

$$e = \left(\frac{V_a}{Z * N} \right) \sqrt{\frac{p}{D}} \quad (3.5)$$

$$V_a \left(\frac{mm}{min} \right) = 5148 [\text{Velocidad de avance}]$$

$$Z = 4 [\text{Número de filos común en fresa}]$$

$$N(RPM) = 9000 [\text{Velocidad de giro}]$$

$$p(mm) = 3 [\text{Profundidad de corte}]$$

$$D(mm) = 12,7 [\text{Diámetro de la herramienta de corte}]$$

$$AC = \frac{0,57 \frac{mm}{rev} * 12,7mm}{2} = 3,6 \frac{mm^2}{rev} = 3,6mm^2$$

$$e = \left(\frac{5148 \text{ mm/min}}{4 * 9000 \text{ RPM}} \right) \sqrt{\frac{3mm}{12,7mm}} = 0,07 \frac{mm}{rev} = 0,07mm$$

Para calcular la constante de proporcionalidad se utiliza la siguiente expresión:

$$K = K_{SO} * e^{-b} \quad (3.6)$$

$$e(mm) = 0,07 [\text{Espesor de viruta}]$$

$$K_{SO} \left(\frac{N}{mm^2} \right) = 19 [\text{Presión específica de corte}]$$

$$b = 0,3 [\text{Factor de corrección}]$$

$$K = 19 \frac{N}{mm^2} * (0,7mm)^{-0,3} = 41,8 \frac{N}{mm^2}$$

Lo valores tanto del factor de corrección como el de presión específica de corte fueron escogidos con respecto a la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Presión específica de corte de fresado

Material	K _{so} (N/mm ²)	b
Bronce	124	0,3
Cobre	78	0,3
Latón	54	0,3
Plástico	19	0,3

Para la constante de corte se selección como material el plástico ya que es el que más de asemeja a la madera que es el material que deseamos mecanizar [6].

Finalmente, la fuerza de corte se calcula con la siguiente fórmula:

$$Fc = K * AC \quad (3.7)$$

$$K \left(\frac{N}{mm^2} \right) = 041.8 [Constante de proporcionalidad]$$

$$AC(mm^2) = 3.6 [Area de corte]$$

$$b = 0,3 [Factor de corrección]$$

$$Fc = 41,8 \frac{N}{mm^2} * 3,6mm^2 = 150.5N$$

Cálculo de la potencia de corte

La potencia de corte (P_c) se calcula con la siguiente expresión:

$$Pc = Fc * Vc \quad (3.8)$$

$$Fc(N) = 150,5 [Fuerza de corte]$$

$$Vc \left(\frac{m}{s} \right) = 6 [Velocidad de corte]$$

$$Pc = 150,5 N * 5.18 \frac{m}{s} = 780 W$$

La potencia eléctrica (P_e) se obtiene de la siguiente fórmula:

$$P_e = \frac{P_c}{\eta} \quad (3.9)$$

Considerando que el motor tenga una eficiencia del 93% entonces obtenemos lo siguiente:

$$P_c(W) = 780 \text{ [Potencia de corte]}$$

$$\eta = 0,98 \text{ [Eficiencia del motor]}$$

$$P_e = \frac{903 \text{ W}}{0,98} = 795,91 \text{ W}$$

Para asegurar un mecanizado óptimo agregamos un factor de seguridad del 1.2 con esto conseguimos:

$$P_e = 795,91 \text{ W} * 1,2 = 955,10 \text{ W}$$

$$P_e = 955,10 \text{ W} \frac{1\text{kW}}{1000\text{W}} = 1\text{kW}$$

Mediante estos cálculos podemos afirmar que se requerirá un husillo de corte con una potencia mínima de 1 kW para obtener un buen mecanizado por la fresadora.

Al momento de seleccionar el variador de frecuencia debemos de observar el que nos dispone el fabricante o recomienda para este caso la velocidad de trabajo será como máximo de 24000 RPM mínimo 9000 [6].

$$Velocidad (RPM) = \frac{120 * f}{2p}$$

f : frecuencia de trabajo

$2p$: numero de polos

$$f1 = 400 \text{ Hz}$$

$$p = 1$$

$$Velocidad (RPM) = \frac{120 * 400}{2} = 24000 \text{ RPM Maxima}$$

$$f2 = 150 \text{ Hz}$$

$$p = 1$$

$$Velocidad (RPM) = \frac{120 * 150}{2} = 9000 \text{ RPM}$$

3.2 Criterios de selección

Para la selección de los motores encargados del desplazamiento de cada uno de los ejes de la fresadora CNC Denford se consideraron los siguientes criterios:

- Precisión: uno de los factores más importantes, más aún de tratarse de máquinas CNC.
- Velocidad: para combatir con máquinas modernas este criterio es esencial, las velocidades de las herramientas de corte se encuentran entre 10-500mm/min.
- Potencia: demandada para dar vueltas al tornillo sin fin y así mover la mesa de trabajo.

Para obtener el Torque, requerido por cada motor, será mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{F * L}{2 * \pi * \eta} \quad (3.10)$$

$$F = [carga]$$

$$L = [Distancia recorrida por la tuerca en una revolución]$$

$$\eta = [Eficiencia]$$

A continuación, podremos visualizar en la tabla 3.3, datos referentes a los pesos de los elementos de la fresadora CNC Denford.

Tabla 3.3 Pesos de elementos de la fresadora

Cabezal	200lbs
Sistema de Refrigeración	30lbs
Spindle	8lbs
Husillo	20lbs
Herramienta	2lbs
Tornillo del eje z	5lbs
Tuerca principal	6lbs

Hay que recordar que el tornillo sin fin lleva el peso del Cabezal y el Spindle adicional de los elementos de apoyo y comunicación.

$$F = 200 + 30 + 8 + 20 + 2 + 6 + 5 = 271 \text{ lbs}$$

$$L = P_x * N_w \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned}
P_x &= 6mm[\text{Paso axial}] \\
N_w &= 1[\text{Número de dientes}] \\
L &= 6mm * 1 = 6mm \\
\eta &= (\tan \lambda) \left[\frac{\cos \phi - f * \tan \lambda}{\cos \phi * \tan \lambda + f} \right] \quad (3.12)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\lambda &= [\text{Ángulo de avance}] \\
\phi &= 30^\circ[\text{Ángulo en el plano normal}] \\
f &= 0.16[\text{coeficiente fricción}]
\end{aligned}$$

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi * D_w} \quad (3.13)$$

$$D_w = [\text{Diámetro primitivo}]$$

$$D_w = \frac{D_e + D_i}{2} \quad (3.14)$$

$$D_e = 32mm[\text{Diámetro exterior}]$$

$$D_i = 25,5mm[\text{Diámetro interior}]$$

$$D_w = \frac{32mm + 25,5mm}{2} = 28,75mm$$

$$\tan \lambda = \frac{6mm}{\pi * 28,75mm} = 0,066$$

$$\eta = (0,066) \left[\frac{\cos 30^\circ - 0,16 * \tan 0,066}{\cos 30^\circ * \tan 0,066 + 0,16} \right] = 0,261$$

$$T = \frac{271 \text{ lbs} * 6mm}{2 * \pi * 0,261} = 992,73 \text{ lbs} * mm$$

Se puede dar un margen de seguridad, dándole a los motores un apoyo adicional de un 1.25% de la potencia total requerida.

$$T = T * 1.25 = 1240,08 \text{ lbs} * mm$$



En base a las fórmulas encontradas y el análisis de fuerzas y tensiones es posible realizar la selección de motores basándonos en estos parámetros obtenidos [7].

