



UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERIA EN MECATRÓNICA

# **Diseño de un Banco CNC Para Corte por Plasma**

**Memoria para optar al Título de  
Ingeniero en Mecatrónica**

Profesor Guía:

Daniel Díaz

Elvis Salazar Meneses

CURICO-CHILE

2020

—

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



UNIVERSIDAD DE TALCA  
DIRECCIÓN  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD DE TALCA  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS  
CAMPUS CURICO

Curicó, 2022

# Diseño de un Banco CNC para Corte Por Plasma

Memoria para optar al Título de Ingeniero en Mecatrónica

Ingeniero en Mecatrónica

Elvis Salazar Meneses

Profesor Guía: Daniel Díaz

## Resumen

En el presente documento, se presentará un diseño de máquina con control numérico computarizado (CNC), se revisarán diseños de los equipos disponibles en el mercado y se darán a conocer las ventajas de contar con uno de estos equipos en la industria. A partir de esto dar a conocer la necesidad de la pequeña y mediana empresa de metalmecánica deban contar con estas máquinas CNC para mejorar sus ofertas de servicios.

Se trabajó en el diseño de un banco CNC para el corte de planchas de metal, utilizando el método de corte por plasma, para esto el documento se divide en 3 etapas importantes, una etapa de análisis teórico, etapa de diseño y una etapa final donde se hacen recomendaciones de mantenimiento del banco CNC.

En la primera etapa que corresponde al análisis teórico se obtiene el conocimiento necesario para poder entender los bancos CNC, como las partes que lo integran tanto a nivel mecánico como eléctrico y de control.

Para la etapa de diseño se definen las características del banco CNC y los elementos que la componen. Se definen dimensiones de banco, se seleccionan tipo de transmisión, actuadores, guías lineales, controladores y software. Con esto se logra la entrega un diseño de un equipo que responde a los objetivos del mercado tanto en tamaño, funcionalidad y que su manufactura sea de la manera más correcta y accesible posible para que cualquier persona con conocimientos de ingeniería pueda construir y operar.

# Contenido

Índice de figuras .....	6
Índice de tablas .....	7
<b>Capítulo 1 Introducción</b>	
1.1 Problemática .....	9
1.2 Estado del arte .....	10
1.2.1 Tecnología CNC .....	10
1.2.2 Equipos de la industria .....	10
1.2.3 Software .....	12
1.3 Objetivos .....	13
1.4 Alcances .....	13
1.5 Resultados esperados .....	14
1.6 Metodología de trabajo .....	14
<b>Capítulo 2 Marco teórico</b>	
2.1 Introducción .....	16
2.2 Técnicas de corte .....	16
2.3 Corte por plasma .....	19
2.4 Actuadores: motores paso a paso .....	20
2.4.1 Funcionamiento de los motores a pasos .....	20
2.4.2 Motores bipolares .....	21
2.4.3 Selección de motor .....	22
2.5 Transmisión .....	23
2.5.1 Factores de diseño .....	24
2.6 Principales fuentes de error .....	25
2.7 CNC .....	27
2.8 Software de control .....	30
2.8.1 MACH3 .....	30

2.9 Fuentes de alimentación conmutada.....	31
2.9.1 Ventajas y desventajas.....	31
2.9.2 Diagrama en bloque general.....	34
<b>Capítulo 3 Diseño banco CNC</b>	
3.1 Introducción .....	36
3.2 Plan de diseño .....	36
3.3 Diseño y modelado de mesa de corte.....	37
3.3.1 Componentes de la estructura de banco de corte .....	38
3.3.2 Componentes de eslabones de banco.....	39
3.3.3 Ensamblaje de motores, blocks y piñones.....	39
3.3.4 Porta herramienta .....	43
3.3.5 Análisis estructural.....	43
3.3.6 Especificación de motores .....	46
3.3.7 Revisión de resistencia en barra longitudinal.....	48
3.3.8 Transmisión por cadenas dentadas .....	49
3.3.9 Velocidad de trabajo.....	50
3.3.10 Cadenas porta cables.....	50
3.4 Control y alimentación .....	51
3.4.1 Tarjeta control .....	52
3.4.2 Driver .....	53
3.4.3 Fuente de alimentación .....	54
3.4.4 Diseño caja eléctrica .....	55
3.4.5 Conexión de antorcha.....	56
3.4.5 Esquema eléctrico.....	56
3.5 Software .....	57
3.5.1 MasterCAM .....	58
3.5.2 Generación código G.....	59

## **Capítulo 4 Mantenimiento**

4.1 Diseño de plan de mantenimiento a banco CNC de corte por plasma.....	62
4.2 Objetivo específico de plan de mantenimiento.....	62
4.3 Función de la mantención.....	62
4.4 Mantenimiento.....	62
4.5 Importancia de la mantención.....	63
4.6 Plan de prevención de fallas a banco CNC.....	63
4.7 Indicadores de gestión.....	65

## **Capítulo 5 Conclusión**

5.1 Conclusiones.....	69
5.2 Trabajos a futuro.....	69
Bibliografía.....	71
Fuentes de figuras.....	72
Fuente de tablas.....	73
Anexos.....	74

## **Índice de figuras**

Figura 1 Mesa de corte por plasma y oxicorte.....	11
Figura 2 Mesa de corte por plasma.....	11
Figura 3 Esquema de corte por láser.....	17
Figura 4 Esquema de oxicorte.....	18
Figura 5 Esquema de corte por agua.....	18
Figura 6 Esquema de boquilla para corte por plasma.....	19
Figura 7 Motor PAP bipolar.....	20
Figura 8 Esquema de fuentes de error en un diseño.....	25
Figura 9 Pantalla software Mach3.....	31
Figura 10 Diagrama en bloque fuente conmutada.....	34
Figura 11 Anatomía de robot industrial comercial de coordenadas cartesianas.....	36
Figura 12 Estructura de banco para corte.....	38
Figura 13 Eslabones.....	39
Figura 14 Carril eje Y.....	40
Figura 15 Carril de eje X.....	41
Figura 16 Acople flexible y husillo de bola recirculante.....	41
Figura 17 Banco CNC.....	42
Figura 18 Porta antorcha.....	43
Figura 19 Simulación de carga de carril transversal.....	44
Figura 20 Transmisión por cadenas dentadas.....	49
Figura 21 Velocidad de corte Spectrum 875.....	50
Figura 22 Diagrama de control y alimentación.....	51
Figura 23 Tarjeta de control.....	52
Figura 24 Driver control motor a pasos.....	53
Figura 25 Diagrama de conexión de controlador 2M542 con tarjeta de interfaz.....	54
Figura 26 Fuente de alimentación conmutada.....	55
Figura 27 Conectores multi usos 4 vías.....	56
Figura 28 Conexión antorcha en equipo de corte miller spectrum 785.....	56
Figura 29 Esquema eléctrico.....	57
Figura 30 Secuencia en software.....	58
Figura 31 Pantalla software Mastercam.....	59

## **Índice de tablas**

Tabla 1 Secuencia de motor PAP bipolar .....	21
Tabla 2 Tabla comparativa entre la fuente lineal y la fuente conmutada. ....	32
Tabla 3 Piezas y pesos de banco. ....	38
Tabla 4 Resultado simulación de carga .....	45
Tabla 5 Detalle peso carril transversal .....	46
Tabla 6 Motor paso a paso .....	48
Tabla 7 Dimensiones porta cable .....	51
Tabla 8 Tabla especificaciones fuente conmutada. ....	55
Tabla 9 Tabla códigos G y M.....	60
Tabla 10 Tabla descriptiva.....	64
Tabla 11 Tabla de inspección .....	64

# Capítulo 1

# Introducción

## 1.1 Problemática

En el área industrial, específicamente en el proceso de corte de planchas metálicas existen exigencias en la precisión de corte, tiempos de desarrollo y seguridad en los operarios.

En la actividad de corte de metales se presenta el corte por plasma. Esta técnica tiene tres formas de operar:

- Técnicas de corte manual.
- Accesorios mecánicos tipo guías, que mejoran su desempeño y precisión.
- Automáticas, mediante el uso de bancos CNC (control numérico computarizado).

Al revisar las técnicas de corte manual de materiales conductores mediante plasma existen algunas operaciones que pueden ser mejoradas mediante la implementación de un banco de corte CNC [1].

- Terminaciones defectuosas.
- Poco control en velocidad de corte.
- Difícil desarrollo de piezas complicadas.
- Poca seguridad de operario.
- Baja producción en desarrollo de cortes en planchas metálicas.

Esto ha llevado a la industria requerir equipos tecnológicos que mejoren la operación de corte de planchas de metal. A nivel mundial, Latinoamérica está muy por debajo en adquisición de equipos de máquina-herramientas [2], lo cual lo pone en una situación de poca competitividad con el resto de los países.

## 1.2 Estado del arte

### 1.2.1 Tecnología CNC

El control numérico computarizado (CNC), es un sistema que permite controlar en todo momento la posición de un elemento físico, normalmente una herramienta que está montada en una máquina. Esto quiere decir que, mediante un software y un conjunto de órdenes, controlaremos las coordenadas de posición de un punto (la antorcha) respecto a un origen (0,0,0 de maquina), o sea, una especie de GPS, pero aplicado a la mecanización, y muchísimo más preciso [3].

Así pues, el CNC controla todos los movimientos de la antorcha cuando estamos cortando, y no solo controla las coordenadas del plano cartesiano, sino también, la manera de desplazarse entre ellas, su velocidad, y algunos parámetros más. Un equipo de CNC, es un equipo totalmente integrado dentro de máquinas-herramientas de todo tipo: mecanizado, corte por láser, impresoras etc. En máquinas modernas ahora encontramos que se utilizan con frecuencia hasta 7 ejes controlados [3] [4].

### 1.2.2 Equipos de la industria

Para abordar de mejor manera este proyecto se presentarán algunos trabajos, estudios, aplicaciones y lo que actualmente se encuentra disponible en el mercado sobre bancos de corte por plasma CNC.

El corte por plasma produce cortes precisos y limpios, lo contrario a los tradicionales. Los primeros cortadores de plasma eran de grandes tamaños, lentos, costosos y por esto no eran muy utilizados en la industria. Fue hasta la década de 1990 que surgieron las máquinas de corte por plasma que presentaban una mayor flexibilidad para cortar en el plano horizontal diversas formas basadas en un conjunto de instrucciones que se programaban desde una computadora [1].

El uso de cortadoras de plasma con CNC se ha incrementado en la industria ya que por medio de un software se pueden crear patrones para ser cortados automáticamente mediante la antorcha controlado por la máquina. Esta tecnología ha aumentado enormemente la productividad desde su introducción, en los últimos años las máquinas de corte por plasma han aumentado su desarrollo y demanda en la industria [1].

Las mesas de corte trabajaban solamente en el plano horizontal, es decir, en los ejes XY pero en la actualidad, debido a la investigación y desarrollo se ha logrado que estas máquinas trabajen en un tercer eje, permitiendo con esto trabajar con materiales de mayor espesor y con un funcionamiento más rápido debido a que se puede controlar la distancia entre el soplete y el material, así como la velocidad de corte.

En Estados Unidos la compañía North American Cutting Systems, Inc., ha desarrollado desde el año 1999 máquinas de corte por plasma de alta calidad que son muy utilizadas en el mundo [5].



Figura 1 Mesa de corte por plasma y oxicorte.

Las máquinas que han desarrollado son capaces de hacer cortes muy elaborados a velocidades desde 1000 hasta 3000 pulgadas por minutos, utilizando tornillo sin fin como sistema de desplazamiento mecánico, con resultados de alta calidad y con un área de corte efectivo de 50x100 pulgadas [5].

Otro país que desarrolla este tipo de tecnología es Inglaterra y City Plasma Services Ltd. Cuenta con un gran desarrollo de investigación en soluciones de automatización. Utilizando la más reciente tecnológica de CNC a precios accesibles, con una alta precisión y un área efectiva de corte hasta de 4000mm x 2000mm con velocidades de hasta los 20000mm/min que permite competir con máquinas de otros países [6].



Figura 2 Mesa de corte por plasma

El sistema de posicionamiento se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo, con relación al posicionamiento en el plano cartesiano de los ejes de una máquina dirigida desde una computadora, para lograr esto se incorporan motores eléctricos en los mecanismos de desplazamientos. Los motores que normalmente se emplean en esta aplicación, se controlan mediante un sistema electrónico de control [7, p. 234].

### 1.2.3 Software

El termino CAD/CAM es una abreviatura de Computer-Aided Design (CAD) (Diseño asistido por computadora) y Computer-Aided Manufacturing (CAM) (Manufactura asistida por computadora), esta tecnología es utilizada para mejorar la fabricación desarrollo y diseño de los productos mediante la utilización de ordenadores [8].

En la década de los 70`s gracias a las investigaciones realizadas en los años anteriores y que la industria nota el potencial del uso de estas nuevas técnicas el CAD/CAM comienza a adquirir un gran auge, esta razón es lo que lanza definitivamente la implantación y uso de estos sistemas, que estaban limitados por la capacidad de los ordenadores de esa época. También aparecen los primeros sistemas prototipos 3D, sistemas de modelado de elementos finitos, control numérico, entre otros [9].

En la década de los 90`s se empezó a trabajar con automatización más completa dentro de los procesos industriales donde ya se integran las diversas técnicas de diseño, análisis, simulación y fabricación. Con la evolución del hardware y las comunicaciones hicieron posible que la aplicación de técnicas CAD/CAM estuviera limitada a la imaginación de los usuarios. En la actualidad, el uso de estas técnicas ha dejado de ser una opción dentro del ámbito industrial, para convertirse en la única opción existente si quiere ser competitivo en su rama, es decir, CAD/CAM se convirtió en una tecnología de supervivencia [10].

De lo revisado hasta ahora se plantea concluir que contar con un diseño de un banco CNC que sea capaz de controlar una antorcha de corte por plasma que domine 3 ejes de movimientos es básico para ser competitivo en la industria moderna.

## 1.3 Objetivos

### Objetivo general

Diseño de un banco CNC para corte por plasma de planchas metálicas, que permita reducir tiempos de trabajo y material desperdiciado en el mecanizado de piezas, permitiendo aumentar la producción de los que dispongan de este equipo.

### Objetivos específicos

- Definir requerimientos de diseño.
- Definir y diseñar los componentes de desplazamiento lineal de cada eje (XYZ).
- Definir diseño de mesa principal de corte.
- Seleccionar controladores, interfaz y software de banco CNC.
- Realizar un manual de mantenimiento del equipo.

## 1.4 Alcances

En este proyecto se diseñará un banco CNC de un metro por un metro para corte de planchas metálicas de hasta 13mm de espesor utilizando el corte por plasma.

Se entregará diseño terminado, con todos sus componentes mecánicos, control y de software definidos. Se revisarán piezas críticas para recomendar el correcto mantenimiento.

Entre sus beneficios y ventajas tenemos:

- Capacidad de producir en serie.
- Gran precisión en los detalles.
- Reducción de tiempos.
- Reducción de costos en la producción.

## 1.5 Resultados esperados

- Diseño mecánico de banco y elementos de desplazamiento.
- Selección y especificaciones de elementos de control.
- Memorias de cálculo que respalden el diseño.
- Diseño de plan de mantenimiento y operación.

## 1.6 Metodología de trabajo

Ya realizada la definición del problema, este debe ser analizado mediante un estudio teórico y donde se revisan alternativas de diseño y elementos de manera general.

Una vez presentadas las alternativas, se realiza una selección y diseño de elementos que mejor se adapten a las necesidades del problema, a los cuales sean elementos críticos se les desarrollará una ingeniería de detalles con la ayuda de memorias de cálculo y análisis de esfuerzo simulados por computadora.

Se diseñará el banco de trabajo y elementos de desplazamiento. Se seleccionarán los actuadores, unidades de control, comunicación y software.

En una etapa final se hará una revisión de sus piezas críticas a las cuales se recomendará un plan de mantenimiento, junto con revisar conceptos para una mejor mantención del equipo.

# **Capítulo 2**

# **Marco teórico**

## 2.1 Introducción

En el desarrollo de cualquier proyecto se debe estar en conocimiento de las tecnologías que interfieren en él, es por esto que se llega a la necesidad de proveer de manera explícita el conocimiento que implica la construcción de un banco CNC.

En este capítulo se enfoca en dar a conocer la teoría de los elementos que constituyen la construcción de un banco CNC de corte por plasma, se muestran un panorama general sobre las técnicas de corte sin arranque de viruta, elección de actuadores, transmisión para un banco CNC y lenguaje de programación.

## 2.2 Técnicas de corte

Los procesos de maquinado convencionales (por ejemplo, el torneado, el taladrado y el fresado) usan una herramienta de corte afilada para formar una viruta de un trabajo mediante deformación por una fuerza cortante. Además de estos métodos convencionales, hay un conjunto de procesos que usan otros mecanismos para remover materiales. El término maquinado no tradicional se refiere a este grupo de procesos, los cuales remueven el exceso de material mediante diversas técnicas que incluyen la energía mecánica, térmica, eléctrica o química (o combinaciones de ellas). Estos procesos no usan un instrumento afilado de corte en el sentido convencional [11, pp. 281-282].

Hay procesos que no se pueden cumplir mediante los métodos convencionales, por lo que la importancia comercial tecnológica de los procesos no tradicionales es:

- Necesidad de maquinar metales y no metales recién desarrollados. Estos materiales nuevos con frecuencia tienen alta resistencia, tenacidad y dureza lo cual dificulta o imposibilita maquinaslos mediante métodos convencionales.
- Necesidad de realizar geometrías de partes singulares o complejas que no se obtienen con facilidad y que, en algunos casos, son imposibles de preparar mediante maquinado convencional.
- Necesidad de evitar daños externos en una parte, lo cual sucede frecuentemente por las tensiones que surgen por el maquinado convencional.

A continuación, se examinan varios de los procesos no tradicionales.

La técnica de corte por láser consiste en la focalización de un haz de láser, de una potencia entre 3000W y 5000W para acero y aluminio de 0,5mm a 6mm de espesor, en un punto del material que se desea maquinar para que este se funda y así logre el corte. En la ilustración 3 se puede observar el proceso del corte por láser: el haz laser llega al cabezal con una potencia procedente del generador y

de un sistema de conducción dentro del cabezal un grupo óptico focaliza dicho haz con un diámetro determinado sobre un punto del material a maquinar, todo este proceso requiere de un gas de asistencia, los más utilizados son nitrógeno y argón [12].

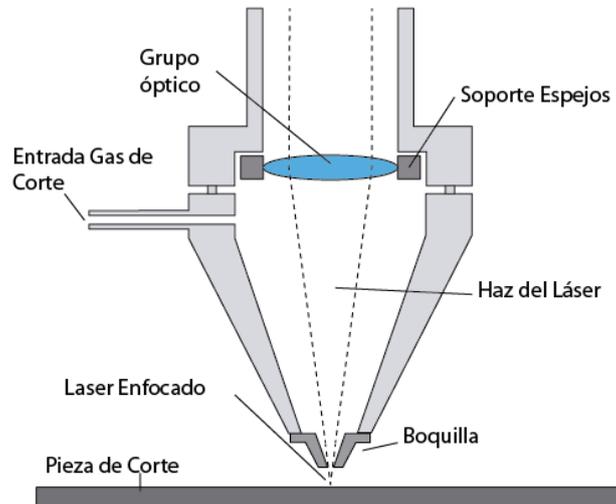


Figura 3 Esquema de corte por láser.

Una de las características principales del corte por láser es la alta precisión que presenta en el corte de piezas debido a que permite el corte de piezas muy estrechas o cuando el trabajo requiere conseguir radios muy pequeños. Algunos de los materiales metálicos comúnmente cortado con esta técnica son el acero inoxidable y aluminio.

El oxicorte es un proceso térmico, que se diferencia de corte por láser y por plasma que generan el calor mediante una fuente eléctrica y el oxicorte en cambio lo hace de una fuente química. Este proceso no consiste en la fusión del metal, sino que el corte se produce por la combustión de este lo que quiere decir que se quema y se ranura el metal a medida que se avanza con el soplete.

El oxicorte consiste en ajustar la llama mediante las válvulas de oxígeno hasta obtener una llama neutral con la cual se realiza un precalentamiento sobre la zona de corte para elevar la temperatura hasta el punto de ignición, pudiendo alcanzar una temperatura entre 2425 °C y 3320 °C. La llama por sí sola no produce el corte por lo cual se requiere un catalizador para producir la combustión del metal, para ella en esta temperatura se inyecta un chorro de oxígeno para quemar el metal generando óxido de hierro y metal fundido el cual sale expulsado para producir una perforación.

Al realizar la perforación y desplazar el soplete la energía térmica se traslada ayudando a mantener el proceso y permitiendo el avance por la geometría de corte [13].

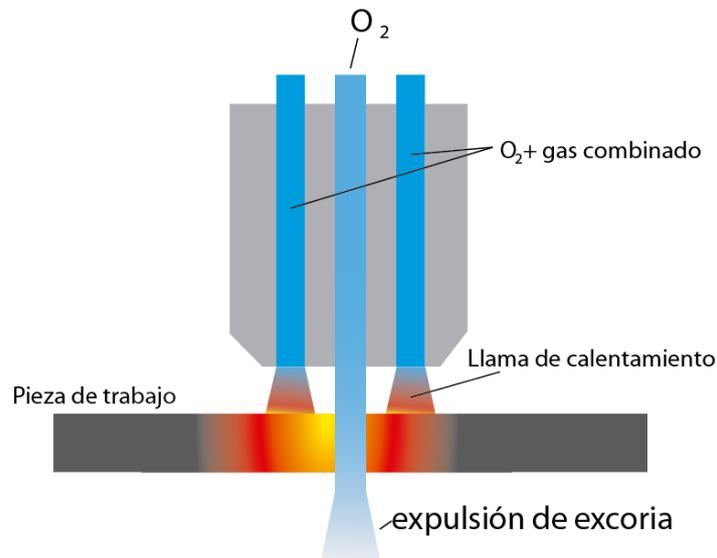


Figura 4 Esquema de oxicorte.

El método de corte con chorro de agua abrasivo consiste en un sistema de agua presurizada a 400MPa mezclándola con abrasivo, el procedimiento consiste en disparar un chorro de alta velocidad de aire seco o nitrógeno combinado con partículas abrasivas hacia la superficie de la pieza que se cortara, a través de un orificio de que va desde 0.1 a 0.4mm de diámetro. Esta mezcla viaja a una velocidad de 900m/s lo que provoca la fuerza suficiente para cortar materiales metálicos y no metálicos, ver figura 5 [14].

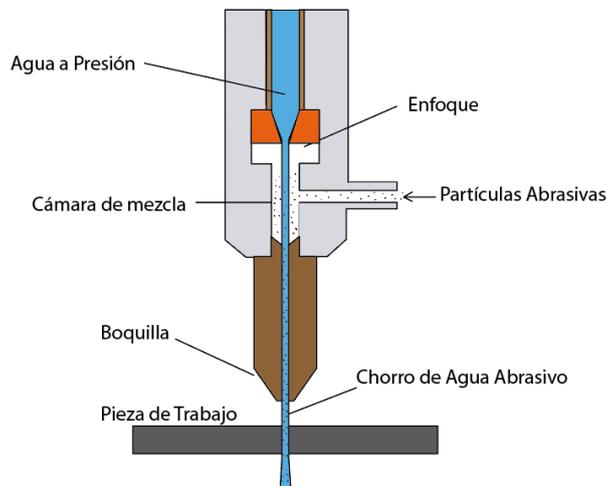


Figura 5 Esquema de corte por agua.

Ahora bien, dependiendo de las necesidades del usuario se selecciona la técnica de corte más adecuada, por ejemplo, el corte por láser puede cortar acero y aluminio con espesor de 0,5mm y 6mm; la técnica de corte por electroerosión por ser un proceso esencialmente térmico puede trabajar cualquier material conductor; el corte por chorro de agua abrasivo permite trabajar con cualquier tipo de material.

## 2.3 Corte por plasma

El plasma es considerado el cuarto estado de la materia y consiste en una mezcla de iones positivos, átomos neutros y electrones libres, es decir, un gas caliente, fuertemente ionizado y por lo tanto eléctrico.

El corte por plasma tiene como fundamento el elevar la temperatura del material que se cortara arriba de los 10000 °C [11], llevando el gas utilizado (Argón, hidrogeno, nitrógeno) hasta el cuarto estado de la materia, en donde los electrones se disocian del átomo y el gas se ioniza, es decir, se convierte en un conductor. Lo anterior genera un arco eléctrico a través de la sección de la boquilla de una antorcha, lo que concentra la energía cinética del gas empleado, ionizándolo y por polaridad adquiere la propiedad de corte [12].

El soplete donde se forma el arco consiste en un electrodo rodeado de una boquilla en donde se forma una cámara entre estos dos elementos. El gas de plasma atraviesa dicha cámara donde es calentado e ionizado por corriente eléctrica entre el electrodo y la boquilla. La velocidad del gas de plasma incrementa considerablemente debido al estrangulamiento, esto produce un barrido del material líquido dando como resultado el corte. En la figura 6 se muestra el esquema de la boquilla donde se forma el plasma. Donde además puede incluir una cámara extra donde inyecta un gas protector o agua para enfriamiento del material [12].

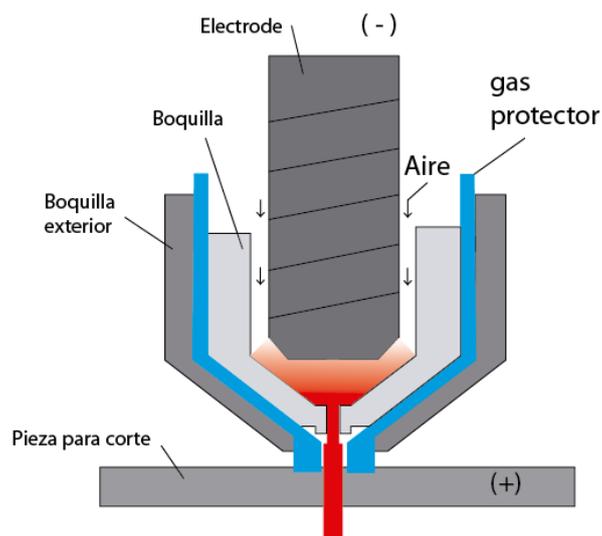


Figura 6 Esquema de boquilla para corte por plasma.

El corte por plasma es un método aplicado en corte de láminas de metal y placas planas. Las operaciones incluyen barrenado y el corte a lo largo de una trayectoria definida. La trayectoria definida se corta ya sea manual o bajo control numérico. Para una productividad más alta se prefiere el CNC

debido a que se supervisan mejor las variables más importantes como distancia de separación entre la boquilla y el metal como la velocidad de corte [11].

Por la necesidad de realizar cortes continuos de amplias longitudes o producción de piezas idénticas es recomendable utilizar sistemas automatizados de CNC. Lo anterior se logra a partir de la implementación de plataformas que controlen la posición de la antorcha en tres ejes.

## 2.4 Actuadores: motores paso a paso

En nuestros días los motores paso a paso tienen una amplia gama de aplicaciones; esto es debido a que poseen una gran precisión. Esta es la característica que fue determinante en su elección. En el presente capítulo, en el primer apartado, se describe de manera general los principios de funcionamiento de los motores paso a paso. En el siguiente punto se explica el diseño de la parte de potencia de los motores, es decir el manejo de las corrientes de las bobinas.

### 2.4.1 Funcionamiento de los motores a pasos

Los motores a paso a paso (fig. 7) son muy utilizados en la actualidad para el desarrollo de mecanismo que requieren de una alta precisión. Este tipo de motores poseen cualidades especiales por el hecho de poderlos rotar en ambas direcciones, moverlos en incrementos angulares precisos, sostener un torque de retención a velocidad cero y controlarse con circuitos digitales.

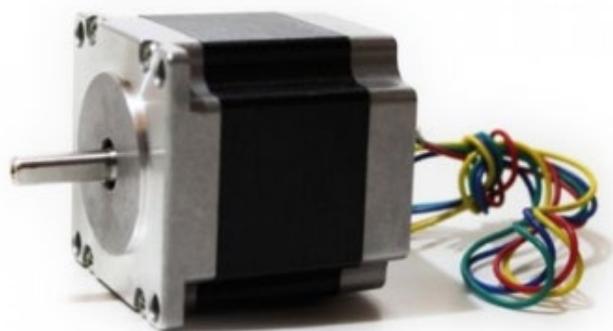


Figura 7 Motor PAP bipolar

Se pueden mover desde un paso hasta una secuencia interminable de pasos dependiendo de la cantidad de pulsos que se les aplique. Este paso puede ir desde pequeños movimientos de  $1.8^\circ$  hasta  $30^\circ$  lo que equivale de 12 a 200 pasos por revolución (se pueden diseñar circuitos especiales de micro pasos para generar 10000 pasos/rev o más). Es por eso por lo que este tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden rotar a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador [15, pp. 413-417].

Estos motores poseen la capacidad de quedar enclavados en una posición si una o más de sus bobinas esta energizada o bien totalmente libres si no existe corriente alguna circulando por estas. Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deben ser externamente manejadas por un controlador.

Los motores de pasos pueden ser bipolares o unipolares, estos se impulsan mediante una fuente CD, requieren circuitos digitales para producir la secuencia de energización de bobina para rotación del motor y pueden operar sin una retroalimentación [15].

#### 2.4.2 Motores bipolares

Este tipo de motores tienen generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertas manipulaciones para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Es necesario además un puente H por cada bobina del motor, es decir que para controlar un paso a paso de 4 cables (dos bobinas), se necesitaran usar dos puentes H.

Secuencia para manejar motores paso a paso bipolares

Como se dijo anteriormente, estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida. A continuación, se puede ver la tabla con la secuencia necesaria para controlar motores paso a paso del tipo bipolares:

**Tabla 1 Secuencia de motor PAP bipolar**

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Como tema final de los motores a pasos debido a que son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante para tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de los pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto
- Puede comenzar a vibrar, pero sin llegar a girar
- Puede girar erráticamente
- Puede llegar a girar en sentido opuesto

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. Si se desea cambiar el sentido de giro debería ser realizado previamente bajando la velocidad del motor para así evitar daños mecánicos provocados por la inercia [16].

#### 2.4.3 Selección de motor

Cuando se selecciona un motor para una aplicación mecatrónica específica, el diseñador debe considerar muchos factores y especificaciones, incluidos: rango de velocidad, variaciones de torque-velocidad, reversibilidad, ciclo de trabajo operativo, torque de arranque y potencia requerida. Estos y otros factores se describen aquí en una lista de preguntas que un diseñador debe considerar cuando selecciona y calcula el tamaño de un motor en una consulta con un fabricante de motores [15, pp. 422-425].

¿El motor arrancará y acelerará lo suficientemente rápido?

¿Cuál es la máxima velocidad que puede producir el motor?

¿Cuál es el ciclo de trabajo operativo?

¿Cuánta potencia requiere la carga?

¿Qué fuente de potencia está disponible?

¿Cuál es la inercia de la carga?

¿La carga se impulsará a velocidad constante?

¿Se requiere control preciso de posición y velocidad?

¿Se requiere una transmisión o engranaje?

¿Es necesario invertir el motor?

## 2.5 Transmisión

Existen diferentes tipos de dispositivos que convierten una fuerza rotativa en una fuerza lineal que pueden ser los siguientes:

- Piñón cremallera
- Tornillo sin fin
- Sistema de bandas o correa dentada
- Cadena dentada de transmisión
- Elementos de acoplamiento

Estas transmisiones pueden representar una fuente de error. A continuación, se mencionarán los cinco errores más comunes en este tipo de transmisión:

- Error en la geometría de los dispositivos
- Componentes desalineados
- Histéresis
- Juego mecánico
- Fricción

Considerando las condiciones de trabajo, se debe seleccionar un tipo de transmisión que considere el material incandescente desprendido en el proceso de corte por plasma.

Los sistemas de transmisión por cadena se emplean para transmitir movimiento entre dos ejes paralelos que se encuentran alejados entre sí, aunque las diferentes configuraciones de los elementos que la componen pueden hacer variar la función final del sistema, es decir, el sistema puede tener la finalidad de transmitir movimiento entre los ejes, servir como sistemas de elevación o como sistemas transportadores.

Este sistema es uno de los métodos más eficientes utilizados para transmitir potencia mecánica, dado que los dientes de las ruedas dentadas evitan que la cadena se resbale.

Este sistema de transmisión tiene muchas ventajas entre las más importantes están:

- El sistema de transmisión por cadena tiene la capacidad de transmitir potencia a una considerable distancia entre ejes, esta condición se logra dado que las cadenas pueden tener longitudes variables, es decir su longitud puede variar mediante la adición o eliminación de eslabones.
- Con los sistemas de transmisión por cadena dentada se pueden obtener rendimientos elevados del orden del 98%, dado que se excluyen problemas de deslizamiento entre los componentes del sistema.
- En este tipo de sistemas no existe tensión previa, por lo que la carga en los árboles es menor que en el caso de sistemas de transmisión por correas
- Con el sistema de transmisión por cadenas se puede transmitir rotaciones a varios ejes con una misma cadena.
- Cuando se requieren transmitir potencia elevadas simplemente bastara con emplear múltiples hileras.

Algunas de las desventajas que incluyen el sistema de transmisión por cadena son:

- Un elevado coste cuando se requieren materiales o tratamientos especiales para evitar el desgaste en los componentes o se emplean en ambientes especiales.
- Se requieren montajes precisos con el objetivo de evitar que alguna de las caras de la cadena se someta a cargas superiores y falle por fatiga anticipadamente, es decir que afecte la vida útil de los componentes.
- Se requieren prácticas de mantenimiento minuciosos y procesos de lubricación.
- Se pueden presentar movimientos irregulares, oscilaciones durante la marcha o cambio de dirección en la transmisión.

### 2.5.1 Factores de diseño

El diseño de una transmisión por cadena permite establecer las características dimensionales tanto de los sprockets como de la cadena y seleccionar los elementos estandarizados o tamaños normalizados que los fabricantes distribuyen.

La relación de transmisión en el caso de la transmisión por cadena es el cociente entre el número de dientes de la rueda conducida y el número de dientes de la rueda conductora. La relación de transmisión también se puede expresar en términos de la velocidad de rotación de las ruedas.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} \tag{1}$$

Donde:  $n$  = numero de dientes;  $Z$  = Velocidad de rotación

## 2.6 Principales fuentes de error

Antes de elegir un diseño final para una máquina herramienta, se deben considerar las entradas que afectaran al sistema para que puedan ser considerados en el diseño. Algunas fuentes de error que se deben considerar se presentan a continuación:

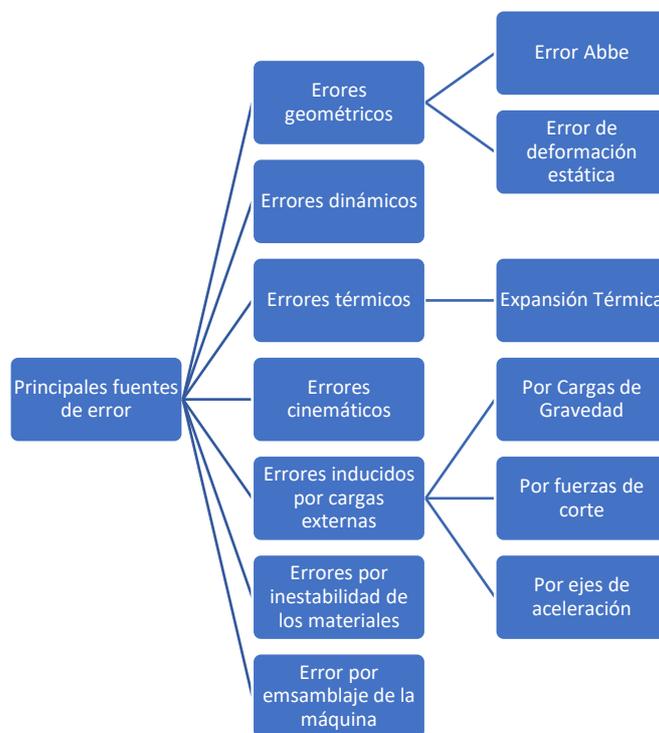


Figura 8 Esquema de fuentes de error en un diseño.

- **Errores en la geometría**

Los errores en la geometría de la máquina se producen en los tres ejes y tienen componentes traslacionales y rotacionales por eje. Además, se debe considerar si hay ortogonalidad y errores de paralelismo entre los ejes. El error con más graves consecuencias es el error angular. Estos errores angulares son amplificados por la distancia entre el origen y el punto de interés y se llaman errores Abbe. Los errores Abbe son la fuente que más a menudo se pasa por alto. Errores de deformación estática son causados por el peso de una máquina de sí mismo y el peso de las piezas. Con un cuidadoso

análisis y modelado de la estructura, estos errores pueden ser calculados con precisión para mantenerlos en los niveles deseados sin afectar el funcionamiento de la máquina.

- **Errores térmicos**

La expansión térmica de las máquinas herramientas raramente es uniforme, por lo que las mediciones no necesariamente se pueden escalar únicamente por un factor de compensación lineal. La causa de estas deformaciones térmicas es el calor generado por motores, rodamientos lineales y rotativos y el proceso de corte. Los cambios ambientales de temperatura normalmente afectan a la máquina de manera más uniforme, pero también deben tomarse en cuenta. Para lograr que la máquina alcance un equilibrio térmico, la mayoría de las máquinas requieren un tiempo de calentamiento o enfriamiento (compensación de temperatura).

- **Errores cinemáticos**

Los errores cinemáticos se definen como errores en un eje de la trayectoria que son causados por mal alineamiento o tamaño equivocado del componente. Por ejemplo, los errores cinemáticos incluyen ortogonalidad y paralelismo de los ejes con respecto a sus ubicaciones entre sí.

Los errores de traslación en el espacio de ejes también son una forma de error cinemático. Las dimensiones de los componentes de un eje también pueden causar que la herramienta de corte esté fuera de donde se supone que deben de estar y esto también se clasifica como un error cinemático. Los errores de traslación, sin embargo, son generalmente fácilmente compensar en máquina cartesianas mediante el uso de una herramienta de compensación.

Los errores cinemáticos en una máquina bien diseñada y fabricada deberían de ser muy repetibles y fácil de compensar si el control está bien diseñado. Sin embargo, el principio fundamental del diseño de una máquina de precisión moderna sigue siendo maximizar el rendimiento mecánico.

- **Principios de precisión, repetibilidad y resolución**

La precisión es la proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto u objetos similares, bajo condiciones especificadas. Las condiciones especificadas pueden ser condiciones de repetibilidad, condiciones de precisión intermedia o condiciones de reproducibilidad. La precisión nos da el error máximo de traslación o rotación entre dos puntos en el volumen de trabajo de la máquina.

La repetibilidad es la condición de medición dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, mismos operadores, mismo sistema de medidas, mismas

condiciones de operación y en el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo; es decir, la repetibilidad es la capacidad de contar la misma historia una y otra vez en la misma posición.

A menudo la clave de la repetibilidad no está dentro de la misma máquina, pero si al aislar la máquina de variaciones en el medio ambiente.

La resolución es la mínima variación de la magnitud de medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente, puede depender por ejemplo del ruido, de la fricción o del valor de la magnitud medida; es decir, la resolución es que tan detallada es la historia por el que para el caso de una máquina herramienta será el paso mecánico más pequeño que puede hacer la máquina durante el movimiento de un punto a otro punto.

Después de describir las principales fuentes de error que se deben de considerar al momento de elegir un diseño para este proyecto en particular los fenómenos mecánicos que más afectarán a la mesa plataforma serán tres:

- Deriva
- Juego mecánico
- Cabeceo

## 2.7 CNC

Está compuesto de un conjunto de dispositivos electrónicos que recibe las órdenes de movimiento del ordenador y manejan en consecuencia los motores. Así mismo reciben información de finales de carrera, pulsador de emergencia y sensores que transmiten de vuelta. Su elección es clave para el óptimo funcionamiento de nuestra máquina.

Hay dos partes diferenciadas: el interfaz y los drivers. Podemos encontrar controladoras que incorporan "todo en uno" (con lo que se ahorra espacio, recursos y resulta más económico) o bien cada elemento de forma modular (lo que nos permite más flexibilidad).

Puesto que los drivers son complementarios a los motores, atienden a la misma clasificación: Unipolares, Bipolares y Servomotores.

### **Controladoras integradas**

Incorporan en un conjunto la interfaz, las entradas/salidas y los drivers de los motores. Al estar todo en el mismo circuito pueden compartir recursos, ocupan menos espacio y son más económicas, lo que

representa una gran ventaja. Hay una amplia gama y la mayoría cubren suficientemente los requisitos normales, por contra el diseño es "el que es" y si se necesita variar un elemento no es posible (interfaz paralelo a USB, motores de diferente naturaleza, etc.).