3.3 Selección del Spindle

Esta tarjeta de comunicación o controlador nos ayuda a variar la frecuencia con la que trabaja el Spindle o Husillo el cual es el encargado del corte del material mecanizado.

Cada material tiene su característica propias y necesarias anterior mente los materiales o aleaciones eran de una densidad más alta lo cual obligaba a las herramientas a ser más robustas al momento de operar en la actualidad las piezas de fabricación o los metales son muchos más dúctiles necesitando menos potencia del Spindle permitiendo que la maquina sea más compacta y de fácil elaboración.

Tabla 3.4 Características de los Spindle

	Spindle Instalado	Spindle (Opción 1)	Spindle (Opción 2)
Datos			
Modelo	Lenze D-4923	KL-1500A	KL-2200
Dimensiones (mm)	(Largo,Alto,Ancho) (356,80,140)	(Largo,Alto,Ancho) (200,80,139)	(Largo,Alto,Ancho) (364,102,140)
Potencia	746 W	1500 W	2200 W
Voltaje	240 V	220 V	220 V
Velocidad	4000 rpm	24000 rpm	0-18000 rpm
Velocidad de trabajo	200-4000 rpm	8000-24000 rpm	6000-18000 rpm
Frecuencia	50 Hz	400 Hz	300 Hz
Corriente	2.2 A	4 A	7.8 A
Lubricación	Aceite	Grasa	Grasa
Enfriamiento	Aire	Aire	Aire
Peso	10 lbs	8.7 lbs	15.4 lbs



Seleccionado y analizado del mercado dos Spindle o Husillo el cual es el encargado del corte o la fresa del material que se desea moldear teniendo un límite máximo de densidad de los materiales a frezar dependiendo de

la densidad del material para la opción 1 se puede lograr la mecanización de piezas de madera y aluminio. Con el fin de lograr mecanizar piezas de metal más gruesas se hace un análisis de corte metálico en las cuales se debe de considerar las variables y características del material al momento de corte, de igual manera considerar el soporte máximo de la mesa de trabajo [8].

3.3.1 Selección del Variador de Frecuencia para Spindle

Conociendo la potencia eléctrica requerida para el mecanizado de madera previamente obtenido podemos realizar la elección de un husillo el cual contenga las características mínimas de 1kW y que pueda ser controlado su RPM desde 9000 RPM hasta 24000 RPM, estos parámetros son necesarios para la elaboración de piezas en madera. Teniendo como opción principal el KL-1500 el cual cumple con todas las características requeridas [8].

Tabla 3.5 Características de Variador de Frecuencia para Husillo

	VARIABLE FREQUENCY (Opción 1)	INTEGRATED INVERTER (Opción 2)
Datos		
Modelo	KL-VFD15	E500-2S0022
Potencia	1500 W	2200 W
Voltaje de Entrada	220 V	170-220 V
Voltaje de Salida	208-240 V	220 V
Corriente de salida	6 A	10 A
Frecuencia	0.10-400 HZ	0-400 HZ
Control	SPWM	V/F control

Seleccionamos un variador de frecuencia el cual nos permite variar la frecuencia de trabajo esta se la da el controlador principal que nos permite incrementar la velocidad con la que gira o disminuir.

3.4 Selección de los finales de carrera



Figura 3.2 Final de carrera tipo switch

Se realizo el cambio de finales de carreras actuales con nuevos finales tipo interruptor procurando ubicarlos en la misma posición en la cuales se encontraban los anteriores permitiendo saber cuándo el eje llega a su final.

3.5 Selección de los motores paso a paso



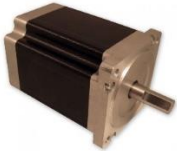
Al momento de seleccionar los motores de los 3 ejes de la fresadora como se observó en los cálculos anteriores el eje z es el que tendrá un mayor trabajo a diferencia del eje “x” y “y” permitiéndonos seleccionar un kit de motores de características similares.

En un análisis previo a la selección de los motores “x” y “y” por falta de datos de placa no se pudo hacer un contraste de las características de los motores. Debido a esto tuvimos que basarnos en sus formas NEMA en la cual se puede observar que son Nema 24 por sus dimensiones teniendo como resultado que la potencia requerida en el eje “x” y “y” son menores a la del eje z.

Con los datos de placa del motor del eje z pudimos realizar un contraste de los cálculos teóricos previamente calculados con el motor actualmente instalado teniendo la conclusión de que la maquina podrá trabajar y operar

de forma óptima al momento de ser remplazado contando este con su misma dimensión y potencia.

Tabla 3.6 Características de los Motores

	Motor actual	Opción 1	Opción 2
Datos			
Modelo	HY 200-3450- 350	KL34H2120-42-8A	AXIS-1200
Pasos por revolución	1.8 deg / 200	1.8 deg / 200	1.8 deg / 200
Factor de forma	NEMA 34	NEMA 34	NEMA 34
Torque (Oz.in)	1000 Oz.in	1200 Oz.in	1200 Oz.in
Corriente nominal (Amps/fase)	3.5 A	6 A	7 A
Resistencia (ohm/fase +-10%)	1.1 Ω	0.6 P / 2.4 S Ω	0.6 Ω
Peso motor (Lbs)	8.20 lbs	8.38 lbs	8.22 lbs
Longitud motor (Pulg)	4.5 cm	4.5 cm	4.4 cm
Número de cables	8	8	8

En la tabla 3.6 podemos observar las características principales del motor principal de la Fresadora CNC las cuales nos ayudaran a seleccionar y comparar un motor con su control moderno entre las principales características a considerar son las características física y potencia podemos visualizar que ambos motores cumple con el factor de forma NEMA 34 el cual nos garantiza que los motores cumplen con las mismas dimensiones entre esto podemos ver el torque de previo instalado de 1000 Oz.in al momento de modernizar y realizar los cálculos previos pudimos identificar que nuestra maquina necesita un motor mayor a 1000 Oz.in

para lograr levantar su estructura y mecanizar las piezas indicadas, debido a el factor de seguridad que indicado en la etapa previa se buscó un motor que cumpla con el torque solicitando de 1200 OZ.in En nuestra En la opción 1 podemos ver en comparación el motor de opción 2 tiene un menor consumo de corriente esto se debe a que este motor es de características hibrido para su conexión garantizando un menor consumo por sus resistencias de fase [9].

Mientras que en la opción podemos ver que el peso es menor en comparación con la opción 1 y el motor instalado con anterioridad permitiendo una mayor potencia en la velocidad de avance en el eje.

El motor del eje z debe de ser considerado el motor de mayor potencia debido a la forma de la Fresadora CNC vertical este debe de considerar el peso del husillo y de todo el cabezal, más la fuerza de corte [10].

3.6 Selección de tarjetas electrónicas y controladores

Al momento de realizar el control de una Fresadora CNC se requiere de las siguientes tarjetas de comunicación y control entre los diferentes actuadores y sensores.

- Controlador del Spindle o Herramienta de corte.
- Tarjeta de comunicación o interfaz principal (Breakout Board).
- Tarjeta de control de los motores paso a paso (Stepper Drives).

En la sección de Anexo podremos observar las conexiones y configuraciones para las tarjetas de comunicación e interfaz entre los diversos componentes de control.




Estas conexiones y configuraciones son sugeridas e indicadas por el manual técnico de fabricación este se lo puede encontrar en internet o en los manuales que vienen con el kit [11].

3.6.1 Selección de los drivers

La selección de los drivers se da en base a los motores seleccionados estos drivers deben de cumplir con las características principales que necesita el motor para su correcto funcionamiento entre estas las

principales se encuentran el amperaje, voltaje y el funcionamiento del motor como bipolar o unipolar.

Tabla 3.7 Características de Drivers de Control

	PARKER SD-2 SD-3 INSTALADO	Driver Nema 34 (Opción 1)	Driver Nema 34 (Opción 2)
Datos			
Modelo	PARKER SD-2 SD,3	KL8060	KL8070
Cables	4,6, 8	4, 6, 8	4, 6, 8
Voltaje	18 – 26 V	24- 80 V	24-80 V
Corriente de salida	1.5, 2.2 A	2-6 A	7.8 A
Tipo	bipolar	unipolar-bipolar	Unipolar-bipolar
Entrada	TTL	TTL-E/S	TTL-Óptica
Resolución	20 kHz	400 kHz	300 kHz
Protección	No	Si	Si

En la tabla 3.7 podemos visualizar la actualización de los drivers modernos con los drivers de décadas atrás como una mayor respuesta de resolución, la corriente de salida es mucho menor en comparación con los controladores moderno esto se debe a que en la actualidad estos drivers permiten manejar muchas más potencias.


Podemos observar que entre la opción 1 y la opción 2 no existe mucha diferencia aun así permitiendo la opción 2 manejar un torque más alto por su mayor entrega de corriente y potencian [12]

3.6.2 Selección del controlador

Esta tarjeta es seleccionada a partir de los drivers de los motores debido a que esta debe de tener el mismo protocolo de comunicación y que cuente con la misma resolución al momento de comunicarse permitiendo un correcto control de los motores. En la actualidad como pudimos analizar existen muchas tarjetas de diversos fabricantes nosotros

escogeremos la RF-Isolated Parallel Port CNC Breakout Board la cual es muy usada en el ámbito cotidiano debido a su buena respuesta y control simple con un ordenador permitiendo realizar también el control con el variador de frecuencia del Spindle.

Tabla 3.8 Característica de Controlador

	Controlador
Datos	
Modelo	RF-Isolated Parallel Port CNC
Conector	DB25
Voltaje	12 V
Corriente	1.5 A
Indicador	Led
Entrada	TTL
Resolución	20 kHz
Protección	No

El PBX-RF es una placa de conexión de puerto paralelo aislado diseñada específicamente para máquinas CNC. Es compatible con una variedad de software de control CNC de puerto paralelo. La capa de aislamiento protege a la PC del daño potencial de picos o cortocircuitos en los controladores de motor de alto voltaje utilizados en el CNC.

Los chips de aislamiento de RF utilizados en la PBX-RF funcionan de manera muy similar a los optoaisladores, excepto que usan ondas de radio para enviar señales a través del plano de aislamiento en lugar de la luz.

La placa de conexión PBX-RF divide las 17 señales disponibles desde el puerto paralelo para que se pueda acceder a ellas. Es funcionalmente equivalente a la versión no aislada: la PBX-2 [13].

3.6.3 Selección de kit (motores, controladores, tarjetas)

Hoy en día se puede comprar un kit de motores de paso a paso con mayor facilidad que décadas atrás por la facilidad de compra y venta que nos facilita el internet, permitiendo la comparación y selección rápida de diversos proveedores ofertas de este tipo de elementos entre estas hemos buscado el motor que se adapte a la modernización de nuestra máquina y la forma más eficaz y manejable de dichos motores con el mejor control posible.

Encontrando proveedores con precios sobrevalorados y otros precios de gran beneficio costo [10] [8].

Tabla 3.9 Características de Kits de Motores

	KIT 1 (Opción 1)	KIT 2 (Opción 2)
Datos		
Modelo	3-AXIS NEMA34 1200z-in KL8060	Sistema de motor paso a paso de 1200 OzIn de 3 ejes
Proveedor	automationtechnologiesinc	probotix
Motores	Nema 34	Nema 34
Torque	1200 Oz-in	1200 Oz-in
Control de ejes	3 motores	3 motores
Tarjeta de control	PBX-RF RF	PBX-RF RF
Fuente	40 V- 20 A	40 V - 10 A
Corriente	6 A	7.8 A
Costo	\$848.00	\$939.95

3.7 Fresadora CNC Moderna

Para la comparación de nuestra Fresadora Modernizada escogeremos la Fresadora CNC M2 L marca Siemens la cual nos brinda una gran eficiencia y calidad de trabajo al momento de realizar una mecanización de piezas las dimensiones de la mesa de trabajo y potencia de esta

máquina se asemeja a los cálculos y piezas electrónicas previamente analizados en los capítulos 3 y 2.

Esta fresadora cuenta con sistemas modernos de control y motores completamente sofisticados el cual trataremos de llegar a sus estándares.

La Fresadora CNC M2 L es una maquina robusta perteneciente a Siemens esta cuenta con un sistema de control profesional diseñada para realizar piezas pequeñas y de ámbito académico cuenta con todas las partes de una Fresadora CNC [14].

Tabla 3.10 Características de Fresadora Moderna

	Fresadora CNC
Datos	
Modelo	Fresadora CNC M2 L
Fabricación	Siemens
Potencia	1,3 CV
Motor transmisión	850 W
Refrigeración	Refrigerante
Recorrido en X	480 mm
Recorrido en Y	155 mm
Recorrido en Z	280 mm
Peso	380 lbs
Costo	\$ 15966,37

Como podemos observar el costo de una maquina fresadora CNC moderna educativa esta alrededor de los 16 mil dólares con las características similares a la maquina Fresadora a modernizar la maquina CNC moderna tiene un lugar de trabajo de 20.83 cm³ con una potencia de mecanización de 850 W mientras que nuestra maquina modernizada cuenta con un lugar de trabajo 108.86 a una potencia de 746 W la cual

nuestra maquina CNC modernizada tendrá un valor agregado por contener un mayor lugar de trabajo y se aumentara la potencia de corte para lograr mecanizar piezas con un mayor costo de mecanizado [15].

3.8 Presupuesto de Elaboración

El presupuesto de Elaboración de nuestro servicio consiste en el kit escogido en el mantenimiento correctivo que se le tenga que dar a la maquinaria y la mano de obra por instalación, estimación de las divisas por traer el paquete o contenido del 12 % del monto total.

Tabla 3.11 Costo de Implementación del Sistema

Tipo	Costo (\$)
3-AXIS NEMA34 1200z-in KL8060 <ul style="list-style-type: none"> • (3) Motores NEMA 34 KL34H2120-42-8A • (3) KL-8060 - 24- 80VDC, 7.0A Bipolar DIGITAL Driver • (1) KL-7220, 70V(No load), Max 20A,Unregulated Power Supply. • (3) Finales de Carrera • (1) C10 (E-Stop or Limit Switch can be wired) • (1) 5V Power Supply for Breakout Board 110VAC/220VAC 	\$ 848,00
Motor Principal KL-1500A	\$150,00
Variador de Frecuencias.	\$ 150,00
Case Gamer Speedmind	\$ 60,00
Fabricación de 3 Bridas de Unión	\$ 100,00
Mano de obra mecánico y mantenimiento	\$1000,00
Costo Análisis Técnico	\$600,00
Subtotal:	\$2.908,00
Costo adicional del 12% por peso, divisa, courier.	\$348,96
Total	\$3.256,96

3.8.1 Costos de Maquinas en el Mercado.

Se puede observar un gran ahorro al cliente o empresa, se necesita tener una modernización de máquinas obsoletas aumentando las unidades y disminuyendo el tiempo de trabajo.