### **Controladoras modulares**

La interfaz y los controladores están separados en elementos externos, lo que conlleva mayor espacio y redundancia. Sin embargo, es la opción más potente al ser posible utilizar drivers de distinta naturaleza y/o capacidad o sencillamente cambiar el interfaz sin afectar al resto de elementos,

Ya estén integrados o como elementos individuales, todas las controladoras se componen de al menos un interfaz y tantos drives como motores:

### **Tarjeta interfaz**

También llamada "breakout board" (aislada), es el elemento que conecta con el ordenador y hace de frontera. Una característica muy interesante es que sea opto acoplada lo que garantiza el aislamiento entre los motores, circuitos de potencia, etc. y la delicada electrónica del ordenador.

Así mismo, hay varias formas de conectar al ordenador. Las más utilizadas:

- **Puerto paralelo:** aun siendo un interfaz de los años 70, sigue siendo utilizado hoy en día. Programas CNC como Mach3 son el que utilizan este tipo de comunicación.
- **Puerto serie:** no es muy habitual, pero existen controladoras para este tipo. Tiene la ventaja de ser un estándar reconocido y permite distancias relativamente grandes.
- **Puerto USB:** es la tendencia actual y terminará siendo el estándar, pero aún no todos los programas lo soportan y hay que revisar su compatibilidad.
- **Ethernet:** es una solución profesional que incorporan algunas tarjetas donde su principal característica es la aislación de la comunicación.

A la tarjeta de control se conectan las entradas y salidas, por lo que es conveniente que cuente con entradas para sensores de finales de carrera, parada de emergencia. En cuanto a las salidas, es frecuente contar con al menos un relé para activar elementos como un motor y en el caso de fresadoras, bombas de refrigeración, etc. Es en cualquier caso un aspecto a tener en cuenta.

### **Controladores**

Es el elemento que maneja directamente los motores y por tanto habrá uno por cada motor. Los diferentes tipos que se suelen utilizar y sus características más significativas a tener en cuenta son:

- **Unipolares**

Para máquinas no se suelen utilizar demasiado porque desaprovechan el torque del motor. Sin embargo, son las de más fácil construcción y encontrarás circuitos "caseros" para manejar motores PaP con esta técnica. También suelen carecer de gestión corriente y por ello limitan la intensidad de los bobinados con resistencias de potencia y voltajes muy bajos, lo cual repercute es un rendimiento pobre.

- **Bipolares**

Son las más utilizadas actualmente y hacen uso de distintos "chips" especializados que implementan técnicas para incrementar el rendimiento. Importante que cuenten con:

- Gestión PWM (modulación de ancho de pulsos) de corriente para regular la intensidad de los bobinados de forma eficiente reduciendo la disipación de calor. Por supuesto ha de ser capaz de manejar la intensidad que requiera el motor.
- Voltajes elevados gracias a la gestión PWM permite aplicar mayores voltajes al motor y obtener mayores velocidades de conmutación.
- Micropasos con lo que obtienen aumentos de resolución del motor de hasta  $1/256$  (también se les llama "reductora electrónica"), aunque si no disponemos de encoder que nos asegure la posición no conviene más de  $1/8$  para mantener una cierta seguridad de que no hay pérdidas de pasos.
- Control de resonancia todos los motores por naturaleza tienen una frecuencia a la que el bobinado entra en resonancia y el motor puede perder hasta un 40% de potencia en ese punto si no se evita.
- Gestión de StandBy, que reduce la corriente del motor cuando lleva un cierto tiempo parado para que no se sobrecalienten al tiempo que se mantiene el par de retención.
- Protección contra sobrecorriente y sobretensión del controlador.

- **Servomotor**

Son la opción profesional. Cuentan con características comunes en cuanto a la forma de controlarlos y utilizan directamente el encoders del servomotor para realimentar y asegurar la posición (sin intervención del ordenador), formando un conjunto con el motor. Aun siendo los tamaños normalizados, cada fabricante suele aportar su "familia" de productos diseñados para trabajar conjuntamente.

## 2.8 Software de control

El usuario diseñador generalmente utiliza un software el cual genera un archivo CAD, el cual es transferido a la máquina herramienta que en si contiene un software que es el encargado de controlar la máquina. Este software es el programa de control los cuales usualmente utilizan un código G y M para su funcionamiento.

En la actualidad se pueden adquirir variadas alternativas para el control de una máquina CNC, como lo son marcas como Siemens y Fanuc, pero también se pueden encontrar programas gratuitos como lo son MACH3 en su versión básica.

### 2.8.1 MACH3

Mach3 es distribuido por ArcSoft Corp. por internet está disponible el paquete como un archivo autoinstalable, el cual puede ser ejecutado como una versión de demostración por tiempo ilimitado con limitaciones en velocidad, tamaño de corte (hasta 500 líneas) y otras características especiales. Tiene la opción de comprar el software completo.

Mach3 convierte un computador de escritorio estándar en un controlador CNC de hasta 6 ejes. El control electrónico lo realiza por medio de la puerta paralela LPT (line print terminal) o USB dependiendo de la interfaz, el control es punto a punto y puede manejar 15 I/O (entradas/salidas) por puerto paralelo instalado en el computador. Los atributos que tiene este software son los siguientes [17]:

- Visualización de la trayectoria de la herramienta en tiempo real
- Admite código G de cualquier post procesador
- La interfaz del programa se puede cambiar a gusto del usuario
- Los códigos M se pueden modificar a través de VBScript.

Las características técnicas son los siguientes:

- Control de hasta 6 ejes, con configuraciones lineales y rotativas
- Permite importar archivos DXF, BMP, JPG desde lazycam
- Control de velocidad máxima y aceleración de cada eje
- Control de velocidad de giro del husillo
- Control de relés para salidas discretas de potencia
- Acepta modalidad "Touch Screen"
- Visualización del proceso a través de una cámara Web.

En la figura 9 se aprecia una pantalla de la operación de Mach3, el cual se ve amigable para el usuario.

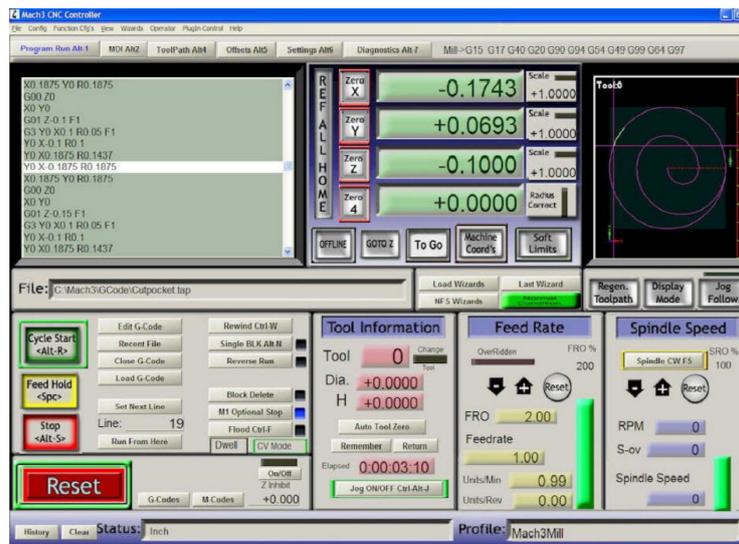


Figura 9 Pantalla software Mach3.

## 2.9 Fuentes de alimentación conmutada

Una fuente que opera por conmutación consta principalmente de un componente que abrirá y cerrará el paso de corriente continua, por lo general, se ocupa un transistor de potencia (IGBT), un mosfet o tiristor, que ira alternando en corte y saturación a una fuente superior a los 30KHz. De esta manera, y dependiendo de la velocidad de apertura y cierre, se conseguirá distintos valores medios de tensión continua, con ayuda de una malla LC (bobina y condensador), que serán configuradas de acuerdo con las características que se estime para la tensión de salida.

A grandes rasgos las fuentes conmutadas pueden ser clasificadas en tres tipos:

- Alimentación CA, salida CC
- Alimentación CA, salida CA
- Alimentación CC, salida CA

### 2.9.1 Ventajas y desventajas

Estas fuentes conmutadas poseen una posición indiscutiblemente mejor valorada que las fuentes de tensión convencionales, debido a que cumplen ciertas características que si se ponen en comparación se podrá ver que la cantidad de ventajas solapan hasta cierto punto a las desventajas [18].

A continuación, se presenta una tabla comparativa donde se podrá analizar de manera específica sus ventajas y desventajas frente a una fuente lineal.

Tabla 2 Tabla comparativa entre la fuente lineal y la fuente conmutada.

<b>Característica</b>	<b>Fuente lineal</b>	<b>Fuente conmutada</b>
Factor de potencia	Poseen un bajo factor de potencia debido a que la energía se obtiene del peak de voltaje de la alimentación y sus componentes, sobre todo el transformador, no absorben la energía en forma lineal, desaprovechando la potencia y disminuyendo el rendimiento en línea	También poseen un bajo factor de potencia por la misma razón de las fuentes lineales.  En ciertos lugares del mundo, es de uso obligatorio una etapa de corrección de este fenómeno.
Complejidad de construcción	Una fuente lineal es su forma elemental es bastante simple y básica, contando con una etapa reductora, rectificadora, y finalmente filtros.	Ya que requieren una etapa de control PWM y las altas frecuencias a la que trabaja requieren muchos componentes y filtros, posee un nivel de complejidad mucho mayor a diferencia de las fuentes lineales
Tamaño y peso	Debido a las altas tensiones y bajas frecuencias (50-60Hz), osee componentes más grandes y pesados, en el caso de los transformadores, estos poseen un núcleo metálico y un tamaño considerable, pesando fácilmente 10kg la fuente en su totalidad.	Estas, al trabajar en altas frecuencias (30KHz-1MHz) y baja tensión en sus etapas de control, requieren transformadores y componentes discretos de reducido tamaño, peso y constitución. Destaca sobre todo su transformador, de reducido tamaño y peso debido a su núcleo de ferrita.
Voltajes de salida	Estas fuentes solo pueden reducir la tensión de entrada, ya que las etapas previas a la salida se encargan de reducir la tensión por medio de energía disipada	Muy versátiles, pueden obtener salidas de tensión bajas, altas o incluso inversas con respecto a la entrada o alimentación

Característica	Fuente lineal	Fuente conmutada
Eficiencia	Las fuentes lineales trabajan en forma pasiva, utilizando componentes que disipan energía en forma de calor en sus etapas previas a la salida, disminuyendo considerablemente su eficiencia (hasta 60%) debido a las pérdidas.	En las fuentes conmutadas se regula la salida por medio de una señal de control para variar el ancho de pulso, tomando de la alimentación sola la energía requerida por la carga. Poseen una alta eficiencia (85-95%) y sus únicas pérdidas o calor generado se debe a las características no ideales de los materiales y componentes del circuito.
Interferencia por radio frecuencia	No producen señales de radio frecuencia, son comúnmente en entornos donde se requiere ausencia de este tipo de interferencias.	Las altas frecuencias en la cual se produce la conmutación y sus componentes generan una gran cantidad de interferencia. En su diseño se debe evitar el uso de cables y pistas largas entre sus componentes, además de agregar protecciones o blindajes para disminuir las EMI (Interferencias electromagnética).
Ruido eléctrico	Poseen una pequeña cantidad de ruido eléctrico del orden de los milivolts (mV) en la salida, pero es fácilmente suprimida en su mayoría por condensadores de mayor tamaño o reguladores de voltaje más eficientes.	Se requieren filtros capacitivos e inductivos en las salidas para mantener una salida lo más estable posible.  Debido a la frecuencia de conmutación se obtienen salidas muy ruidosas y también se necesitan filtros en la entrada de la alimentación para evitar que este se propague por la red.

Teniendo en cuenta las ventajas, se puede deducir que hoy en día son las fuentes más recurridas a la hora de alimentar aparatos, para lograrlo, estas siguen cierta arquitectura general, eso refiere a etapas que son indispensables a la hora de conseguir los resultados esperados.

Las secciones de una fuente conmutada constan primordialmente de:

- Puente rectificador
- Condensador de entrada (Filtro)
- Circuito de control (regulador y comparador)

- Transformador (Reductor o amplificador)
- Bobina del filtro de salida
- Condensadores del filtro de salida

Dichas etapas, funcionarán de manera complementaria y secuencial, siguiendo un orden lógico que permita obtener un valor deseado, cada etapa es fundamental para su correcto funcionamiento, obviando algunos componentes y etapas que podrán quitarse del diseño original para abaratar costos, como por ejemplo filtros de entrada, protecciones por sobre corriente, etc. [18, pp. 6].

### 2.9.2 Diagrama en bloque general

El diagrama mostrara la señal en cada etapa del circuito, para adquirir una visualización general del comportamiento de esta.

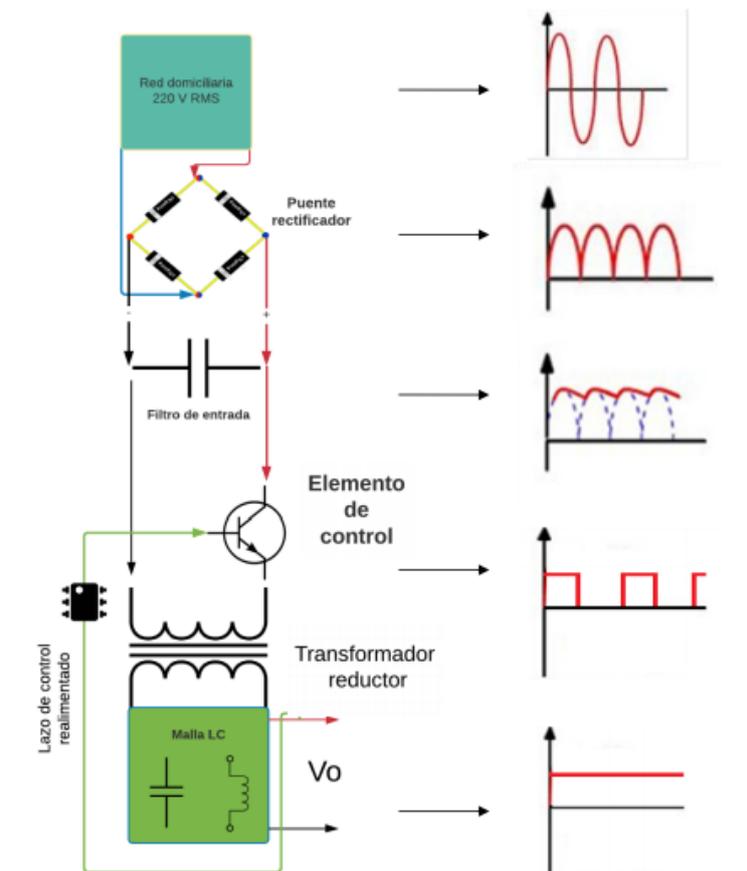


Figura 10 Diagrama en bloque fuente conmutada.

# Capítulo 3

# Diseño banco CNC

### 3.1 Introducción

El ingeniero de diseño debe determinar lo que se requiere para dar solución a la necesidad, junto con definir su funcionalidad para cumplir con el buen desempeño de la máquina. Los puntos a considerar deben ser los siguientes: modelo físico-cinemática, dinámica, requisitos de energía, sensores, control, materiales, seguridad, ergonomía, ensamble, mantenimiento, entre otros.

### 3.2 Plan de diseño

Existen diferentes tipos de anatomía para manipuladores, los cuales constan de un manipulador mecánico y un controlador. El manipulador mecánico posee uniones que colocan y orientan el extremo del manipulador respecto a su base [11, pp. 938].

De la elección del tipo de manipuladores se debe considerar el peso de la estructura, el volumen de trabajo, número de articulaciones y uniones para la manipulación. Para este proyecto en particular se trabajará con un manipulador del tipo coordenadas cartesianas, el cual se muestra en la figura 11.

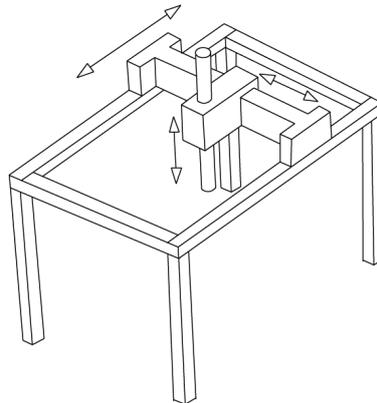


Figura 11 Anatomía de robot industrial comercial de coordenadas cartesianas

Este tipo de estructura presenta las siguientes características:

- Excelente sistema de amplia carrera.
- La máquina es físicamente grande en relación con las piezas con las que se trabajará.
- El operador tiene libre acceso a las piezas a lo largo de la mesa.
- Es ideal para aplicaciones para sistemas donde se requieran tres ejes.

Las otras ventajas de estos manipuladores cartesianos se deben al hecho de que las primeras tres articulaciones están desacopladas. Esto facilita su diseño y evita las singularidades cinemáticas debidas a las primeras tres articulaciones [7].

Al hacer el diseño de la máquina herramienta se deben considerar los elementos que afectarán la precisión en el maquinado o corte de la pieza. A continuación, se mencionan tres elementos básicos a considerar:

1. Estructura
2. Actuadores
3. Transmisión

### 3.3 Diseño y modelado de mesa de corte

Al iniciar el diseño y modelado es necesario investigar el funcionamiento de los bancos de corte por plasma, así como los diseños estándares de dichos bancos. Esta etapa de investigación se divide en los siguientes puntos:

- Investigación sobre mesas de corte del mercado
- Investigación de actuadores a través de sus fabricantes
- Investigación de materiales que serán cortados en la mesa para definir medidas

En base a estas investigaciones se toman las consideraciones necesarias para dimensionar y diseñar el banco el cual será controlado para realizar los cortes.

Realizando un análisis de las máquinas [5][6] disponibles en el mercado actualmente se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

**Altura:** Se observa una inclinación a los 80 centímetros de altura del banco de algunos fabricantes.

**Capacidades:** Las planchas utilizadas serán de espesor inferior a 13mm (limitada por el equipo de plasma) y su ancho por de 1 metro, el largo no es limitante ya que la plancha metálica puede sobresalir del banco.

**Diseños:** Analizando diferentes diseños de mesas de corte, estas son de diseño rectangular debido a que la mayoría de las placas tienen esta geometría.

**Tecnología:** Se contará con un movimiento cartesiano de 3 ejes controlado por CNC, utilizando motores paso a paso bipolares con una transmisión de cadenas en sus trayectorias horizontales y tornillo sin fin en su movimiento vertical.

### 3.3.1 Componentes de la estructura de banco de corte

El software que se utiliza para la etapa de diseño es Autodesk Inventor Professional 2013

Las dimensiones del banco se define su ancho en 1 metro en el área de trabajo por ser la medida estándar en planchas disponibles en el mercado, su largo se ve acotado por a un metro, por lo cual se obtiene un área efectiva de corte de un metro por un metro.

A una altura de 80cm la plataforma quedaría como se muestra en la siguiente figura.



Figura 12 Estructura de banco para corte.

La estructura soldada consta de 4 patas en perfil cuadrado de 50x50 en 3mm de espesor, una estructura superior de perfiles rectangulares de 100x50mm, además de unos ángulos laterales de 50x50mm perforados para el acoplamiento de los eslabones mediante pernos (ver “dimensiones de banco” en anexo).

Tabla 3 Piezas y pesos de banco.

Pieza	Masa (Kg)
Banco	68
Rejilla	27
Ángulos	5
Total	100

Se instala una rejilla de corte con pletinas de 50x3 mm dispuestos a 50 mm de distancia entre ellas para ser utilizada como superficie de corte.

### 3.3.2 Componentes de eslabones de banco

Esta estructura consta de 3 ejes principales, contruidos de viga UPN (ver “hoja técnica viga UPN” en anexo) lo cual da resistencia a las posibles deformaciones y paralelismo en sus caras opuestas, donde van dispuestas las guías lineales SBR12mm (figura 13).

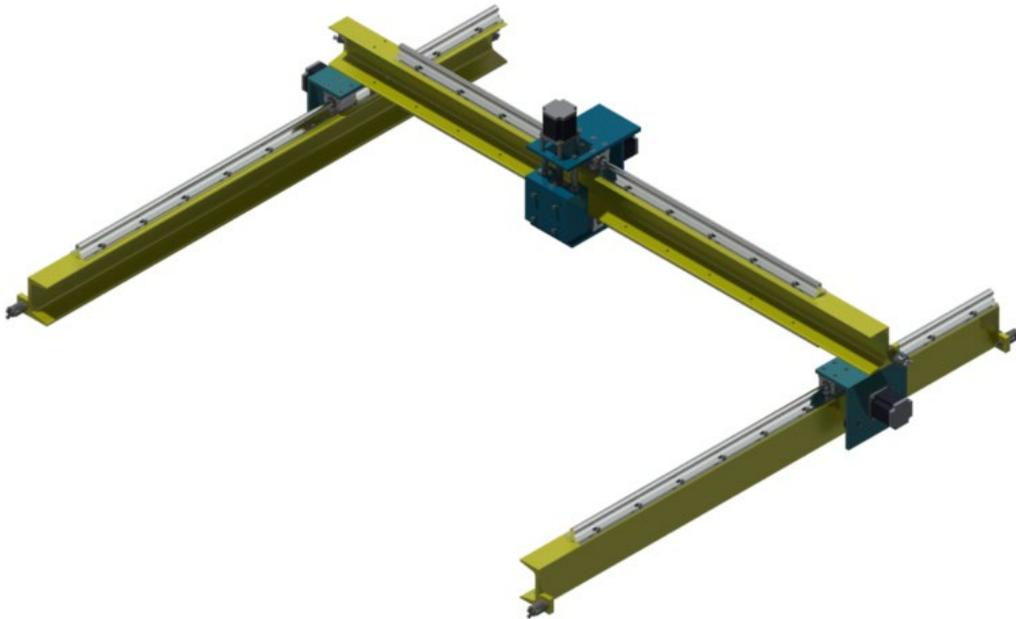


Figura 13 Eslabones.

Están guías SBR de 12mm están apernadas al perfil con pernos Parker de M4-0.7. Mientras que la viga UPN es apernada a la estructura mediante Pernos Hexagonales M8, dando una ventaja de poder ser desmontada.

### 3.3.3 Ensamblaje de motores, blocks y piñones

Las piezas que unen los distintos componentes de la transmisión están compuestas de una estructura metálica de 8 mm, pueden ser ensambladas mediante pernos para evitar deformación térmica producidas por soldadura (ver “dimensiones carril eje Y” en anexo).

La sujeción de los motores, block y piñones se realizan con pernos Parker M5-0.8.

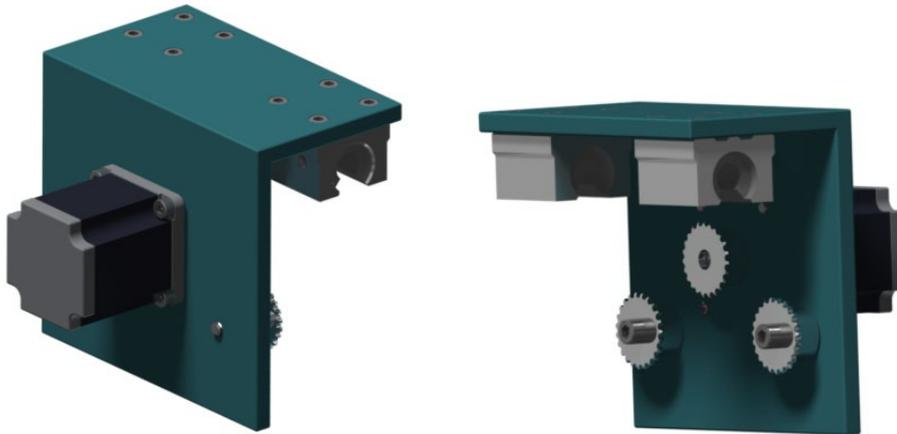


Figura 14 Carril eje Y.

Estos carriles presentados en la figura 14, nos permite la movilidad en eje Y, el cual va montado a las guías lineales de SBR12mm de 1 metro de largo mediante 2 block sbr12mm cada una, la estructura es completamente desmontable mediante pernos, para realizar futuras mantención de piezas desgastadas.

El carril de la figura 15 nos permite la movilidad en eje X (ver planos “dimensiones carril eje X” en anexo), el cual va montado a las guías lineales de 12mm de 1 metro de largo mediante 4 block sbr12mm (2 arriba y 2 abajo).

En estas piezas son enfocados todos los esfuerzos en precisión ya que al no estar los ejes paralelos entre si se compromete un sobre esfuerzo en los motores o directamente que el carril se trabe.

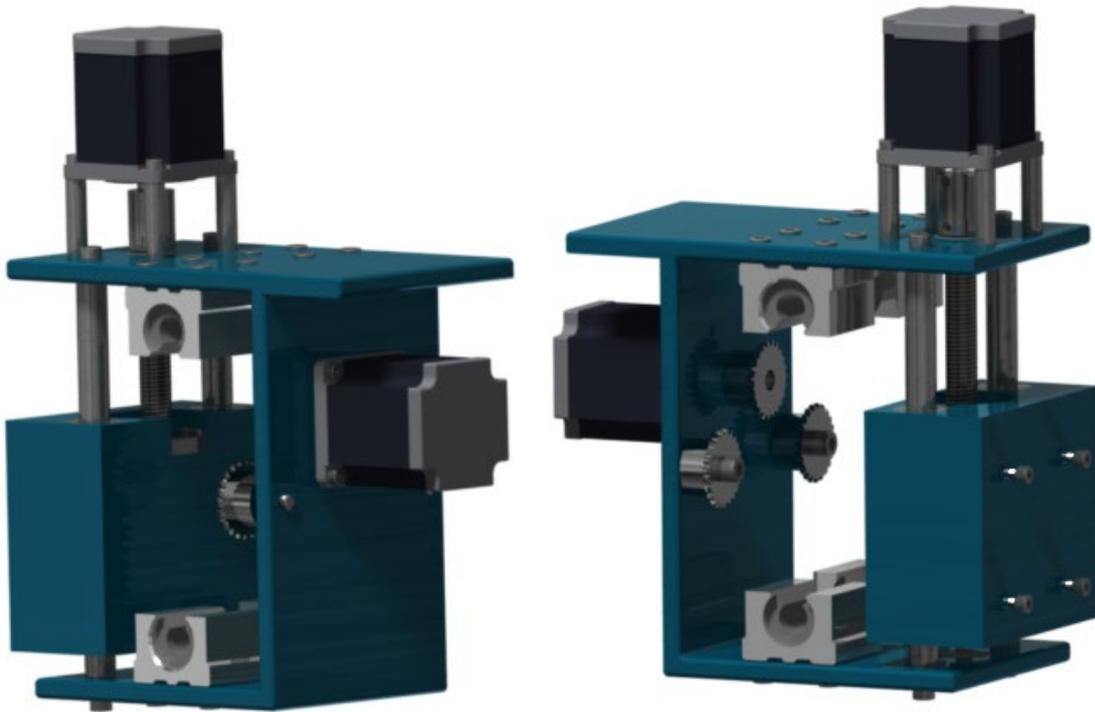


Figura 15 Carril de eje X.

Adosado al carril se encuentra el sistema encargado del movimiento en el eje Z el cual está compuesto por un motor a pasos, este motor que se encuentra unido mediante una unión flexible a un husillo de bolas recirculantes (figura 16), el cual transforma el movimiento giratorio en movimiento lineal y viceversa. El husillo está adosado a un bloque de tecnyl como se muestra en la figura 15.



Figura 16 Acople flexible y husillo de bola recirculante.

Los tornillos de posicionamiento, o los de husillo de bola recirculante son un método popular para obtener una gran reducción en un paquete compacto. Los tornillos de posicionamiento son muy rígidos

y pueden soportar cargas muy grandes; además tienen la propiedad de que transforman el movimiento giratorio en movimiento lineal. Los husillos de bola recirculante son similares a los de posicionamiento, pero en vez de que las roscas de las tuercas se monten directamente en las roscas de los tornillos, un circuito recirculante de cojinetes tipo bola rueda entre los conjuntos de roscas. Los husillos de bola recirculante tienen muy baja fricción y por lo general cuentan con arranque trasero [7, p. 246].

El husillo de bola recirculante SND/ BND16x 5R de 16mm de diámetro con un paso de 5mm, soporta una carga de 8.6kN. Este adosado a un bloque de tecnyl a través de 2 guías cilíndricas.

Este bloque de tecnyl de 5cm de espesor perforado para los bujes de las guías y el husillo presenta además la unión para la antorcha de corte. Las guías de 15mm de espesor son adosadas con pernos en sus extremos.



Figura 17 Banco CNC.

### 3.3.4 Porta herramienta

El tipo de antorcha utilizada para el diseño es de la siguiente forma:



Figura 18 Porta antorcha.

Se diseña un sistema de amortiguamiento para impedir que se sobrepase su resistencia máxima de 8.6kN al momento de ajustar la altura de la antorcha al material, para esto se utiliza un resorte.

La fuerza de compresión del resorte es menor a la soportada por el husillo (8,6kN) la cual es bastante alta, por lo que se considera solo 500[N], capaz de mantener la antorcha abajo y contraerse en caso de que el operador baje demasiado la antorcha, por la ley de Hooke para una compresión de 1,5cm del resorte de 2,5cm de largo se tiene:

$$F = -k\delta \quad (2)$$

Contante elástica del resorte debe ser 330 (N/cm) con un diámetro de 3cm y largo de 2,5cm

\*en anexo se encuentran dimensión de antorcha mecanizada para contadora plasma Miller Spectrum 785 [19]

### 3.3.5 Análisis estructural

Cuando se diseña un sistema estructural se debe de tomar en cuenta que será resistente a las cargas que soportara y si tendrá la rigidez suficiente para que las deformaciones que pueda sufrir estén dentro de un rango de tolerancias.

Por eso es necesario un análisis de la resistencia y rigidez de los elementos que conforman dicho sistema.

El diseño de estructuras implica obtener dimensiones de elementos que sean económicos y seguros durante la vida de la estructura. Para ellos se emplea el termino estado limite el cual según puede estar relacionado con la perdida de la capacidad de carga o con el deterioro gradual que se hace que la estructura no cumpla con la función asignada o con la fatiga del material.

El concepto de estado límite permite establecer un enfoque más racional al problema de la seguridad estructura al emplear la estadística como medio para analizar la variabilidad de la magnitud de las cargas, así como de las prioridades de los materiales. Siendo el diseño seguro de un elemento la relación entre los efectos de las cargas multiplicados por un factor que deben ser menores a la resistencia del material disminuida.

Por lo anterior mencionado fue necesario hacer un análisis de esfuerzo de manera general para mesa plataforma con el fin de conocer su comportamiento al momento de aplicarle las cargas, así como las temperaturas que soportara al estar el sistema automatizado trabajando, el análisis se hizo con la ayuda del software de diseño Inventor en el cual se obtuvo la gráfica mostrada en la figura 19.

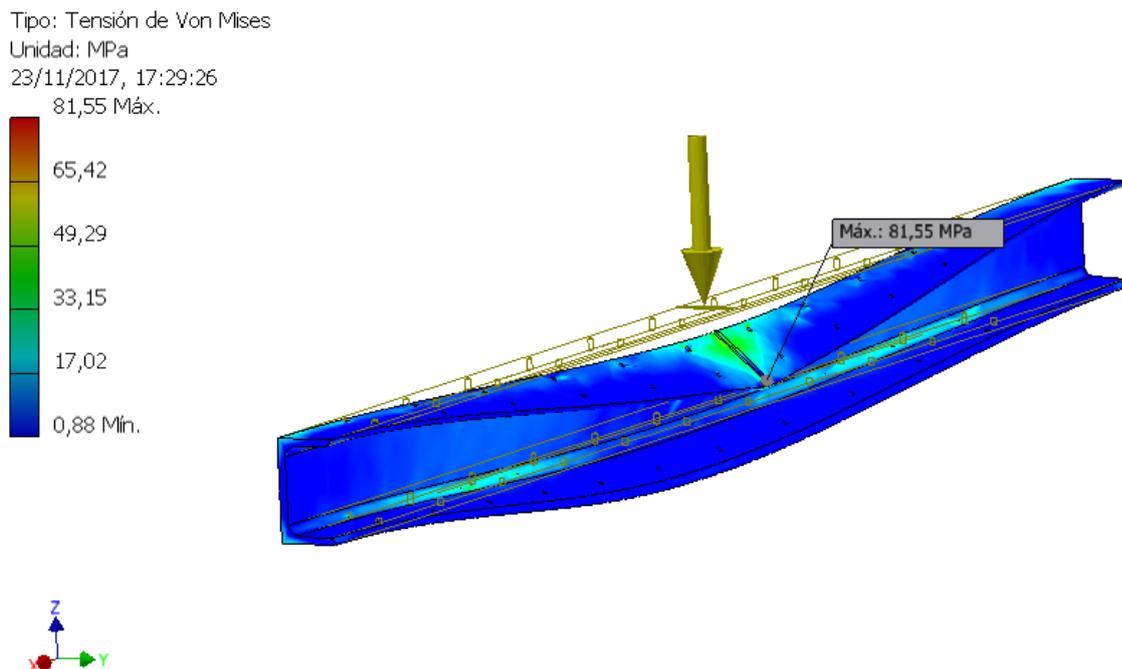


Figura 19 Simulación de carga de carril transversal.

Para el particular caso de este proyecto se simplifico el análisis en el carro transversal debido a que los momentos que genera el soplete, es decir el peso de éste y el peso del motor no son lo suficiente para considerarlos.

Es importante mencionar que el análisis de elementos finitos se realizó específicamente para el carro transversal (eje X) debido a que en este eje se soporta el peso del soplete y el motor. Para el caso del

carro longitudinal (eje Y) se consideró que no se presentarían deformaciones debido que al diseño de la plataforma es bastante robusto.

Para el análisis se aplicó una carga de 200Kg distribuida en un largo de 5cm de la barra longitudinal, donde se obtienen resultados que hacen que la estructura soportara deformaciones a las cargas que será sometida las cuales son muy inferiores a las del test. El resultado son 81Mpa en la parte central del perfil lo cual para este material de aleación de acero tiene un límite de fluencia de 240Mpa.

Tabla 4 Resultado simulación de carga

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	1199190 mm <sup>3</sup>	
Masa	9,41362 kg	
Tensión de Von Mises	0,881171 MPa	81,5543 MPa
Primera tensión principal	-17,6904 MPa	86,0622 MPa
Tercera tensión principal	-74,8308 MPa	17,6129 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,916676 mm
Coefficiente de seguridad	3,06544 su	15 su

**Revisión de cálculos:**

Largo de la barra = 129cm con carga de 200kg distribuida en 5cm (se considera como carga puntual) en su parte central.

$$I_x = 106 [cm^4]$$

$$h = 8[cm]$$

$$W = \frac{I_x}{h} = 13.25 [cm^3] \tag{3}$$

Momento:

$$Masa\ aplicada = 200[Kg]$$

$$Momento\ en\ extremo = 200[kg] \cdot 64.5[cm] = 25800 [kg \cdot cm]$$

Por lo cual es esfuerzo máximo es de:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{12900[kg \cdot cm]}{13.25[cm^3]} = 973[kg \cdot cm^2] \tag{4}$$

Esto corresponde a 95Mpa lo cual tiene una similitud con el resultado de la simulación de 81Mpa

### 3.3.6 Especificación de motores

Fue preciso calcular el torque para el movimiento de la transmisión, así como la potencia requerida para que el carro se trasladara de un punto a otro.

Considerando que el torque esta dado por:

$$T = F \cdot d \tag{5}$$

Donde:

T= par torsión: F=Fuerza: d= diámetro

Peso carro transversal (Unidades obtenidas desde el diseño de Inventor):

**Tabla 5 Detalle peso carril transversal**

<b>Perfil C + Apoyo Cables</b>	14 kg	<b>Antorcha (aproximado)</b>	6kg
<b>2 guías de acero pulido</b>	2kg	<b>Cables, pernos y otros</b>	6kg
<b>Motores y blocks</b>	6kg	<b>2 soporte laterales</b>	4g
<b>Estructura soporte eje Z</b>	4kg		

Se consideró el carro transversal para estos cálculos debido a que es el de mayor peso (42kg), puesto que el diámetro exterior del piñón (2.54 cm) y considerando que:

$$F = m \cdot a \tag{6}$$

$$F = 42[Kg] \cdot 1 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$F = 42 [N]$$

Sustituimos valor en la ecuación 4:

$$T = 42[N] \cdot 0.0254[m]$$

$$T = 1[N \cdot m]$$

Conociendo el par torsión y la velocidad para el corte (400 mm/s) se calculó la potencia con la siguiente ecuación:

$$P = T \cdot \omega \quad (7)$$

Donde:

$$\omega = \text{velocidad angular} = 2\pi \cdot f$$

$P = \text{potencia}$  :  $T = \text{par torsion}$

Si:

$$f = \frac{VZ}{h} \quad (8)$$

Donde:

$h = \text{distancia de cada paso por vuelta } 2\pi r$

$Z = \text{número de pasos por vuelta}$

$$400 \left[ \frac{mm}{s} \right] \cdot \frac{200}{79[mm]} = f$$

$$f = 1012[hz]$$

Se debe conocer la velocidad en que gira el motor que está dado por:

$$n = \frac{60 \cdot f}{Z} = \frac{60 \cdot 1012}{200}$$

$$n = 303 \text{ RPM}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (6) tenemos:

$$P = 1[N \cdot m] \cdot 2\pi \cdot 303[RPM] \cdot \frac{1}{60}$$

$$P = 31 \text{ Watts}$$

Estos valores pueden ser ratificados en la curva de desempeño típico del motor de pasos [15, p. 423].

Considerando los valores obtenidos de torque y potencia para el movimiento de los dos ejes de la mesa plataforma, se eligieron los motores a paso 23HS6403 de  $1,1[Nm]$  de Nema 23 y por el tipo de transmisión piñón-cadena hacen que las especificaciones del motor cumplan con el torque y potencia necesaria para mover los carros.

Tabla 6 Motor paso a paso

Modelo	Angulo de paso	Largo de motor	Corriente	Resistencia por Fase	Numero de cables	Torque	Peso	Inercia de rotor
Eje Simple	°	L(mm)	A	Ohm	No.	Kgf.cm	kg	$g \cdot cm^2$
23HS6403	1,8	56	2.5	1.3	4	110	0.7	280

### 3.3.7 Revisión de resistencia en barra longitudinal

La fuerza de  $1,1[kN \cdot m]$  que puede producir el motor no debe ser superior a la que podrá soportar la barra longitudinal que es de  $200Kg = 2000kN$ . Esta fuerza es transmitida mediante un husillo de bolas recirculantes, cuyo paso es de 5mm.

Movimiento par de torsión a movimiento lineal:

$$P_h = 5 [mm] = 0.005[m] = \text{paso husillo}$$

$$\eta = 1 = \text{rendimiento mecanico}$$

$$T_a = 1,1 [Nm] = \text{torque motor}$$

Utilizando estos datos a través de:

$$F = \frac{T_a \cdot 2000 \cdot \pi \cdot \eta}{P_h} \tag{9}$$

F= 1381kN por lo cual es inferior al esfuerzo aplicado en el análisis estructural (2000kN).

### 3.3.8 Transmisión por cadenas dentadas

El sistema de transmisión de movimiento entre dos ejes paralelos que se encuentran alejados entre sí, aunque las diferentes configuraciones de los elementos que la componen pueden hacer variar la función final del sistema, es decir, el sistema puede tener la finalidad de transmitir movimiento entre los ejes, servir como sistema de elevación o como sistemas transportadores.

En relación con otros sistemas de transmisión, las transmisiones por cadena presentan las siguientes ventajas:

- No existe la posibilidad de resbalamiento en la transmisión
- La capacidad de transmisión es elevada por la gran resistencia de las cadenas
- Las transmisiones por cadena bien engrasadas soportan bien las condiciones ambientales adversas como el polvo o la humedad sin deteriorarse
- Debido a que la transmisión por cadena se realiza por engrane no se requieren pretensiones o tensados elevados, evitando con ello la sobrecarga de los ejes.

Algunos de sus inconvenientes, en cambio, son:

- Frente a la transmisión por engranaje, la relación de transmisión es menos constante, debido al efecto de variación cordal de la velocidad [20]

La configuración utilizada se representa en la figura 20

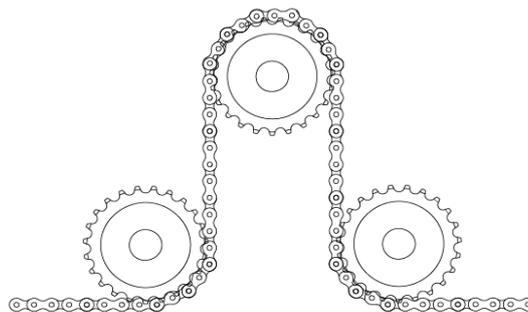


Figura 20 Transmisión por cadenas dentadas.

Para la transmisión se analiza que la fuerza ejercida por cadena es menor a 1KN, por lo tanto, los piñones serán simples, según la norma DIN 8188 es 3/8" x 3/16" ASA35-1 9,525 x 4,77mm. (Tabla 5) con un diámetro exterior de 37mm y 10 dientes.