Tabla 3.12 Costos en el Mercado de Fresadoras

Tipo	Valor (\$)
Fresadora Convencional manual antigua	\$6000,00
Costo de equipos nuevos	\$3.257,00
Conversión de mecánico a Automático	\$ 9257,00
Fresadora CNC Moderna	\$15000,00
Ahorro	\$5743,00

3.8.2 Análisis de costo y beneficios.

Podemos observar que se tiene un ahorro de 38,28% al momento de realizar este tipo de servicio en la modernización de fresadoras artesanales o mecánicas logrando aumentar la producción y disminuyendo el tiempo de elaboración por consiguiente aumentando las ganancias si fuera el caso.

Los beneficios que ganaría nuestro cliente de estudio serán:

- Control y manejo de un sistema modernizado.
- Reparación y repuestos de fácil acceso en caso de una falla.
- Diagrama de conexiones y control para futuros estudios.
- Mejora en la resolución y diseño de artículos.
- Mayor rapidez en tiempo de ejecución por los motores.
- Reducción del lugar de control.
- Control computarizado moderno.
- Modernización del sistema de Enfriamiento por Aire.
- Aumento de la potencia de corte.
- Ahorro e inversión en maquinaria muy costosa.

Capítulo 4

4 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

4.1 Conclusiones:

- La maquinas CNC nos ayudan en la elaboración y fabricación de piezas o artículos con una infinidad de puntas o formas las cuales son diseñados en programación CAD, éstas nos permiten una gran precisión y resolución al momento de mecanizar, permitiéndonos el ahorro del material usado mientras se elaboran estas piezas.
- Al ser un sistema CNC el cual emplea sistemas CAD/CAM se puede lograr el control de varios ejes permitiéndonos la elaboración de piezas mas sofisticas y de un grado alto de dificultad permitiendo la modificación de la etapa de control para multi ejes, la única limitante será la forma o estructura geométrica de la máquina.
- El sistema de control previamente elegido para el control y mecanizado nos permite realizar un control rápido y sencillo el cual no depende de muchos parámetros o de una programación compleja dando como resultado un entorno amigable y comprensible para el usuario a diferencias de los sistemas antiguos complejos y lentos.
- Según el diseño desarrollado, todas las partes y dispositivos que forman la máquina fresadora CNC, se las puede construir y adquirir en el mercado nacional o ser traídas del exterior con mucha facilidad.
- Se puede rediseñar en base a las piezas mecánicas una mayor potencia de mecanizado con el fin de poder hacer cortes a materiales muchos más densos y de un gran riesgo de impacto al momento de moldear.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda al momento de realizar cambios de piezas o elementos verificar todas las características más importantes, las cuales depende de la fuerza o del tipo de alimentación de tensión de la pieza esto se debe al nivel de tensión previa mente instalado.
- Al momento de requerir una mayor fuerza de trabajo o de corte se debe de analizar la estructura de apoyo o la mesa de trabajo la cual carga y sufre con todo el proceso si este es mayor al que este soporta comenzaremos a tener doble ejes en los ejes o mesa.
- Se recomienda utilizar un software CAM y de control CNC con licencia, como InventorCAM y FANUC, que, al ser programas especializados para este tipo de sistemas, brindan en cada caso, más opciones de procesos para mecanizado y una mejor interface de manejo y control de la máquina.

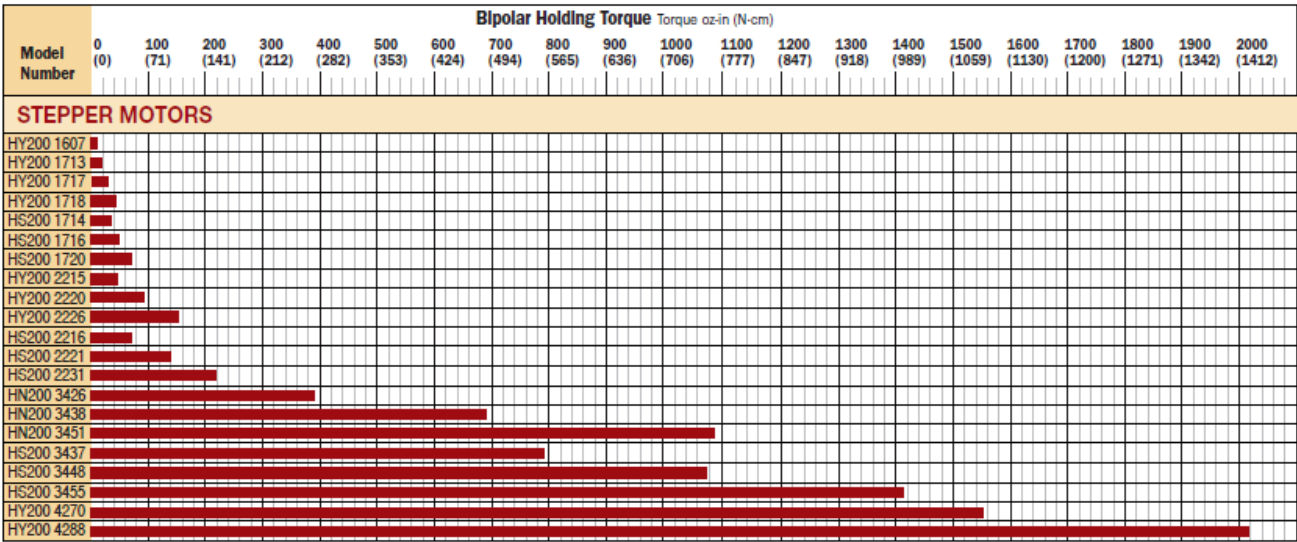
BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Ivan, L. Juan, U. Luis y D. Peter, *Diseño e implementacion de un control CNC para crear modelos y esculturas en terceras dimensiones a partir de un diseño cad*, Bogota : Universidad de Buenaventura; Facultad de Ingenieria , 2009.
- [2] L. Keith, «Mach 3 Kernel Interfaces,» de *Open Software Foundation and Carnegie*, Open Software Foundation and Carnegie Mellon University, 1992.
- [3] PhotoRobotics, «Super Robotica,» abril 2002. [En línea]. Available: <http://www.superrobotica.com/Default.htm>. [Último acceso: 4 septiembre 2019].
- [4] Fernández Aragón, «Control de un motor paso a paso: PIC, USB, C#,» *Universidad publica de Navarra*, 2011.
- [5] J. Steve, «MOTORES PASO A PASO,» *SENA*, vol. 2, 2002.
- [6] G. Fausto, «“Diseño de una Máquina Fresadora CNC para Mecanizado de,» *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL*, n° INGENIERO MECÁNICO, 2015.
- [7] A. Roberto y P. Jose, «“Automatización de una fresadora artesanal a control numérico,,» *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL*, n° INGENIEROS MECÁNICOS, 2014.
- [8] Roma Jean, «Automation Technology,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.automationtechnologiesinc.com/products-page/cnc-spindles/1500w-1hp-air-cooled-cnc-milling-spindle/>. [Último acceso: 14 Agosto 2019].
- [9] Denford Limited , «Triac Series CNC Machine,» *Total Commitment to Education and Training WorldWide*.
- [10] PROBOTIX, «PROBOTIX™,» 2007. [En línea]. [Último acceso: 15 julio 2019].