Son 9 los piñones utilizados, de los cuales son acoplados directamente al motor, estos deben ser mecanizados para la instalación de un prisionero de cavidad hexagonal para su ensamble al eje del motor.

La cadena corresponde según la norma DIN8187-1 N°453 a una cadena de paso 9.525mm que soporta una fuerza de 8KN, suficiente para la carga que debe soportar (ver tabla de cadenas en anexo).

### 3.3.9 Velocidad de trabajo

Realizando una revisión de las curvas de despiece del motor se obtienen las velocidades de trabajo, el motor tiene una velocidad máxima de 2500 RPM por lo cual la velocidad de movimiento del banco es de 250 metros por minutos con un bajo torque, del orden de 0,2Nm. Para trabajar con torque de 1.1Nm se trabaja a velocidades de 300RPM aprox.

Las velocidades de corte vendrán dadas por la corriente máxima del equipo de plasma utilizado, por ejemplo, Spectrum 875 provee de 60 amperios lo cual permite cortar acero blando de hasta 13mm con una velocidad de 120mm por minuto y 2mm de espesor a 1000mm por min.

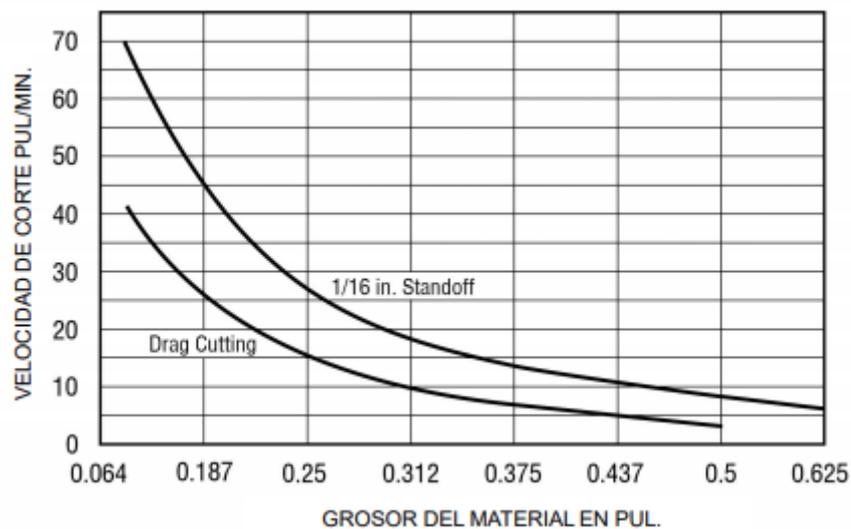


Figura 21 Velocidad de corte Spectrum 875

### 3.3.10 Cadenas porta cables

En la máquina se deben alimentar los motores, lo cuales necesitan 4 cables cada uno más los cables de final de carrera del eje X, lo que genera una carga de 16 cables en movimiento, estos cables deben ser tratados con cuidado para no generar daños.

Para resolver esto se implementa una solución muy utilizada en este tipo de máquinas CNC, la cual es cadenas porta cables que se adaptan a los requerimientos de la máquina. Son de fácil instalación y de material plástico resistente, que soporta las condiciones de trabajo.

En la tabla se puede observar las dimensiones de un eslabón y las curvaturas de la cadena.

Tabla 7 Dimensiones porta cable

Referencia	Altura Interior	Altura Interior	Altura Externa	Ancho exterior	Radio de flexión
EF2.21.025.035.0	21	25	28	38.5	35

Medida suficiente para la transmisión de los cables requeridos.

### 3.4 Control y alimentación

El control está compuesto de una tarjeta de interfaz de control para 4 ejes de 24v junto con 4 controladores 2m542 los cuales corresponde uno para el eje X, uno para el eje Z y 2 corresponden al eje Y (figura 22).

La alimentación para los drivers se utiliza una Fuente Switching 480W 36v 14A, y para la tarjeta de interfaz una alimentación externa de 24V.

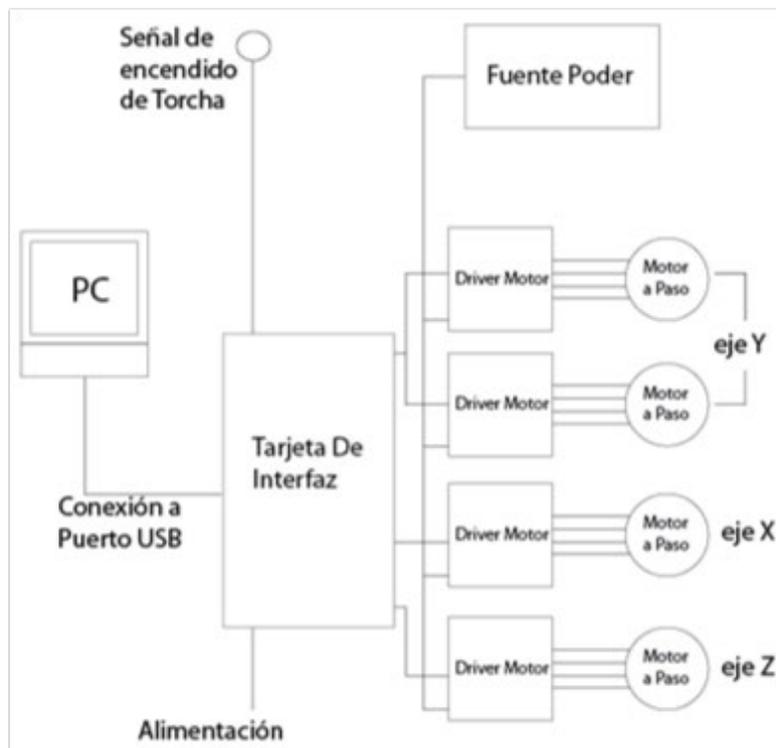


Figura 22 Diagrama de control y alimentación.

### 3.4.1 Tarjeta control

La tarjeta de control tiene como objetivo acondicionar la señal desde el software a los controladores de motores y desde finales de carrera o botoneras para parada de emergencia hacia el software. Para el control de motor se necesitan 2 señales las cuales Step y Dirección las cuales indican los pasos requeridos para el movimiento y la dirección en que realizarlos.

Esta tarjeta de control en particular consiste en 4 control de motores por lo cual corresponde al control de 4 ejes, entradas para finales de carrera para 2 ejes, una señal de relay que será utilizada para encender la antorcha de la máquina de corte por plasma.



Figura 23 Tarjeta de control.

Características:

- Soporte para acoplamiento de 4 ejes, puede conectar cuatro motores paso a paso.
- Pasos es de pulso de la frecuencia máxima de 100 KHz, la cual es adecuada para el motor de pasos.
- Soporte de herramienta de sonda automática.

- Admite entrada de emergencia.
- Soporte para interruptor de límite.
- Soporte para conectar el volante electrónico.
- Necesita usar una fuente de alimentación externa de 24 V CC para aislar el USB y el puerto externo, y para hacer el sistema más estable.
- Tiene un puerto de salida de 0-10 V, puede usar el software mach3 para controlar la velocidad del motor del husillo.
- 4 entradas de uso general, puedes conectar el interruptor de límite, el interruptor de stop, el interruptor de sonda, volver a cero y otro dispositivo
- 4 interfaz de salida de transmisión de relé aislada de uso general, puede conducir cuatro relés para controlar el arranque del husillo, rotando hacia adelante y hacia atrás, antorchas y otro dispositivo.
- 1 LED de estado, indica el estado de conexión en la placa.

Para el encendido de la antorcha de corte es necesario intervenir la máquina cortadora por plasma e identificar las conexiones de su control de manillar para enlazarla a la tarjeta de interfaz. (Como se indica en la sección 3.4.5 conexión de antorcha)

### 3.4.2 Driver

Para el control de los motores se utilizar driver Microstep modelo 2m542 el cual se puede configurar entre 16 variables de velocidad desde los 400 pasos por revolución a los 25000 pasos por revolución y una regulación de corriente de 8 variantes que va desde 1A a 4,2A [21].



Figura 24 Driver control motor a pasos.

Características:

- 8 switch para diferentes funciones
- Puente H bipolar constante
- Corriente de salida de hasta 4.2 [A]
- Alimentación de 24 a 50[V]
- Led indicador de alimentación y Alarma
- Entrada de señal de 3.3 a 5 [V]
- Frecuencia de pulso max 200 [Khz]

Una característica de este driver es que pueden manejar motores del tipo bipolar, unipolar o híbrido.

En la figura 25 se indicación las conexiones del driver.

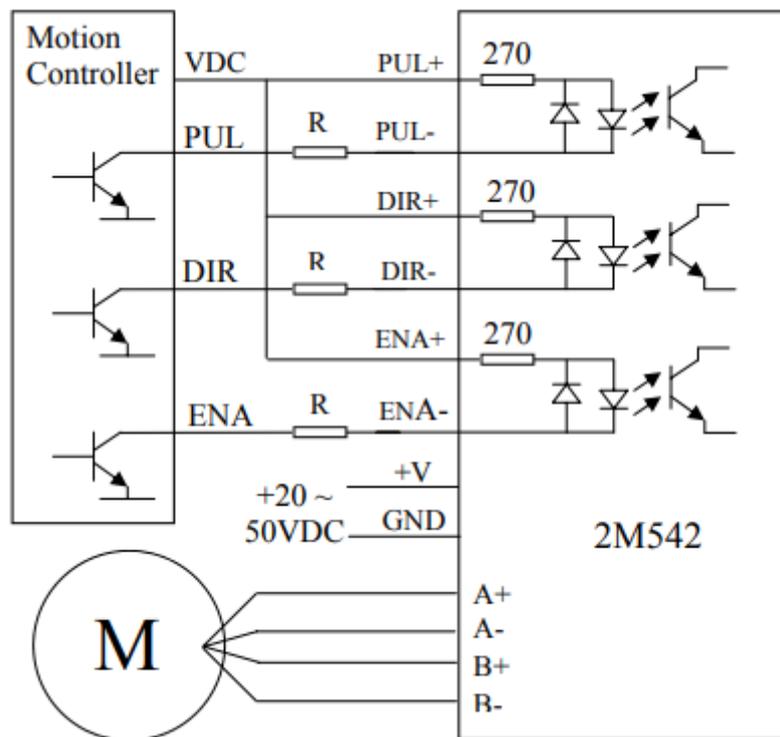


Figura 25 Diagrama de conexión de controlador 2M542 con tarjeta de interfaz.

### 3.4.3 Fuente de alimentación

Por un total de 4 motores a paso de 2,5A como máxima corriente, son necesarios 10A de corriente con un voltaje de 36V.

Por lo cual la alimentación de los controladores se realiza mediante una Fuente Switching de una potencia de 480W con 36v y 14A. Modelo SPPC 36480 1FC [22].

Tabla 8 Tabla especificaciones fuente conmutada.

Modelo	Tensión de entrada	Tensión de Salida	Ajuste tensión	Intensidad nominal	Precisión Tensión
SPPC36480 1FC	90VCA~264VCA 127VCC~370VCC	36V	-5%~ + 10%	14A	±2%



Figura 26 Fuente de alimentación conmutada.

- Entrada Universal AC
- Factor de potencia >0.96 / 230VAC

#### 3.4.4 Diseño caja eléctrica

Los elementos que requiere la caja eléctrica son todos los elementos de control: Fuente, tarjeta control, controladores.

Como medidas generales 80x60x20cm las cuales otorga el espacio necesario para albergar todos los equipos que se requieren.

Además de elementos de conexión para todos los actuadores y finales de carrera, junto con las conexiones para el computador y alimentación.

Para conectar los motores a pasos se hará uso de conectores multiusos de 4 vías mostrados en la figura 27, los cuales se colocarán en el gabinete y las terminales de los motores.



Figura 27 Conectores multi usos 4 vías.

Estas terminales aseguran la conexión correcta de los motores pues tienen un orden y una muesca que solo permite que se conecte de una manera determinada. Se utiliza cable de calibre awg 16 para los elementos conectados al banco, suficiente para la corriente de los motores y para la resistencia mecánica a lo que están sometidos.

### 3.4.5 Conexión de antorcha

El esquema eléctrico de conexión en equipo Miller para encendido de antorcha mediante tarjeta de control del banco de corte.

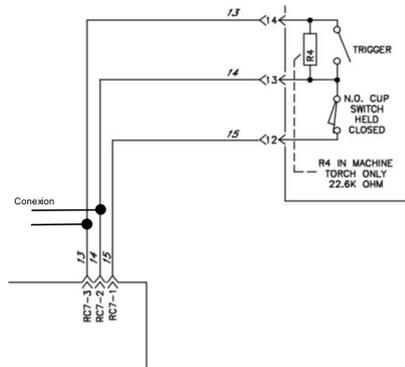


Figura 28 Conexión antorcha en equipo de corte miller spectrum 785.

RC7-3 junto con RC7-2 van directamente a la salida de relé que tiene la tarjeta de Interfaz.

### 3.4.5 Esquema eléctrico

En la figura 29 se ilustra el esquema eléctrico de la conexión de motores y sus respectivos drivers (2m532) a la salida de la tarjeta de control. Se visualiza cada driver conectado a la fuente de alimentación, motores paso a paso y a su vez reciben las señales de salida de la tarjeta de control.

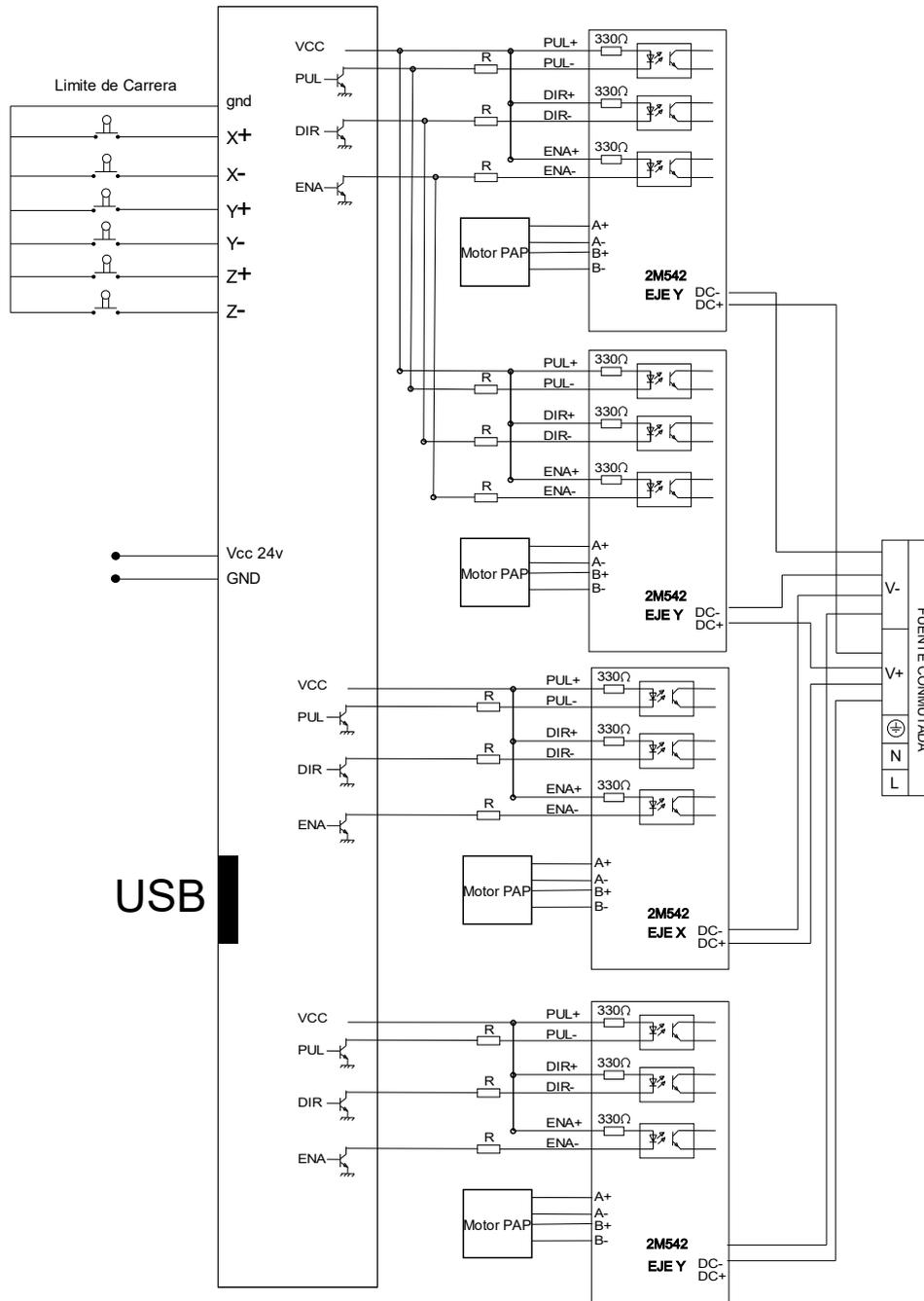


Figura 29 Esquema eléctrico.

### 3.5 Software

En el software Match 3 se utiliza para el control de máquinas CNC y utiliza códigos GyM. Código G Para su control de movimiento y código M para el encendido de la antorcha.

El software utilizado para la generación del código GM y el dibujo de la trayectoria es el MasterCam. Para producir la interfaz con la tarjeta de control será el Mach3.

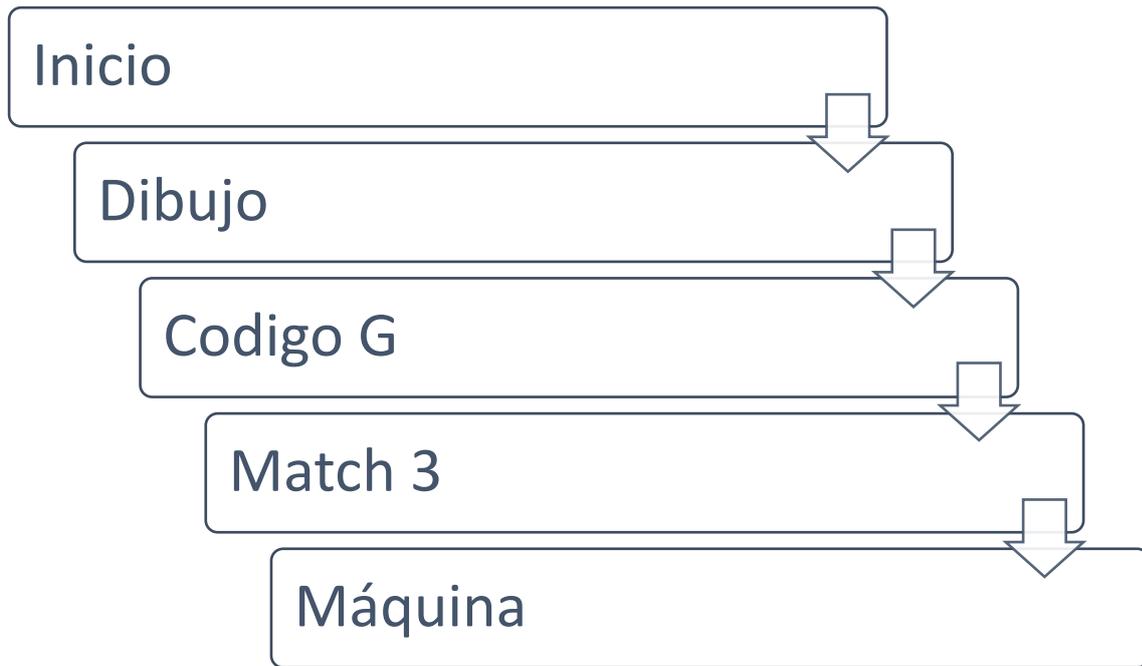


Figura 30 Secuencia en software

### 3.5.1 MasterCAM

Este software será el utilizado para crear el dibujo. Mastercam es el programa CAD/CAM más popular para manufactura en máquinas de control numérico y centros de maquinado CNC. El programa abarca la programación de fresadoras, centro de maquinado, tornos, cortadoras por láser, oxicorte y más.

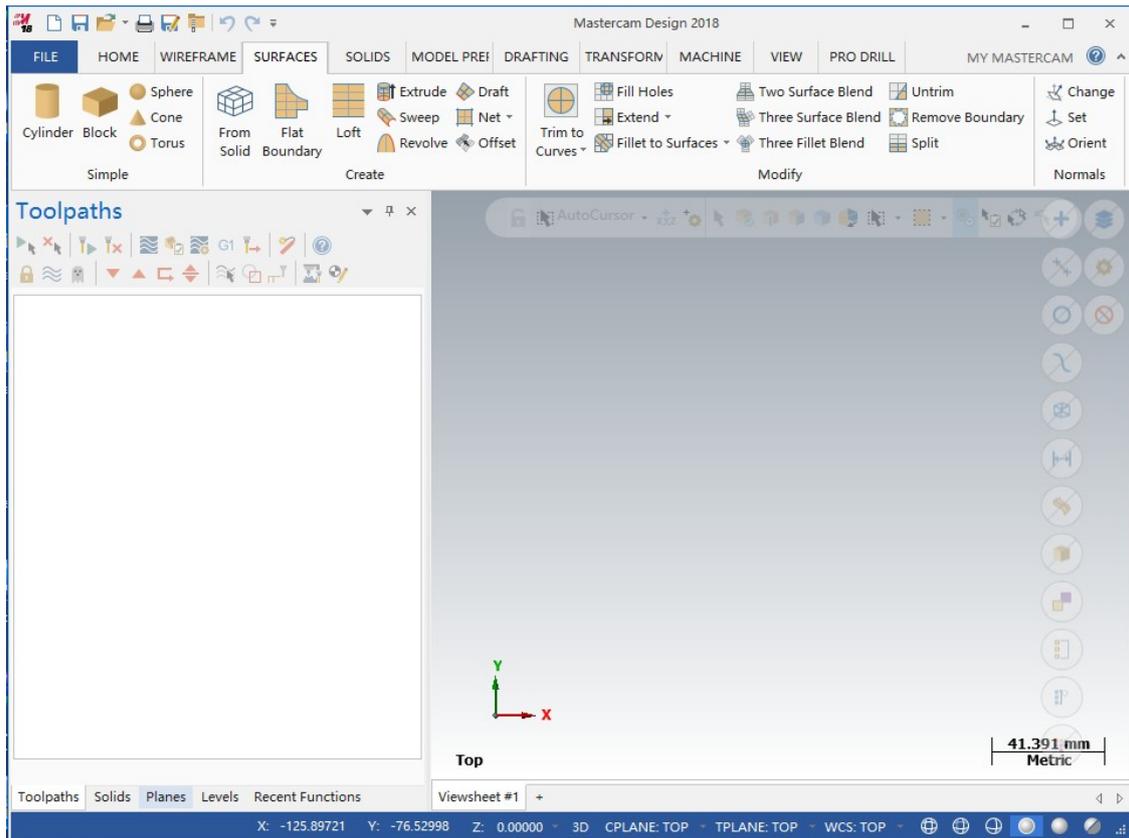


Figura 31 Pantalla software Mastercam

### 3.5.2 Generación código G

Este es un listado secuencial de instrucciones que ejecutará la máquina. Esas instrucciones se conocen como programa CNC, el cual debe contener toda la información requerida para el mecanizado de la pieza.

El programa CNC está escrito en un lenguaje de bajo nivel denominado G y M, estandarizado por las normas 6983 de ISO (Organización Internacional de Normalización) y RS274 de EIA (Alianza de Industrias Electrónicas) y compuesto por instrucciones Generales (código G) y Misceláneas (código M). El programa presenta un formato de frases conformadas por bloques.

El código G describe las funciones de movimiento de la máquina (por ejemplo, movimientos rápidos, avances, avances radiales, pausas, ciclos), mientras que el código M describe las funciones misceláneas que se requieren para el mecanizado de la pieza, pero que no corresponden a los movimientos de la máquina (por ejemplo, arranque y detención del husillo, cambio de herramienta, refrigerante, detención del programa).

A su vez, cada código contiene variables (direcciones), identificadas con otras letras y definidas por el programador para cada función específica. Por ejemplo, F: define la velocidad de avance, S: la

velocidad del husillo, T: la herramienta seleccionada, X, Y y Z el movimiento de los ejes, por último, I, J y K la localización del centro de un arco, etc.

Debemos tener en cuenta que, dado que todas son diferentes, cada máquina tendrá su propio programa de CNC, ya que, por ejemplo, una plegadora de chapas no tiene husillo ni requiere de refrigerante. A tal efecto, la tabla que sigue muestra los códigos G y M usados para la cortadora por plasma (Anexos: ver tabla de códigos generales).

**Tabla 9 Tabla códigos G y M**

Código G	Código M
G00: Posicionamiento rápido	M00: Parada Opcional
G01: Interpolación lineal	M03: Encender Torcha
G02: Interpolación Circular	M05: Apagar Torcha
G03: Interpolación Circular	M30: Finalizar Programa y poner el puntero de ejecución en su inicio

Conforme a la tabla 9, y a modo de ejemplo, un bloque como este:

**G01 X25.0 Z32.0 F500**

Indicaría lo siguiente:

Procedimiento para realizar: G01, es decir, trasladarse al punto (X=25 mm, Z=32 mm) a través de una línea recta.

Avance: 500 (mm/rev o mm/min, según se haya especificado previamente).

**G02 X25.0 Y10.0 I10.0 J5.0 F500**

Realiza un arco en sentido horario con centro en x=10 e y=5 con origen del arco en el punto donde se encontraba la antorcha hasta los puntos x=25 e y=10.

Una línea de código M03 encenderá la antorcha.

# Capítulo 4

# Mantenimiento

#### 4.1 Diseño de plan de mantenimiento a banco CNC de corte por plasma

Establecer los parámetros que permitan reducir los tiempos de fallas y con ello dar máxima confiabilidad y disponibilidad del equipo. Para esto se revisa de manera teórica la metodología del plan para posteriormente definir tablas de inspección de piezas y elementos del banco CNC.

#### 4.2 Objetivo específico de plan de mantenimiento

- Establecer frecuencia de inspección de equipo
- Creación de fichas de inspección que permitan crear registros históricos
- Permitir con el plan, reducciones de costos y continuidad al proceso productivo

#### 4.3 Función de la mantención

El objetivo fundamental de la mantención es asegurar la disponibilidad de maquinarias, servicios e instalaciones en general, para que las diferentes unidades de la organización de una empresa industrial puedan cumplir con las funciones asignadas, logrando en esta forma un retorno óptimo de las inversiones de capital. En otras palabras, la mantención es la actividad encargada de mantener la parte física de la planta en las mejores condiciones, a fin de que pueda satisfacer las exigencias operacionales de la producción. La mantención es uno de los pilares fundamentales dentro de la organización de una industria y tiene por misión conservar en constante y perfecto estado de funcionamiento, todos los medios de producción, realizando esta función con un mínimo de costos. Para ello se cuenta con distintas técnicas que se diferencian por los métodos que emplean y por la oportunidad de su aplicación.

#### 4.4 Mantenimiento

El mantenimiento abarca un conjunto de actividades que permiten un óptimo desempeño de la producción. Estas actividades se refieren a la disposición interna y mantención de los equipos y estructuras, orden y aseo de estas. Está comprobado que una de las actividades más importantes es el aseo, que apunta tanto al orden como a la limpieza de las máquinas, equipos, materiales, accesorios y dependencias. Un aseo ineficiente produce condiciones inseguras de trabajo y como consecuencia puede ocasionar daño a las personas y/o a las máquinas y equipos.

#### 4.5 Importancia de la mantención

La mantención ha ido tomando cada vez mayor importancia en el desarrollo del proceso industrial, debido al aumento de la mecanización y muy especialmente, a causa de la competencia por obtener costos bajos de producción. Esta afirmación resulta evidente, por cuanto la mantención:

- Constituye una defensa del capital invertido en maquinarias e instalaciones.
- Tiene influencia directa en los costos de producción, debido a la relación que existe entre ellos y el estado de la maquinaria.

También, la importancia de la mantención ha crecido debido a la complejidad de los equipos que usa la industria moderna, cuyo costo de operación constituye una parte importante del costo total de fabricación, y porque su organización es uno de los factores principales en toda la industria.

#### Tipos de mantención

- Mantención preventiva
- Mantención correctiva
- Mantención sistemática
- Mantención predictiva

#### 4.6 Plan de prevención de fallas a banco CNC

Las siguientes tablas describen el banco y entregan un listado de partes del equipo para inspeccionar, se realiza una inspección por horas de uso, si el equipo no es utilizado durante periodos de tiempo prolongado de un semestre, este debe someterse a una inspección general antes de iniciar sus trabajos.

Tabla 10 Tabla descriptiva

Nombre	Banco CNC de corte
<b>Descripción</b>	Banco CNC capaz de cortar plancha de metal utilizando plasma, movimientos realizados mediante motores PAP en 3 ejes utilizando guías lineales y cadenas para el plano XY y husillo en caso del eje Z. Espesores de corte se define por la máquina de plasma a utilizar. Control por USB usando computadora.
<b>Características</b>	<p>Capacidad de 1m cuadrado de área útil de corte.</p> <p>Velocidades de 5000 mm por minuto.</p> <p>Precisión de 1 mm en cortes.</p>

Tabla 11 Tabla de inspección

Mecanismo/parte	Actividad	Procedimientos y técnicas	Horas de uso
<b>Sistema eléctrico</b>	Revisar circuitos de alimentación	Inspección visual y funcionamiento	180
<b>Motores PAP</b>	Revisar temperatura, ruidos y vibraciones	Inspección visual, inspección de temperatura y vibraciones	1000
<b>Sistema de Transmisión</b>	Revisar cadenas y piñones, lubricación de estas junto con su desgaste.	Inspección visual	500
<b>Sistema de Guías</b>	Revisar block y sus rodados.	Inspección visual, revisión de libre movimiento	500

<b>Sistema electrónico</b>	Revisión tablero, cables y conexiones, aislamientos	Inspección visual	1000
<b>Sistema de Torcha</b>	Revisar porta torcha y torcha	Inspección visual	30
<b>Bancada</b>	Revisión de banco, soldaduras, pernos y rejilla	Inspección visual	1000
<b>Computador</b>	Limpieza		30
<b>Sistema de control</b>	Comprobar funcionamiento de control y botones de emergencia		Antes de iniciar trabajos

#### 4.7 Indicadores de gestión

Con el objetivo de llevar un control de la gestión de mantenimiento, se hará uso de indicadores como la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.

##### **Confiabilidad**

Se define como la probabilidad de que una maquina o equipo funcione satisfactoriamente, durante un tiempo específico y bajo condiciones operativas dadas. La confiabilidad se cuantifica mediante el tiempo medio entre fallos (MTBF).

Tiempo medio entre fallos (MTBF): Mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a su capacidad, sin interrupciones dentro de un periodo considerado.

Donde:

$$MTBF = \frac{HROP}{NTFALLAS + 1}$$

HROP: Horas de operación

NTFALLAS: Numero de fallas detectadas.

### **Mantenibilidad**

Es la probabilidad de que un equipo, pueda ser reparado a una condición específica en un periodo de tiempo determinado y quedar en condiciones operativas.

La mantenibilidad depende de distintos factores como:

Maquina → Accesibilidad

Factores organizativos → Formación del personal

Factores operativos → Habilidad

Se cuantifica mediante el tiempo medio de reparaciones (MTTR).

$$MTTR = \frac{TTF}{NTFALLAS}$$

Donde:

TTF: Tiempo total de fallas.

NTFALLAS: Numero de fallas detectadas.

### **Disponibilidad**

Es el principal parámetro asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que un equipo esté disponible para su uso en un periodo de tiempo dado. Para realizar un análisis de disponibilidad del equipo se debe tener en cuenta los correctivos y fallos, así como las actividades de mantenimiento programado que le aplican.

La disponibilidad depende de:

- La frecuencia de las fallas
- El tiempo que no demande en reanudar el servicio.

Así, se tiene que:

$$Disp. = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde:

MTBF: Tiempo medio entre fallos.

MTTR: Tiempo medio de reparaciones.

**Nota:**

La empresa busca que sus máquinas y equipos tengan una alta confiabilidad y disponibilidad y esto va a depender de la empresa donde opere, con la finalidad de obtener un proceso productivo continuo, pero también mejorar la seguridad del trabajador.

Los tiempos de fallos y reparaciones se podrán obtener de los registros históricos que se crearán una vez comenzado el plan de mantenimiento.

# Capítulo 5

# Conclusión

### 5.1 Conclusiones

Este trabajo fue de gran ayuda para el entendimiento y comprensión del área que abarca la Mecatrónica ya que se combinaron las diferentes disciplinas que la componen.

La parte mecánica inicio desde la investigación de las mesas existentes en el mercado, nos permitió definir el resultado que queríamos lograr al final de este proyecto, obteniendo muy buenos resultados ya que la mesa plataforma que se diseñó es competitiva debido a que es genérica y de bajo costo.

En general este proyecto cumplió con las expectativas planteadas en los objetivos ya que como resultado se obtuvo un diseño de un banco CNC de corte por plasma que puede ser armada con productos disponibles en el mercado.

### 5.2 Trabajos a futuro

Este proyecto tiene amplias áreas de mejora y desarrollo para trabajos futuros, como integrar un control THC que permitiría controlar la altura del soplete de forma automática lo que permite realizar cortes en planchas que no se encuentran totalmente planas.

Una mejora importante es en la precisión del banco CNC, esto porque el uso de cadenas dentadas provoca un error, el cual puede ser disminuido mediante el uso de un mecanismo de cremalleras.

También puede ser factible la incorporación de un eje rotatoria para poder realizar cortes a perfiles redondos, utilizando los mismos ejes de la máquina diseñada.

## Bibliografía.

- [1] J. Colt, 24 04 2014. [En línea]. Available: <http://www.thefabricator.com/spanish/la-evoluci-n-del-corte-con-plasma>. [Último acceso: 22 09 2016].
- [2] M. m. Shop, «Encuesta Mundial de Máquinas-Herramienta,» Mexico, 2016.
- [3] A. L. Mateos, «Router CNC aplicado al desarrollo de PCB's,» Instituto Politecnico Nacional, Ciudad de Mexico, 2016.
- [4] D. d. F. Maderero, «forestal maderero,» 30 agosto 2019. [En línea]. Available: <http://www.forestalmaderero.com/articulos/item/la-historia-del-cnc-control-numerico-por-computadora.html>. [Último acceso: 10 03 2020].
- [5] A. Machines, "American Machines," [Online]. Available: <https://www.american-machines.com/store/Heavy-Duty-Plasma-Oxyfuel-p101104938>. [Accessed 13 07 2020].
- [6] C. plasma, «city plasma services ltd,» [En línea]. Available: <http://www.cityplasma.co.uk/cnc-plasma-cutter-table/>. [Último acceso: 13 09 2016].
- [7] J. J. Craig, Robótica, 3ra Edición ed., P. M. G. Rosas, Ed., Prentice Hall, 2006, p. 234.
- [8] lenguajeingenieria, «Introducción al CAD-CAM,» 02 2013. [En línea]. Available: <https://lenguajeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introduccion-al-cad-cam.pdf>. [Último acceso: 09 2016].
- [9] Castor, «Castor,» [En línea]. Available: [http://www.castor.es/historia\\_CAD\\_CAM.html](http://www.castor.es/historia_CAD_CAM.html). [Último acceso: 14 09 2016].
- [10] Arqhys, 12 2012. [En línea]. Available: <http://www.arqhys.com/contruccion/cad-historia.html>. [Último acceso: 09 09 2016].
- [11] M. P. Groover, Fundamentos de manufactura moderna, 1a Ed ed., W. Stenquist, Ed., Pearson Educación, 1997.
- [12] F. D. d. C. Rodríguez, «Procesos de maquinado sin arranque de viruta,» Cuautitlán, 2011.

- [13] Mipsa. [En línea]. Available: <https://mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Oxicorte-CNC>. [Último acceso: 23 09 2016].
- [14] Mipsa. [En línea]. Available: <https://mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Corte-CNC-Agua>. [Último acceso: 22 09 2016].
- [15] D. G. Alciatore y M. B. Hystand, *Introducción a la Mecatrónica y los sistemas de medición*, 3ra edición ed., McGraw-Hill, 2008.
- [16] Contaval, «convatal,» 30 noviembre 2018. [En línea]. Available: <http://contaval.es/afecta-la-inercia-los-servos/>. [Último acceso: 10 03 2020].
- [17] A. USA, «Mach 3 CNC controller software installation and configuration,» 2008.
- [18] C. I. O. Tagle, «Fuentes Conmutadas y estudio de fuentes ATX,» Universidad Técnica Federico Santa María, Santiago, 2018.
- [19] M. E. M. Co., «Manual usuario spectrum 875,» WI EEUU, 2013.
- [20] A. P. Gonzales, «Mecapedia,» 03 2011. [En línea]. Available: [www.mecapedia.uji.es/transmision\\_por\\_cadena.htm](http://www.mecapedia.uji.es/transmision_por_cadena.htm).
- [21] MachSupport, «MachSupport,» [En línea]. Available: <https://www.machsupport.com/forum/index.php?action=dlattach;topic=32867.0;attach=44061>. [Último acceso: 2020].
- [22] C. Gavazzi, «Fuentes de Alimentación Conmutadas,» [En línea]. Available: <https://www.gavazzionline.com/pdf/SPPC480Wsp.pdf>. [Último acceso: 07 2020].
- [23] E. L. d. Real, «Sistema de posicionamiento de alta carrera para corte por plasma usando CAD/CAM,» Instituto politecnico nacional, 2013.

## Fuentes de figuras

- Figura 1 <https://www.american-machines.com/store/Heavy-Duty-Plasma-Oxyfuel-p101104938>
- Figura 2 <http://www.cityplasma.co.uk/cnc-plasma-cutter-table/>
- Figura 3 Elaborado por: Elvis Salazar (Adobe Ilustrador), basado desde [12, fig. 1.2]
- Figura 4 Elaborado por: Elvis Salazar (Adobe Ilustrador), basado desde [13]
- Figura 5 Elaborado por: Elvis Salazar (Adobe Ilustrador), basado desde [14]
- Figura 6 Elaborado por: Elvis Salazar (Adobe Ilustrador), basado desde [12, fig. 2.5]
- Figura 7 <https://cnc-technologies.ru/komplektushie/shagovie-dvigateli/23hs6403>
- Figura 8 Elaborado por: Elvis Salazar (SmartArt Office Word), basada desde [23, p. 38]
- Figura 9 [17]
- Figura 10 [18, fig. 1-3]
- Figura 11 [11, fig. 37.8]
- Figura 12 Elaborada por: Elvis Salazar (Autodesk Inventor)
- Figura 13 Elaborada por: Elvis Salazar (Autodesk Inventor)
- Figura 14 Elaborada por: Elvis Salazar (Autodesk Inventor)
- Figura 15 Elaborada por: Elvis Salazar (Autodesk Inventor)
- Figura 16 <https://www.cimech3d.cl/producto/acople-flexible-de-abrazadera-diferentes-dimensiones/>, <https://cncrepowering.com.co/es/tornillos-de-bolas/470-tornillo-de-bolas-recirculantes-2510.html>
- Figura 17 Elaborada por: Elvis Salazar (Autodesk Inventor)
- Figura 18 Elaborada por: Elvis Salazar (Autodesk Inventor)
- Figura 19 Elaborada por: Elvis Salazar (Autodesk Inventor)
- Figura 20 Elaborada por: Elvis Salazar (Autodesk Inventor)
- Figura 21 [19, fig. 4-2]
- Figura 22 Elaborado por: Elvis Salazar (Adobe Ilustrador)
- Figura 23 <https://es.aliexpress.com/i/4000530014517.html>
- Figura 24 <https://www.roboter-bausatz.de/es/292/st-m5045-2m542-microstep-driver-4.5a>

Figura 25	[21]
Figura 26	[22]
Figura 27	[3, fig. 35].
Figura 28	[19, pp. 22]
Figura 29	Elaborado por: Elvis Salazar (Adobe Ilustrador)
Figura 30	Elaborado por: Elvis Salazar (Microsoft Word)
Figura 31	<a href="https://es.aliexpress.com/item/32830955941.html">https://es.aliexpress.com/item/32830955941.html</a>

## Fuente de tablas

Tabla 1	Elaborada por: Elvis Salazar (Microsoft Office Excel)
Tabla 2	[18, pp. 5-6].
Tabla 3	Elaborada por: Elvis Salazar (Microsoft Office Excel)
Tabla 4	Elaborada por: Elvis Salazar (Autodesk Inventor)
Tabla 5	Elaborada por: Elvis Salazar (Microsoft Office Excel)
Tabla 6	HB Stepper Motor Catalog, Motion King Motor Industry Co., Ltd. [Online]. Available: <a href="https://datasheetpdf.com/pdf-file/978073/MotionKing/23HS6403/1">https://datasheetpdf.com/pdf-file/978073/MotionKing/23HS6403/1</a> . Jul, 2020
Tabla 7	<a href="https://www.igus.cl/info/energy-chains-film-hinge">https://www.igus.cl/info/energy-chains-film-hinge</a>
Tabla 8	[22]
Tabla 9	Elaborada por: Elvis Salazar
Tabla 10	Elaborada por: Elvis Salazar
Tabla 11	Elaborada por: Elvis Salazar