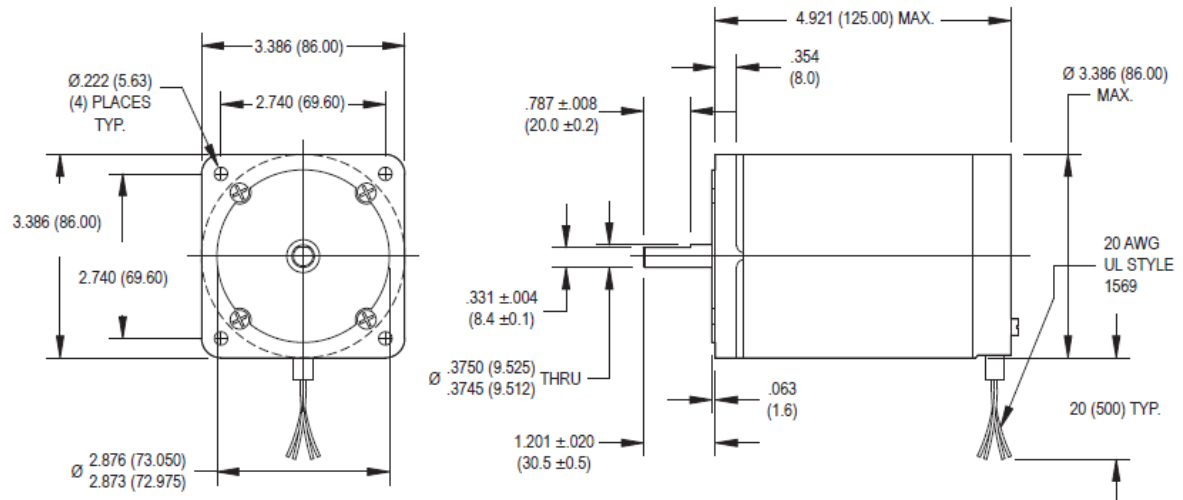
- [11] P. Ramon, INGENIERÍA DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL. 2ª EDICIÓN, RA-MA EDITORIAL, 2004.
- [12] E. A. C. RIVERA, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRESADORA DE CONTROL NUMERICO COMPUTARIZADO DE TRES EJES,» *UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR*, nº FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS APLICADAS, 2015.
- [13] J. A. Del Valle-Zúñiga, «Estudio de factibilidad para la automatización de un torno y automatización de una fresadora",» *Instituto Tecnológico de Costa Rica* , 2003.
- [14] G. J. M. F. Alonso Diego, «Prototipo de Máquina Fresadora CNC para Circuitos Impresos,» *Revista Tekhnê*, vol. 12, nº 1, p. 23, 2015.
- [15] «Venta generadores,» [En línea]. Available: <https://www.ventageneradores.net/fresadoras/robusta-fresadora-cnc-siemens-m2l>. [Último acceso: 5 Septiembre 2019].
- [16] M. S. Alejandro, «"Desarrollo y construcción de máquinas CNC para mejorar la competitividad en Colombia,"» *Revista Epsilon* , nº 20, pp. 193-214, 2013.
- [17] G. Fabian y S. Hector, «Diseño y construccion de una fresadora CNC de 3 grados de libertad,» *Escuela Politecnica NAcional* , nº Master en diseño, produccion y automatizacion industrial, 2013.

APENDICE

GUIA DE MOTOR DE SELECCIÓN

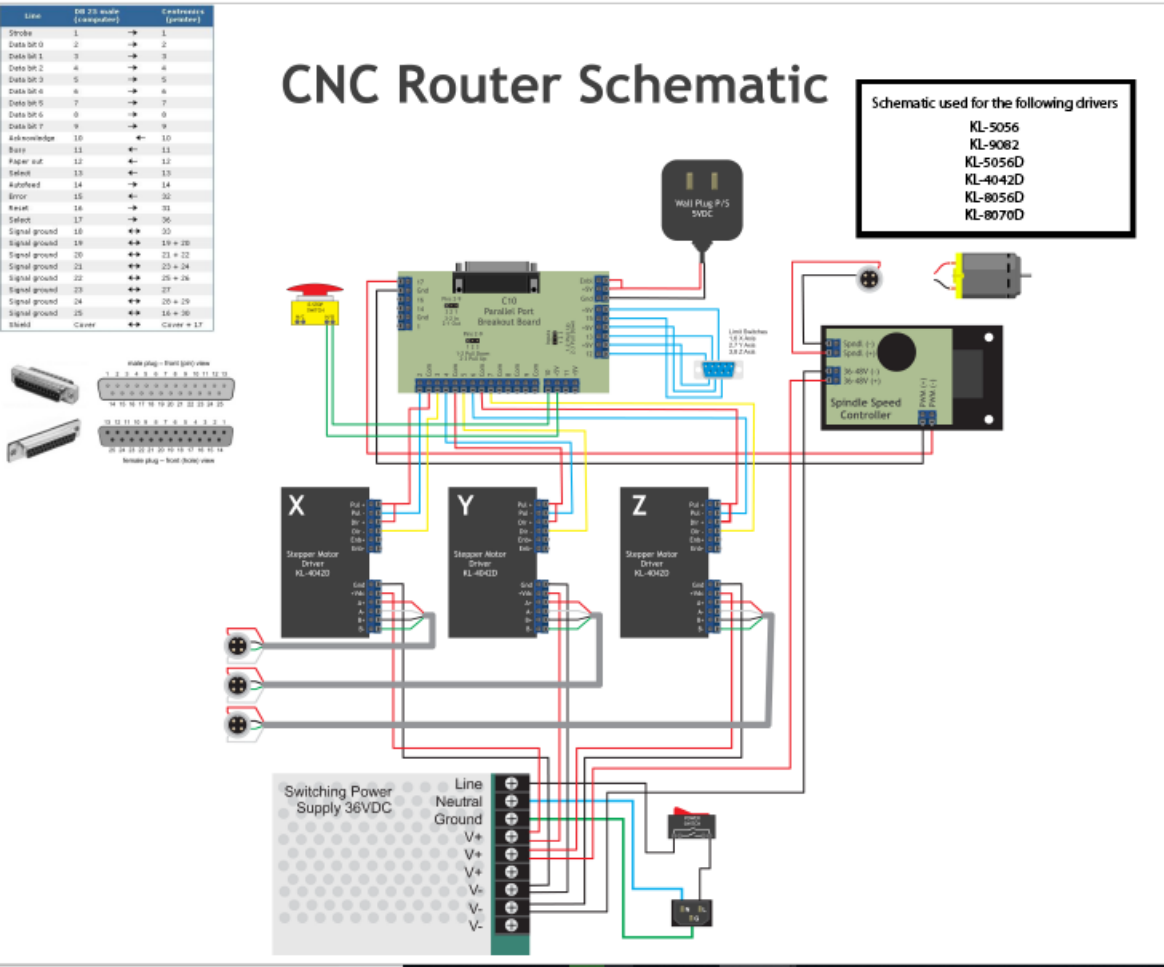


MOTOR DE PASO NEMA 34

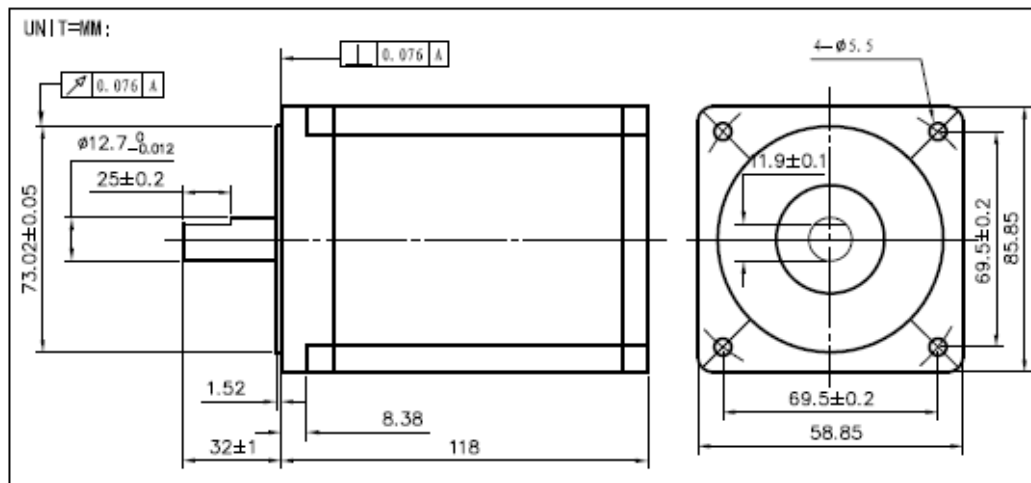


Specification	Units	HN 200 3451	
		0350 ✓	0640 ✓
Rated Phase Current	A	3.50	6.40
Phase Resistance	Ω	1.5	0.50
Phase Inductance	mH	8.5	2.5
Holding Torque Unipolar	oz-in	878	878
	Ncm	620	620
Holding Torque Bipolar	oz-in	1076	1076
	Ncm	760	760
Detent Torque	oz-in	33	33
	Ncm	23	23
Rotor Inertia	oz-in-s ² x10 ⁻⁴	255	255
	g-cm ²	1800	1800
Motor Weight (Mass)	lb	7.9	7.9
	kg	3.6	3.6
Maximum Voltage	V	140	140
Std. No. of Leads	—	8	8