# **Anexos**

**Características banco CNC para corte****Alimentación**

Tensión de alimentación	220V – 50Hz
Corriente de alimentación	4A

**Dimensiones de Corte**

Recorrido ancho	1000mm
Recorrido largo	1000mm
Recorrido espesor	100mm

**Dimensiones**

Dimensiones	1220x1200x400mm
Altura banco	900mm
Peso total	160kg

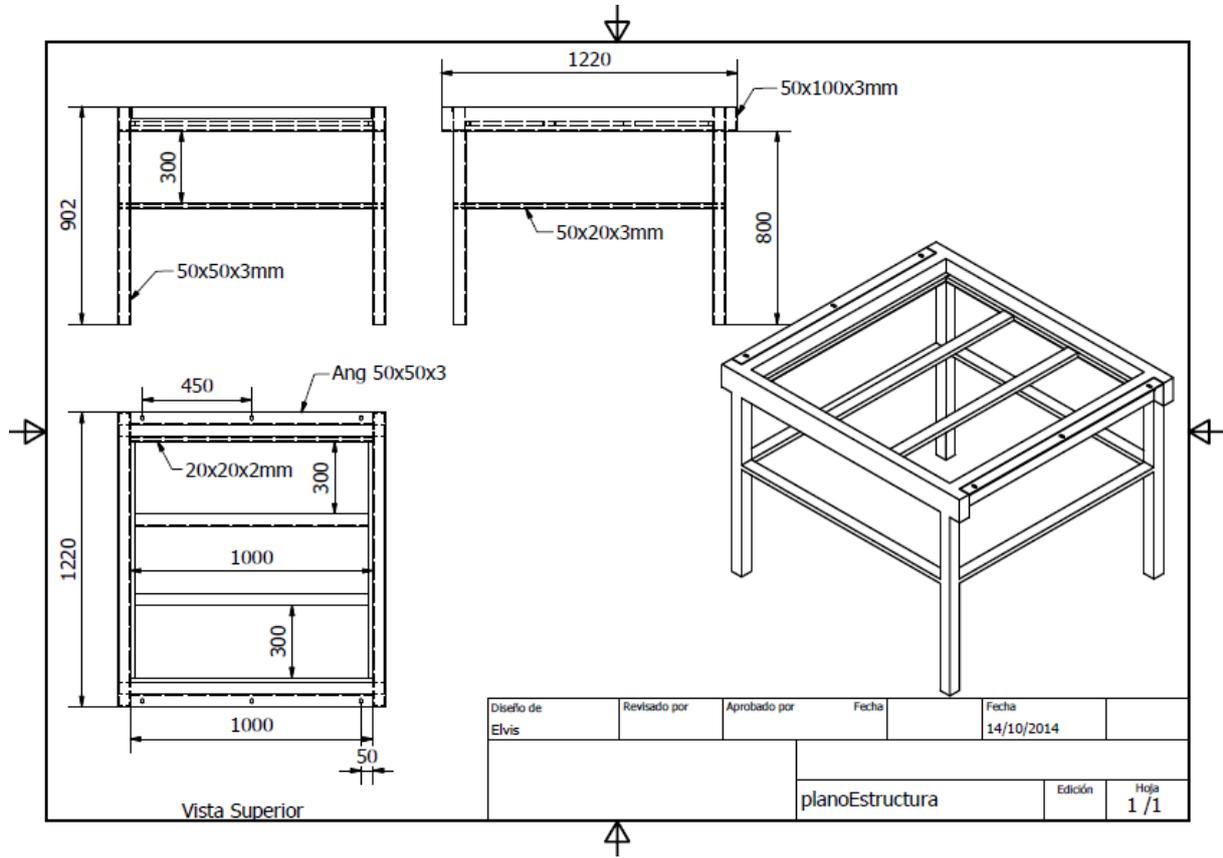
**Especificaciones de motores**

Modelo	57BYGH56-401A
Configuración de bobinas	2 bobinas
Angulo de paso	1.8°
Dimensiones	56x56x56mm
Cables	4

**Otros**

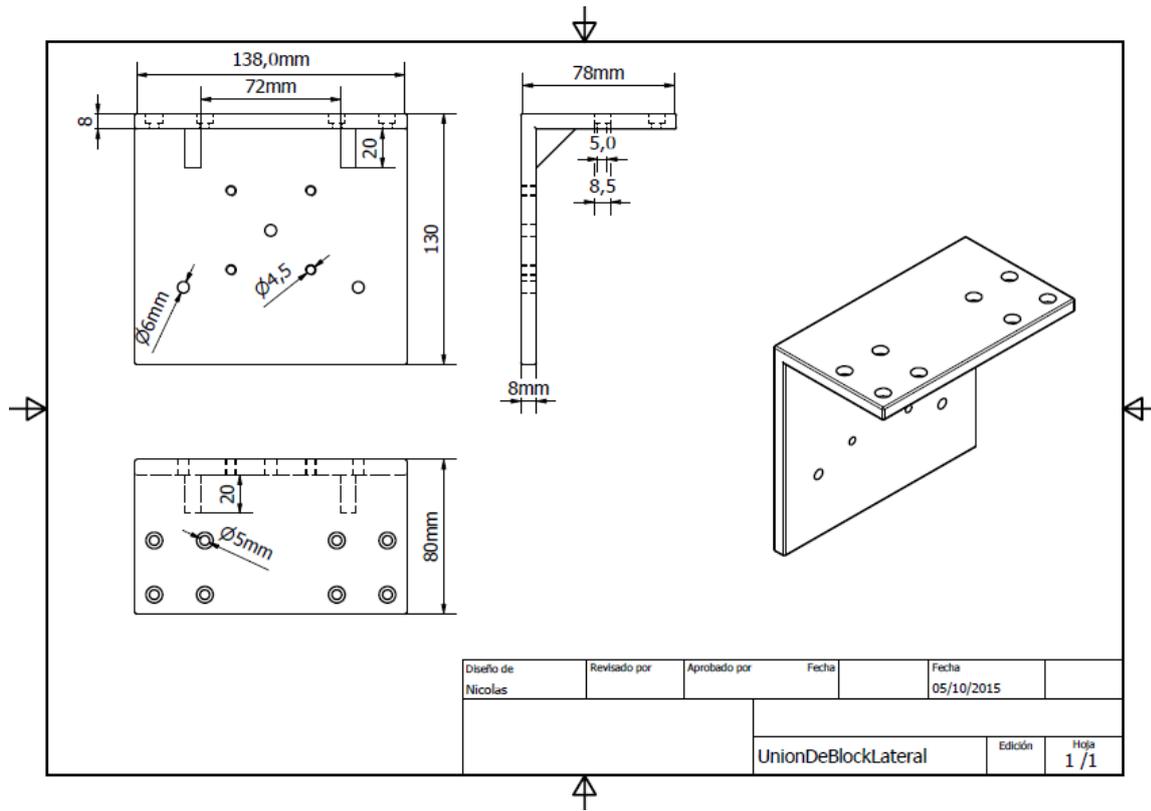
Velocidad de movimiento	0 – 300mm/min
Fuerza empuje en eje x	2.1Nm
Fuerza empuje en eje y	4.2Nm

Dimensiones base banco CNC<sup>1</sup>

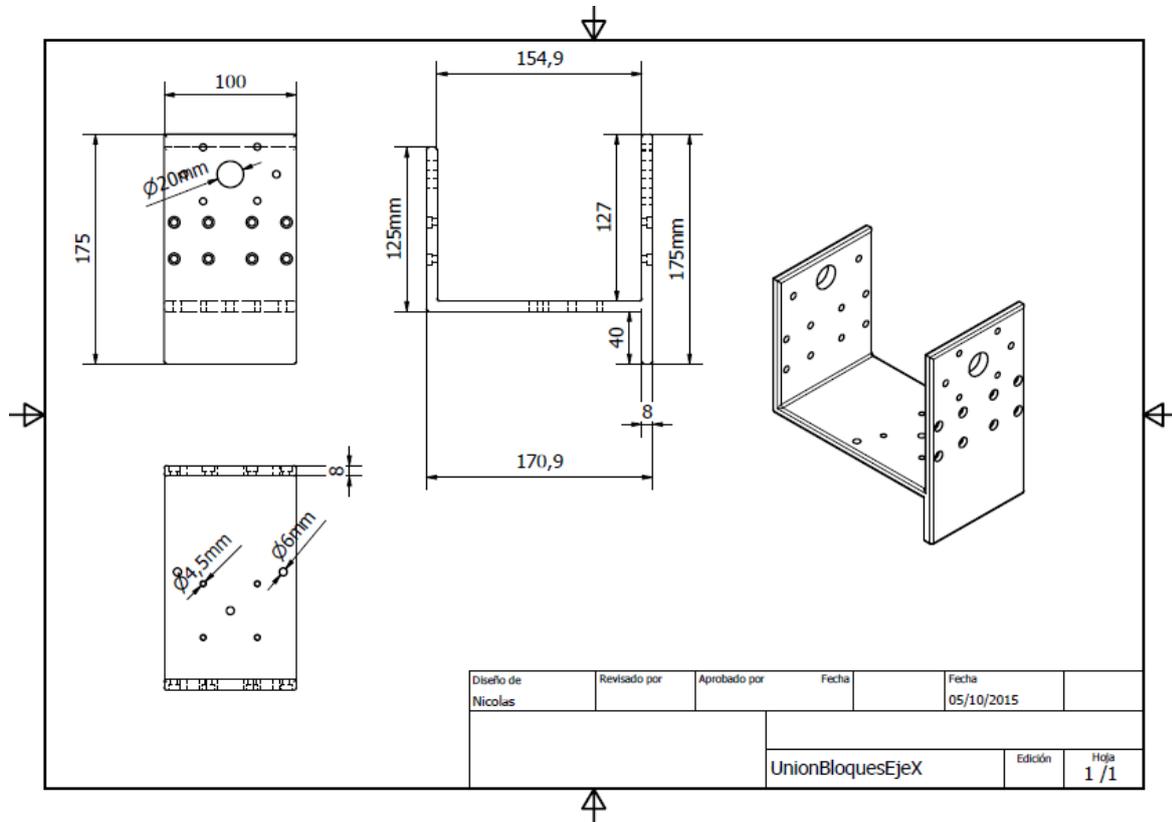


<sup>1</sup> Elaborado por: Elvis Salazar

Dimensiones bloque de desplazamiento eje Y<sup>2</sup>

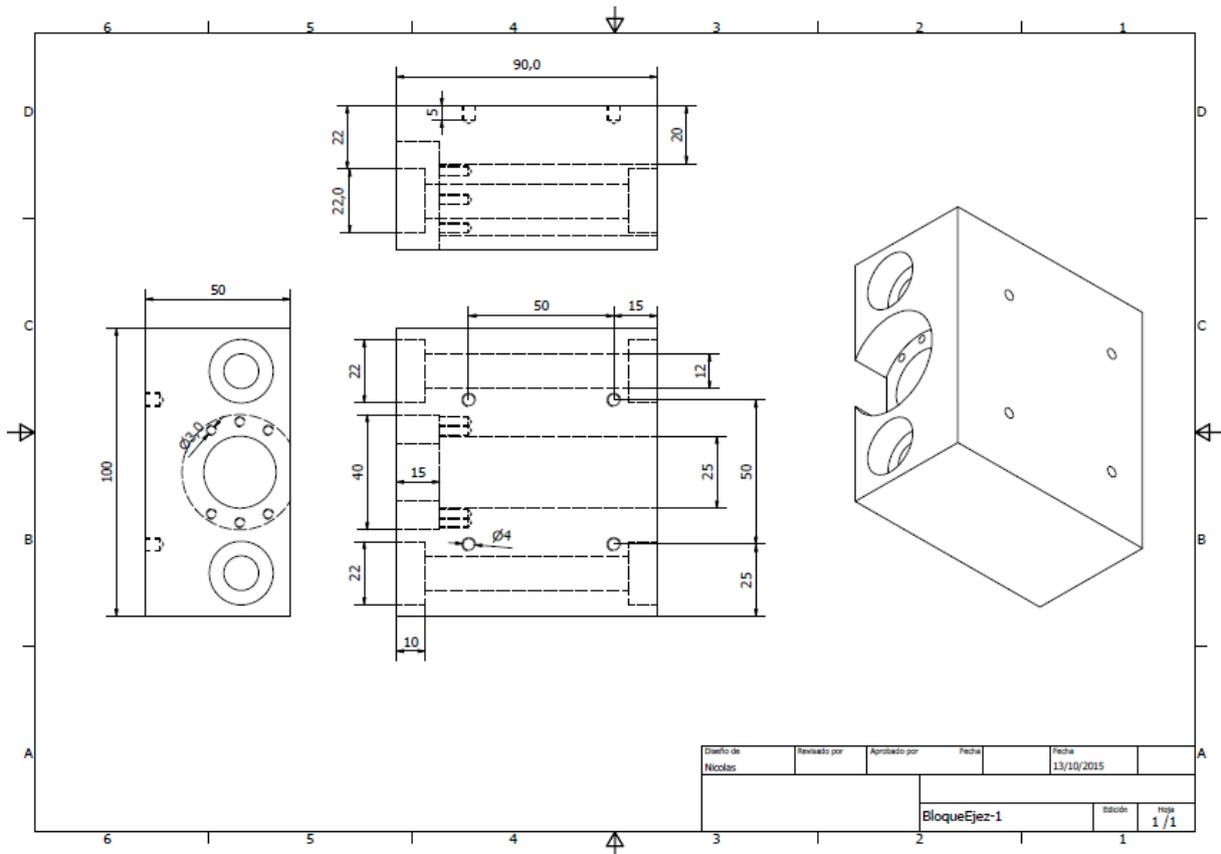


Dimensiones bloque movimiento eje X



<sup>2</sup> Elaborado por: Elvis Salazar

Dimensiones bloque de desplazamiento eje Z<sup>3</sup>



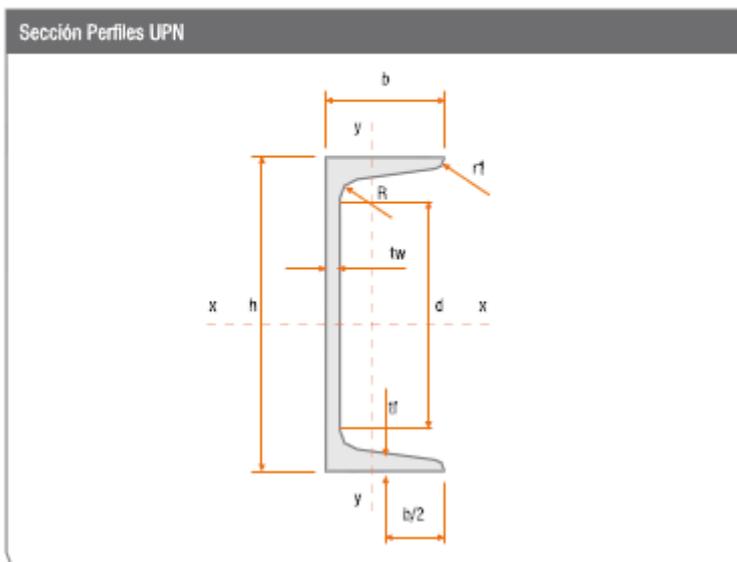
<sup>3</sup> Elaborado por: Elvis Salazar

Dimensiones vigas laminada en UPN<sup>4</sup>

VIGAS LAMINADAS UPN

Perfil	Dimensiones						Peso P kg/m	Área A cm <sup>2</sup>	Propiedades					
	Nominales								Eje X-X			Eje Y-Y		
	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub> =R	r1	d			I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	i <sub>x</sub> (cm)	i <sub>y</sub> (cm)
UPN 80	80	45	6,0	8,0	4,0	46	8,64	11,0	106	26,5	3,1	19,4	6,33	1,3
UPN 100	100	50	6,0	8,5	4,5	64	10,60	13,5	206	41,2	3,9	29,3	8,5	1,5
UPN 120	120	55	7,0	9,0	4,5	82	13,40	17,0	364	60,7	4,6	43,2	11,1	1,6
UPN 140	140	60	7,0	10,0	5,0	98	16,00	20,4	605	86,4	5,5	62,7	14,8	1,8
UPN 160	160	65	7,5	10,5	5,5	115	18,00	24,0	925	116,0	6,2	85,3	18,3	1,9
UPN 180	180	70	8,0	11,0	5,5	133	22,00	28,0	1350	150,0	7,0	114,0	22,4	2,0
UPN 200	200	75	8,5	11,5	6,0	151	25,30	32,2	1910	191,0	7,7	146,0	27,0	2,1
UPN 220	220	80	9,0	12,5	6,5	167	29,40	37,4	2690	245,0	8,5	197,0	33,6	2,3
UPN 240	240	85	9,5	13,0	6,5	184	33,20	42,3	3600	300,0	9,2	248,0	39,6	2,4
UPN 260	260	90	10,0	14,0	7,0	200	37,90	48,3	4820	371,0	10,0	317,0	47,7	2,6
UPN 280	280	95	10,0	15,0	7,5	216	41,80	53,3	6290	448,0	10,9	399,0	57,2	2,7
UPN 300	300	100	10,0	16,0	8,0	232	46,20	58,8	8030	535,0	11,7	495,0	67,8	2,9
UPN 320	320	100	14,0	17,5	8,8	246	59,50	75,8	10870	679,0	12,1	597,0	80,6	2,8
UPN 350	350	100	14,0	16,0	8,0	282	60,70	77,3	12840	734,0	12,9	570,0	75,0	2,7
UPN 380	380	102	13,5	16,0	8,0	313	63,10	80,4	15760	829,0	14,0	615,0	78,7	2,8
UPN 400	400	110	14,0	18,0	9,0	324	71,80	91,5	20350	1020,0	14,9	846,0	102,0	3,0

Normas Perfiles UPN	
Dimensiones	UNE-36522-72
Tolerancias	UNE-36522-72
Material	UNE-EN 10025 - 94

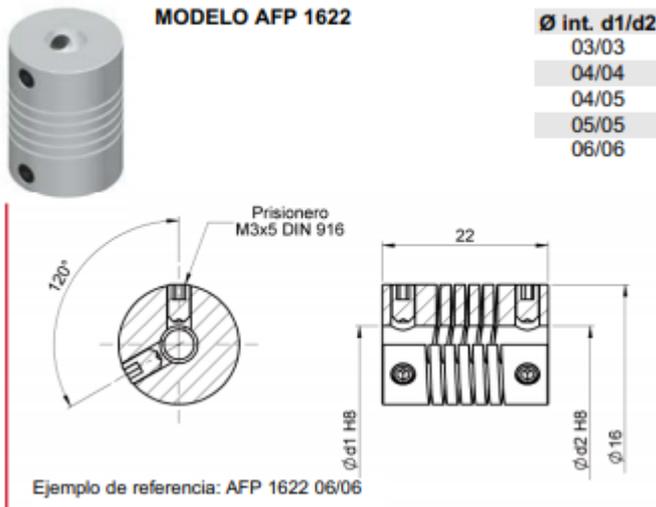


<sup>4</sup> Cintac, [En línea]. Available: [https://www.cintac.cl/wp-content/uploads/2011/03/vigas\\_laminadas.pdf](https://www.cintac.cl/wp-content/uploads/2011/03/vigas_laminadas.pdf)

Dimensiones acople flexible<sup>5</sup>

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Modelo	Par Ncm	Par apriete Ncm	Velocidad máxima r.p.m.	Desalineamientos máximos admisibles			Constantes elástica torsional Ncm/rad	Constantes elástica radial N/mm	Masa gr	Inercia gcm <sup>2</sup>
				Angular grad.	Axial mm	Radial mm				
AFP 6508	2	8	8.000	±2	±0,15	±0,1	0,55	24	0,5	0,02
AFP 1015	15	15	8.000	±2	±0,2	±0,15	2,2	22	2,4	0,34
AFP 1218	25	35	8.000	±2,5	±0,25	±0,15	2,8	28	4	0,83
AFP 1622	40	50	8.000	±3	±0,3	±0,2	5	34	9,5	3,2
AFP 1922	60	50	8.000	±3,5	±0,4	±0,25	9	40	13	6,7
AFP 2524	100	120	8.000	±4	±0,5	±0,3	20	60	26	22,2
AFP 2532	100	120	8.000	±4	±0,5	±0,3	18	50	35	30
AFP 3030	150	120	8.000	±4	±0,5	±0,3	21	60	45	57
AFP 3038	150	120	8.000	±4	±0,5	±0,3	21	60	60	76
AFA 1421	50	50	6.000	±3	±0,25	±0,2	4,5	22	6,5	1,9
AFA 1625	60	50	6.000	±3,5	±0,3	±0,2	5,5	30	10	3,8
AFA 1928	80	80	6.000	±4	±0,4	±0,25	8	36	16	8,7
AFA 2532	120	100	6.000	±4	±0,5	±0,35	16	45	34	29
AFA 3038	150	100	6.000	±0,4	±0,5	±0,35	19	60	58	76



<sup>5</sup> Disai Automatic Systems, [En línea]. Available: [https://www.disai.net/wp-content/uploads/catalogos\\_pdf/Acoplamientos.pdf](https://www.disai.net/wp-content/uploads/catalogos_pdf/Acoplamientos.pdf)



Planos de husillo de bolas recirculantes

**3 Ball & roller screws**  
Precision rolled ball screws

**SND/BND - Precision ball screws**

Ball recirculation with composite inserts, nut shape according to DIN standard. Steel inserts are optional

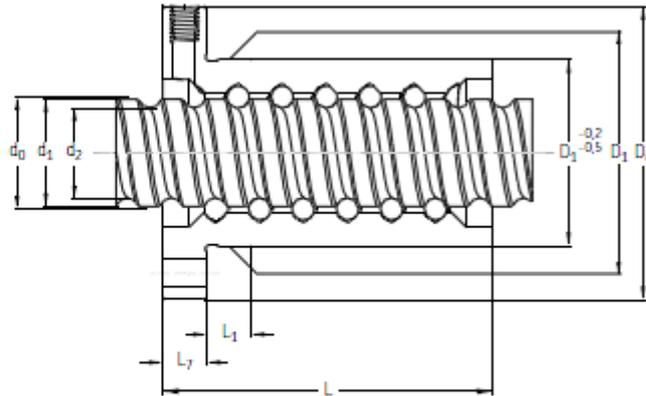
SND: axial play

BND: backlash elimination by oversized balls  
Lead precision G5, G7 or G9.