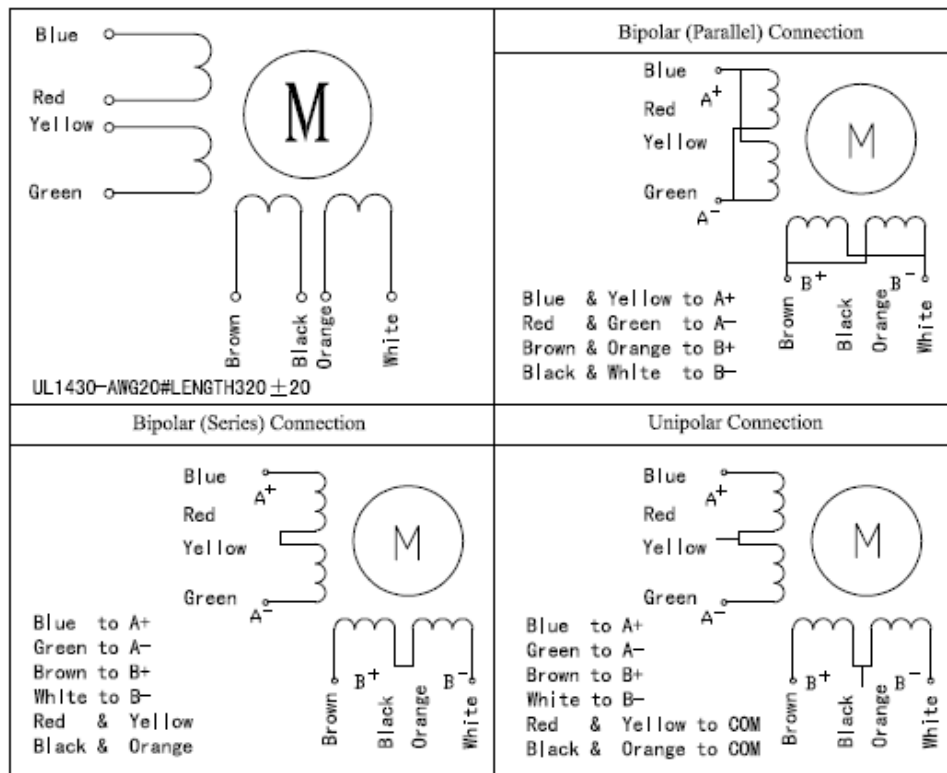
DIAGRAMA DE CONECCIONES



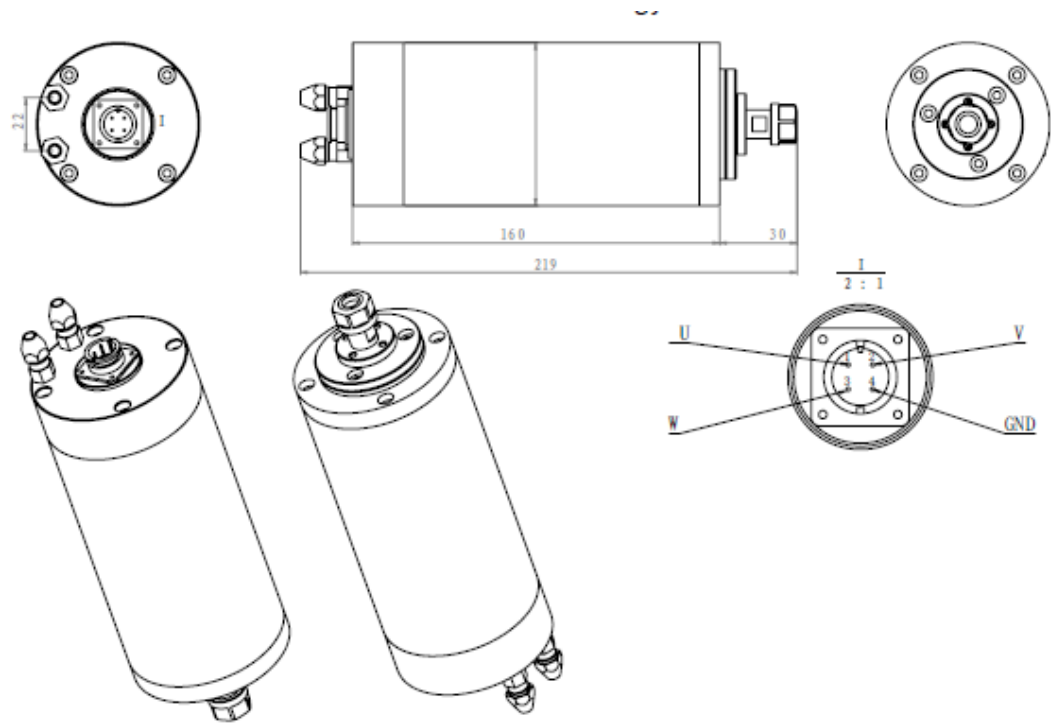
MOTOR DE PASO KL34H2120



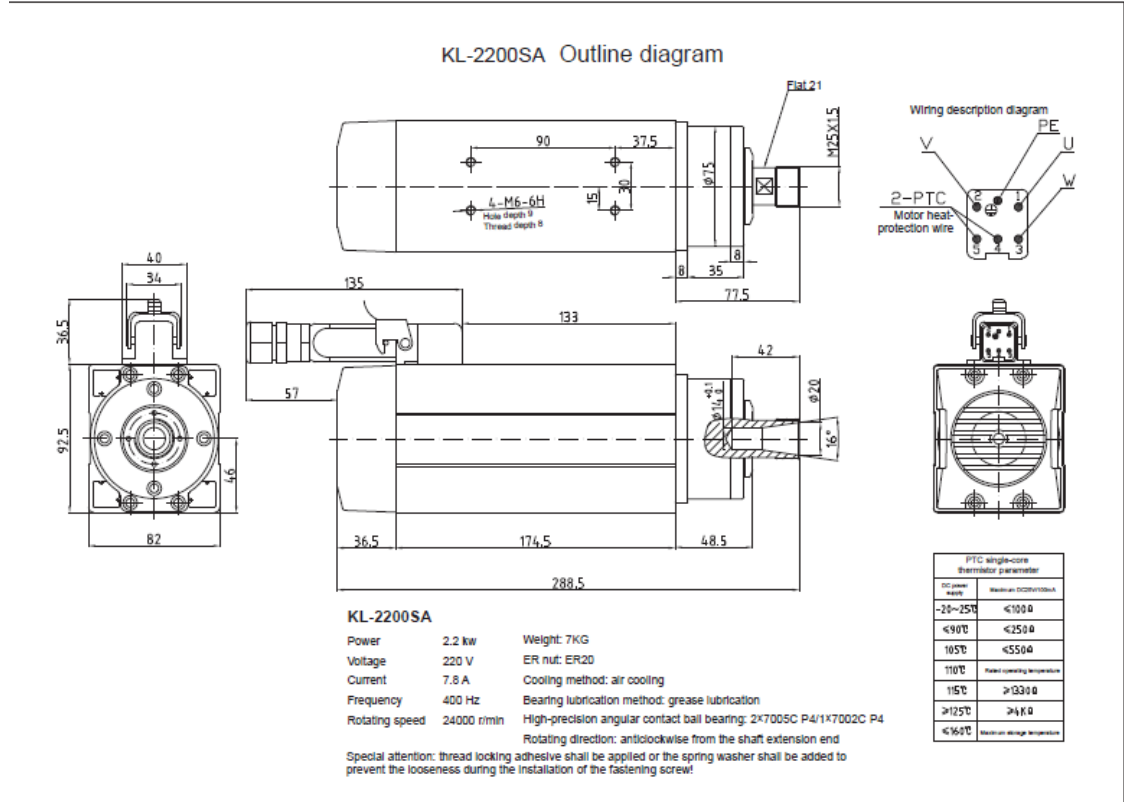
STEP ANGLE	CONNECTION STYLE	CURRENT	RESISTANCE	INDUCTANCE	HOLDING TORQUE	ROTOR INERTIA	WEIGHT
DEG/STEP		A	ohms	mH	OZ-IN	gcm ²	Kg
1.8	Parallel	6	0.6	6.5	1200	2700	3.8
	Series	3	2.4	26			
	Unipolar	4.2	1.2	6.5	857		



SPINDLE 1500 ESTRUCTURA FISICA



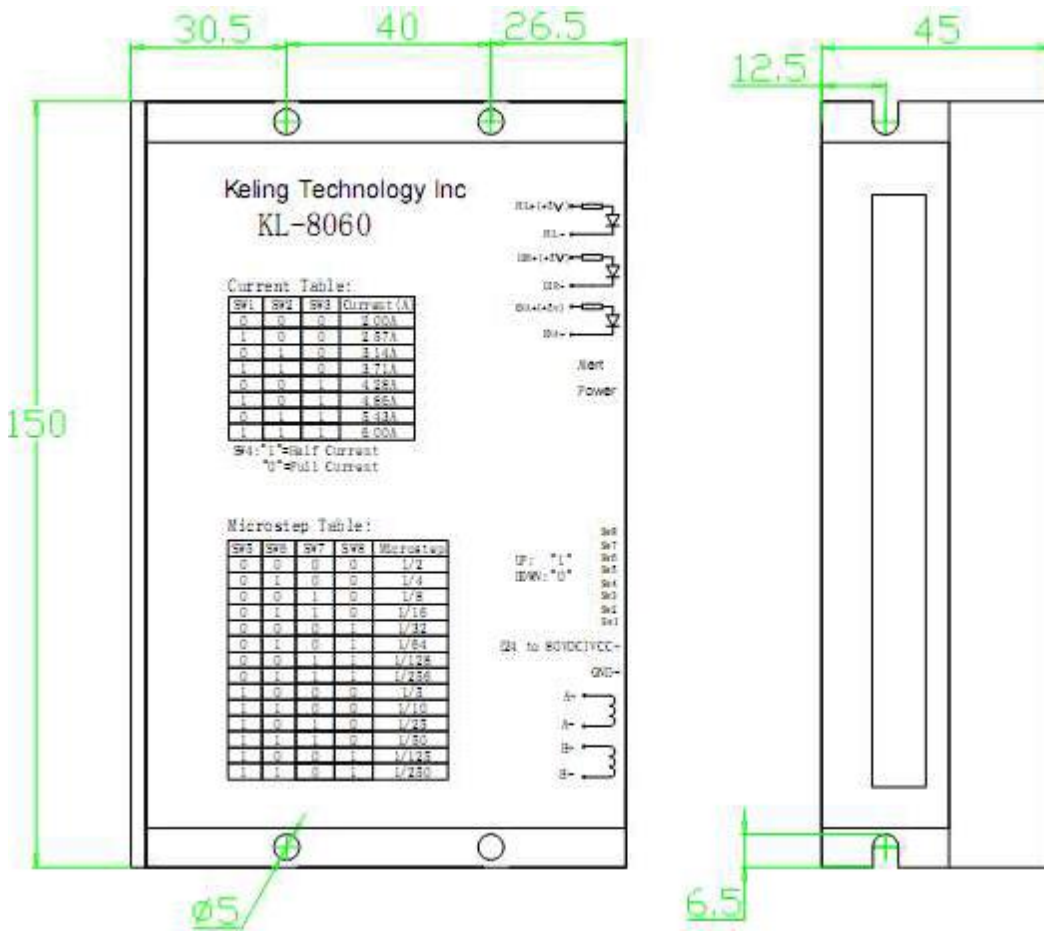
SPINDLE 2200 ESTRUCTURA FISICA



ESPECIFICACIONES ELECTRICAS DRIVER 8060

Parameters	KL8060			
	Min	Typical	Max	Unit
Output current	2	-	6	A
Supply voltage	20	48	80	VDC
Logic signal current	7	10	16	mA
Pulse input frequency	0	-	100	KHz
Isolation resistance	500			MΩ

ENTORNO FISICO 8060



ASIGNACION Y DESCRIPCION

Pin Function	Details
PUL+(+5V)	<u>Pulse signal:</u> In single pulse (pulse/direction) mode, this input represents pulse signal, effective for each rising or falling edge (set by inside R13&R14); 4-5V when PUL-HIGH, 0-0.5V when PUL-LOW. In double pulse mode (pulse/pulse), this input represents clockwise (CW) pulse, effective for high level or low level (set by inside R13&R14). For reliable response, pulse width should be longer than 1.2μs. Series connect resistors for current-limiting when +12V or +24V used.
PUL-(PUL)	
DIR+(+5V)	<u>DIR signal:</u> In single-pulse mode, this signal has low/high voltage levels, representing two directions of motor rotation; in double-pulse mode (set by inside R31&R32), this signal is counter-clock (CCW) pulse, effective for high level or low level (set by inside R13&R14). For reliable motion response, DIR signal should be ahead of PUL signal by 5μs at least. 4-5V when DIR-HIGH, 0-0.5V when DIR-LOW. Please note that motion direction is also related to motor-driver wiring match. Exchanging the connection of two wires for a coil to the driver will reverse motion direction.
DIR-(DIR)	
ENA+(+5V)	<u>Enable signal:</u> This signal is used for enabling/disabling the driver. High level (NPN control signal, PNP and Differential control signals are on the contrary, namely Low level for enabling.) for enabling the driver and low level for disabling the driver. Usually left UNCONNECTED (ENABLED) .
ENA-(ENA)	

Pin Function	Details
GND	DC power ground.
+V	DC power supply, 20~80VDC, Including voltage fluctuation and EMF voltage.
A+, A-	Motor Phase A
B+, B-	Motor Phase B

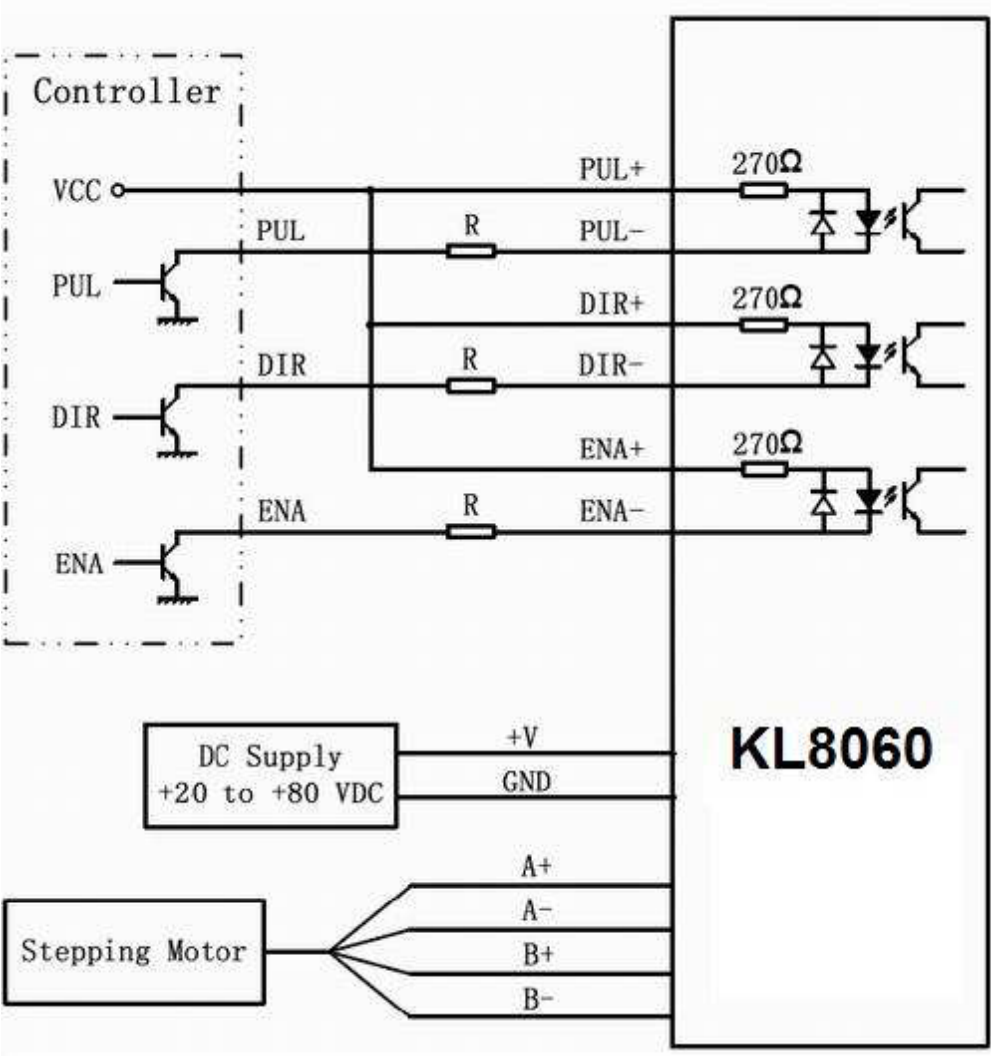
MICRO PASOS

Microstep	SW5	SW6	SW7	SW8
1/2	0	0	0	0
1/4	0	1	0	0
1/8	0	0	1	0
1/16	0	1	1	0
1/32	0	0	0	1
1/64	0	1	0	1
1/128	0	0	1	1
1/256	0	1	1	1
1/5	1	0	0	0
1/10	1	1	0	0
1/25	1	0	1	0
1/50	1	1	1	0
1/125	1	0	0	1
1/250	1	1	0	1

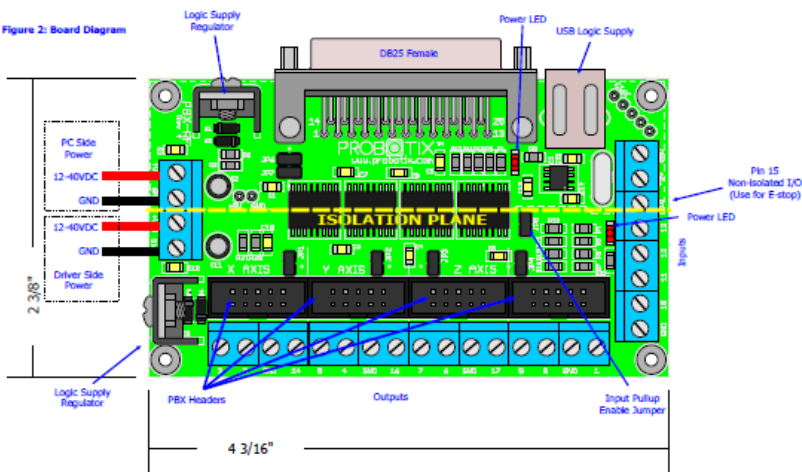
CONFIGURACION DE PINES DE CORRIENTE

Current	SW1	SW2	SW3
2.0	0	0	0
2.57	1	0	0
3.14	0	1	0
3.71	1	1	0
4.28	0	0	1
4.86	1	0	1
5.43	0	1	1
6.00	1	1	1

DIAGRAMA DE CONEXIÓN

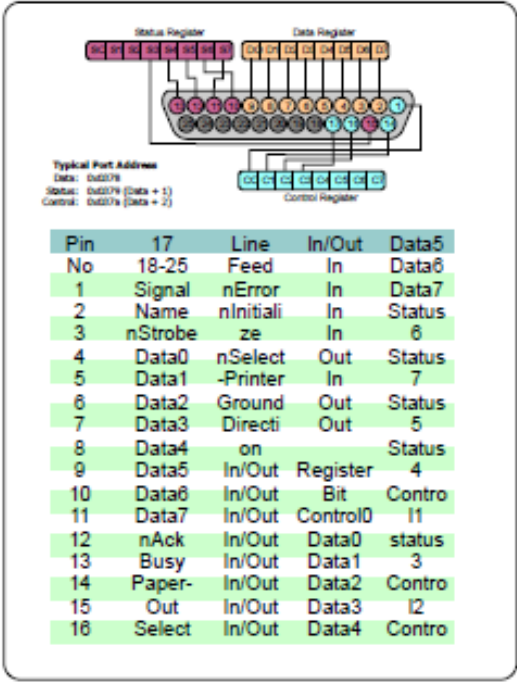


CONTROLADOR PBX-RF



PINES FISICOS DE CONEXIÓN

Figure 6: Parallel Port Signals



CABLES DE CONEXIÓN

JP1	X Axis Power
JP2	Y Axis Power
JP3	Z Axis Power
JP4	A Axis Power
JP5	Input Pull-ups Enable
JP6	Voltage Regulator Isolation
JP7	Input Enable

SEÑALES DE PINES

PIN	Signal
1	A Enable
2	X Step
3	X Direction
4	Y Step
5	Y Direction
6	Z Step
7	Z Direction
8	A Step
9	A Direction
10	E-stop
11	Z Limit
12	Y Limit
13	X Limit
14	X Enable
15	Aux Input
16	Y Enable
17	Z Enable
18 -25	GND

ESTRUCTURA INTERNA DEL CONTROLADOR