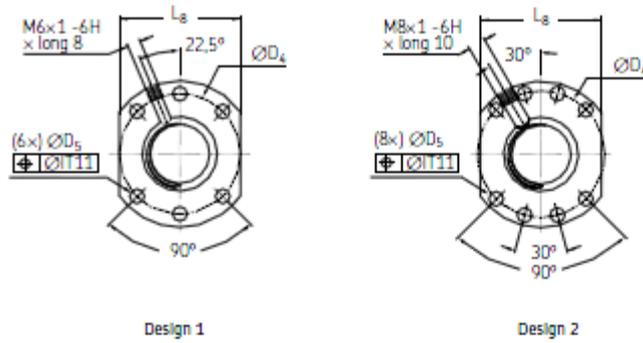
**PND - Precision ball screws**

Ball recirculation with composite inserts, nut shape according to DIN standard, preloaded for optimal rigidity. Steel inserts are optional

Lead precision G5, G7 or G9.



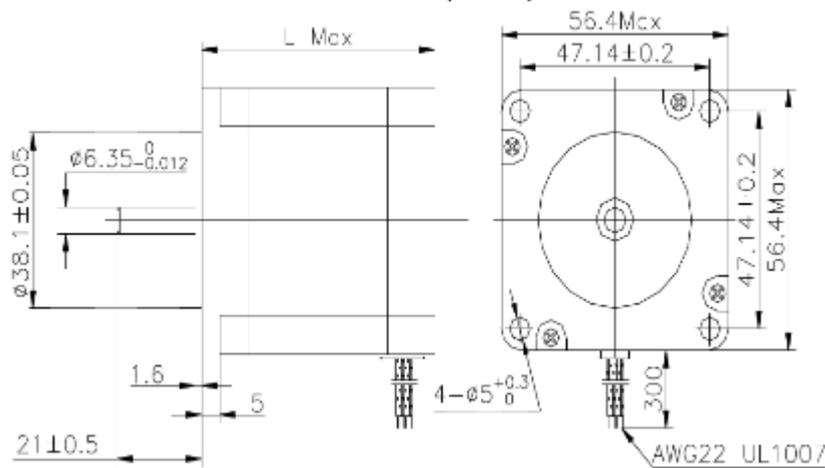
Designations	Nominal diameter	Lead	Dimensions Shaft		Nut								
	$d_0$		$P_h$	$d_1$	$d_2$	$L_{Max}$	L	$L_1$	$L_7$	$L_8$ H13	$D_1$ g6	$D_4$	$D_5$ H13
mm													
SND/BND 16x5 R	16	5	15,2	12,7	2 000	43,5	10	10	40	28	38	5,5	48
PND 16x5 R	16	5	15,2	12,7	2 000	48	10	10	40	28	38	5,5	48
SDD/BDD 16x10R	16	10	15,23	12,6	2 000	47	37	10	40	28	38	5,5	48
GDD 16x10R	16	10	15,23	12,6	2 000	87	77	10	40	28	38	5,5	48
SND/BND 20x5 R	20	5	19,4	16,7	4 700	44,5	10	10	44	36	47	6,6	58
PND 20x5 R	20	5	19,4	16,7	4 700	50	10	10	44	36	47	6,6	58
SND/BND 25x5 R	25	5	24,65	21,7	4 700	44,5	10	10	48	40	51	6,6	62
PND 25x5 R	25	5	24,65	21,7	4 700	62	10	10	48	40	51	6,6	62
SND/BND 25x10R	25	10	24,64	20,5	4 700	75	10	10	48	40	51	6,6	62
PND 25x10R	25	10	24,64	20,5	4 700	75	10	10	48	40	51	6,6	62
SND/BND 32x5 R	32	5	31,58	28,7	5 700	51,5	10	12	62	50	65	9	80
PND 32x5 R	32	5	31,58	28,7	5 700	74	10	12	62	50	65	9	80
SND/BND 32x10R	32	10	31,95	27,8	5 700	64	10	12	62	50	65	9	80
PND 32x10R	32	10	31,95	27,8	5 700	100	10	12	62	50	65	9	80
SND/BND 40x5 R	40	5	39,56	36,7	5 700	58,5	10	14	70	63	78	9	93
PND 40x5 R	40	5	39,56	36,7	5 700	88	10	14	70	63	78	9	93
SND/BND 40x10R	40	10	39,36	34	5 700	91,0	20	14	70	63	78	9	93
PND 40x10R	40	10	39,36	34	5 700	130	20	14	70	63	78	9	93
SND/BND 50x10R	50	10	49,65	44	5 700	93,0	10	16	85	75	93	11	110
PND 50x10R	50	10	49,65	44	5 700	151	10	16	85	75	93	11	110
SND/BND 63x10R	63	10	62,78	57	5 700	95,0	10	18	95	90	108	11	125
PND 63x10R	63	10	62,78	57	5 700	153	10	18	95	90	108	11	125



Designations	Basic load ratings		Number of circuits of balls	Design	Support bearing Recommended thrust support bearings	Recommended support pillow block
	dynamic $C_d$	static $C_{0a}$				
	kN		-			
SND/BND 16 × 5 R	7,8	10,7	3	1	FLBU 16/ PLBU 16	BUF 16
PND 16 × 5 R	5,5	7,1	2 × 2	1	FLBU 16/ PLBU 16	BUF 16
SDD/BDD 16 × 10 R	10,7	17,2	2 × 1,8	1	FLBU 16/ PLBU 16	BUF 16
GDD 16 × 10 R	10,7	17,2	2 × 1,8	1	FLBU 16/ PLBU 16	BUF 16
SND/BND 20 × 5 R	11,3	17,9	3	1	PLBU 20/ FLBU 20	BUF 20
PND 20 × 5 R	8,0	11,9	2 × 2	1	FLBU 20/ PLBU 20	BUF 20
SND/BND 25 × 5 R	12,7	22,7	3	1	PLBU 25/ FLBU 25	BUF 25
PND 25 × 5 R	12,7	22,7	2 × 3	1	FLBU 25/ PLBU 25	BUF 25
SND/BND 25 × 10 R	24,1	39,0	4	1	PLBU 25/ FLBU 25	BUF 25
PND 25 × 10 R	13,3	19,5	2 × 2	1	FLBU 25/ PLBU 25	BUF 25
SND/BND 32 × 5 R	19,0	41,3	4	1	PLBU 32/ FLBU 32	BUF 32
PND 32 × 5 R	19,0	41,3	2 × 4	1	FLBU 32/ PLBU 32	BUF 32
SND/BND 32 × 10 R	21,9	39,0	3	1	PLBU 32/ FLBU 32	BUF 32
PND 32 × 10 R	21,9	39,0	2 × 3	1	FLBU 32/ PLBU 32	BUF 32
SND/BND 40 × 5 R	25,6	65,6	5	2	PLBU 40/ FLBU 40	BUF 40
PND 40 × 5 R	25,6	65,6	2 × 5	2	FLBU 40/ PLBU 40	BUF 40
SND/BND 40 × 10 R	63,3	124,1	5	2	PLBU 40/ FLBU 40/ FLRBU 4 <sup>(1)</sup>	BUF 40
PND 40 × 5 R	52,2	99,3	2 × 4	2	FLBU 40/ PLBU 40/ FLRBU 4	BUF 40
SND/BND 50 × 10 R	71,3	157,3	5	2	PLBU 50/ FLBU 50/ FLRBU 5 <sup>(1)</sup>	BUF 50
PND 50 × 10 R	71,3	157,3	2 × 5	2	FLBU 50/ PLBU 50/ FLRBU 5	BUF 50
SND/BND 63 × 10 R	81,5	206,9	5	2	PLBU 63/ FLBU 63	BUF 63
PND 63 × 10 R	81,5	206,9	2 × 5	2	FLBU 63/ PLBU 63	BUF 63

Dimensiones y características motor paso a paso<sup>7</sup>

Nema 23 (mm)



Electrical Specification: NEMA23

Model	Step Angle (°)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (Ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm)	Detent Torque (N.cm)	Rotor Inertia (g.cm <sup>2</sup> )	Lead Wire (No)	Motor Weight (g)
23HS0601	1.8	41	1	5,2	5,5	40	2,5	150	6	470
23HS0405	1.8	41	0,62	12	24	55	2,5	150	4	470
23HS0408	1.8	41	2	1,2	2,5	55	2,5	150	4	470
23HS5408	1.8	51	0,62	13	28	110	2,8	190	4	520
23HS5425	1.8	51	2,5	1,2	3,2	110	2,8	190	4	520
23HS5602	1.8	51	0,8	6,8	9,2	62	3	230	6	590
23HS6602	1.8	56	1,5	3,2	5,5	90	3,5	280	6	590
23HS6403	1.8	56	2,5	1,3	4,2	110	3,5	280	4	680
23HS6430	1.8	56	3	0,8	2,4	110	3,5	280	4	680
23HS6404	1.8	56	4,2	0,4	1,2	110	3,5	280	4	680
23HS6603	1.8	76	1,5	4,5	7,8	140	6	440	6	1050
23HS8425	1.8	76	2,5	1,8	6,5	180	6	440	4	1050
23HS8430	1.8	76	3	1	3,5	180	6	440	4	1050
23HS8404	1.8	76	4,2	0,6	1,8	180	6	440	4	1050
23HS2430	1.8	112	3	1,6	6,8	280	12	800	4	1660
23HS2410	1.8	112	4,2	0,9	3,8	280	12	800	4	1660

Santiago 1070 Local 1 Santiago,  
Metro Parque O'Higgins

Fono: 02 25548315

Mail: inserhid@inserhid.cl  
Web: www.inserhid.cl

<sup>7</sup> MotionKing motor industry, [En línea]. Available: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/978074/MotionKing/23HS6430/1>

Dimensiones piñones <sup>8</sup>

**DUCASSE**  
COMERCIAL

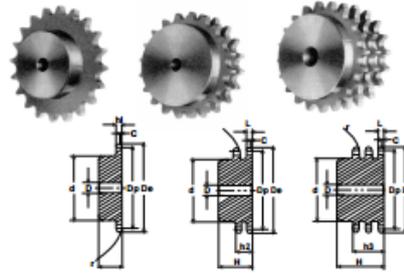
**PIÑONES / NORMA ASA**

Piñones para cadena simple, doble y triple de rodillos según las normas: DIN 8188 - ISO/R 606 - ANSI B 29,1

**3/8" x 3/16"** ASA 35 - 1-2-3 9,525 x 4,77 mm

CADENA:	ASA 35
Peso	9,525
Ancho interno	4,77
Rodillo ø	5,08

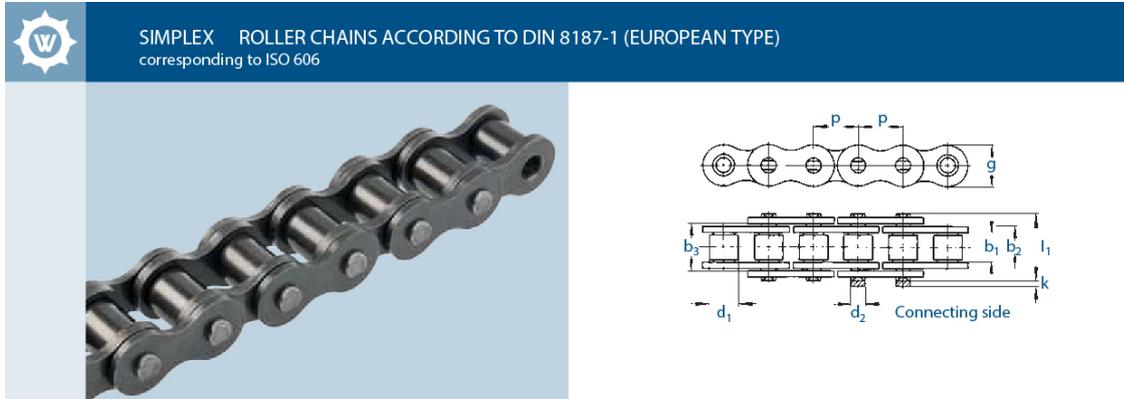
PIÑONES	ASA 35
Radio diente r	r 10
Ancho radio C	C 1,2
Ancho diente In	In 4,4
Ancho diente L	L 4,3
Ancho diente fu	fu 14,4
Ancho diente fo	fo 24,5
Altura total H	H -



Z	De	Dp	PS			PD		
			d	D	H	d	D	H
10	35.70	30.82	20	8	22			
11	38.69	33.80	22	8	25			
12	41.68	36.80	25	8	25			
13	44.68	39.80	28	10	25	28	10	25
14	47.68	42.80	31	10	25	31	10	25
15	50.69	45.81	34	10	25	34	10	25
16	53.70	48.82	38	10	28	37	12	30
17	56.72	51.83	38	10	28	40	12	30
18	59.73	54.85	38	10	28	43	12	30
19	62.75	57.87	46	10	28	46	12	30
20	65.77	60.89	46	10	28	49	12	30
21	68.79	63.91	46	10	28	52	16	30
22	71.81	66.93	52	12	28	55	16	30
23	74.83	69.95	52	12	28	58	16	30
24	77.85	72.97	52	12	28	61	16	30
25	80.88	76.00	58	12	28	64	16	30
26	83.90	79.02	58	12	28	67	16	30
27	86.93	82.04	58	12	28	70	16	30
28	89.95	85.07	60	12	28	73	16	30
30	96.00	91.12	60	12	28			

<sup>8</sup> Ducasse, [En línea]. Available: [http://argenbelt.com/wp-content/uploads/2018/06/cadenas\\_a\\_rodillo\\_pinones\\_norma\\_asa.pdf](http://argenbelt.com/wp-content/uploads/2018/06/cadenas_a_rodillo_pinones_norma_asa.pdf)

Tabla cadena DIN 8187-1



Chain		DIN	Pitch		Inner width b <sub>1</sub> min.	Inner link width b <sub>2</sub> max.	Outer plate width b <sub>3</sub> min.	Roller Ø d <sub>1</sub> max.	Pin Ø d <sub>2</sub> max.	Plate height g max.	Projection over connecting link k max.	Width over pin l <sub>1</sub> max.	Bearing area f mm <sup>2</sup>	Minimum tensile strength DIN F <sub>B</sub> min.	Minimum tensile strength F <sub>B</sub> min.≈	Weight q kg/m	Connecting links
No.	Ind.		mm	inch													
440		03	5,0	-	2,50	4,15	4,25	3,20	1,49	4,1	2,5	7,4	0,06	2,2	2,2	0,08	11,15
445		04	6,0	-	2,80	4,10	4,20	4,00	1,85	5,0	2,9	7,4	0,08	3,0	3,0	0,15	11,15
450		05 B-1	8,0	-	3,00	4,77	4,90	5,00	2,31	7,1	3,1	8,6	0,11	5,0	5,5	0,18	11,15
453		-	9,525	3/8	3,30	5,45	5,58	6,00	2,78	9,0	3,1	9,6	0,15	8,0	8,2	0,26	11,15,111
454		-	9,525	3/8	3,94	6,70	6,83	6,35	3,28	9,0	3,3	11,6	0,22	9,0	9,4	0,36	11,12,15
455	1	06 B-1	9,525	3/8	5,72	8,53	8,66	6,35	3,28	8,2	3,3	13,5	0,28	9,0	9,6	0,41	11,12,15
331		081	12,7	1/2	3,30	5,80	5,93	7,75	3,66	9,9	1,5	10,2	0,21	8,2	9,1	0,28	11,12,15
332		-	12,7	1/2	4,88	7,20	7,33	7,75	3,66	9,9	1,5	11,2	0,26	8,2	9,1	0,33	11,12,15
110		082	12,7	1/2	2,38	4,60	4,73	7,75	3,66	9,9	-	8,2	0,17	10,0	10,0	0,26	15,111
17		083	12,7	1/2	4,88	7,90	8,03	7,75	4,09	10,3	1,5	12,9	0,32	12,0	13,2	0,42	11,12,15
385		-	12,7	1/2	6,40	9,78	9,91	7,75	3,97	11,5	3,9	15,4	0,38	16,0	17,1	0,50	11,12,15
461		-	12,7	1/2	6,40	9,93	10,06	8,51	4,45	11,8	3,9	15,8	0,44	18,0	18,6	0,66	11,12,15
462		08 B-1	12,7	1/2	7,75	11,30	11,43	8,51	4,45	11,8	3,9	17,0	0,50	18,0	18,6	0,70	11,12,15
500		-	15,875	5/8	6,48	10,08	10,21	10,16	5,08	14,7	4,1	16,4	0,51	22,4	27,5	0,78	11,12,15
501		10 B-1	15,875	5/8	9,65	13,28	13,41	10,16	5,08	14,7	4,1	19,6	0,67	22,4	27,0	0,91	11,12,15
513		12 B-1	19,05	3/4	11,68	15,62	15,75	12,07	5,72	16,1	4,6	22,7	0,89	29,0	31,0	1,18	11,12,15
548		16 B-1	25,4	1	17,02	25,40	25,60	15,88	8,28	21,0	5,4	36,1	2,10	60,0	72,0	2,68	11,111,12
552		-	30,0	-	17,02	25,40	25,60	15,88	8,28	21,0	5,4	36,1	2,10	60,0	72,0	2,50	11,111,12
563		20 B-1	31,75	1 1/4	19,56	29,00	29,20	19,05	10,19	26,4	6,1	43,2	2,96	95,0	105,0	3,50	11,111,12
596		24 B-1	38,1	1 1/2	25,40	37,90	38,20	25,40	14,63	33,4	6,6	53,4	5,54	160,0	180,0	6,80	111,12
613		28 B-1	44,45	1 3/4	30,99	46,50	46,80	27,94	15,90	37,0	7,4	65,1	7,39	200,0	230,0	8,50	111,12
652		32 B-1	50,8	2	30,99	45,50	45,80	29,21	17,81	42,2	7,9	67,4	8,10	250,0	276,0	10,50	111,12
671		40 B-1	63,5	2 1/2	38,10	55,70	56,00	39,37	22,89	52,9	10,0	82,6	12,75	355,0	405,0	16,40	111,12
679		48 B-1	76,2	3	45,72	70,50	71,00	48,26	29,24	63,8	10,0	99,1	20,61	560,0	630,0	25,00	111

Electrogalvanised or nickel-plated chains on request. In this case chains may only have 80 % of the tensile strength.

<sup>1</sup> with straight side plates

For details on orders and enquiries see page 128. Standard sprockets as of page 75. Information on the selection of chain sizes and drives as of page 115.

Connecting links: According to DIN (...)



Dimensiones fuente de alimentación conmutada [22]

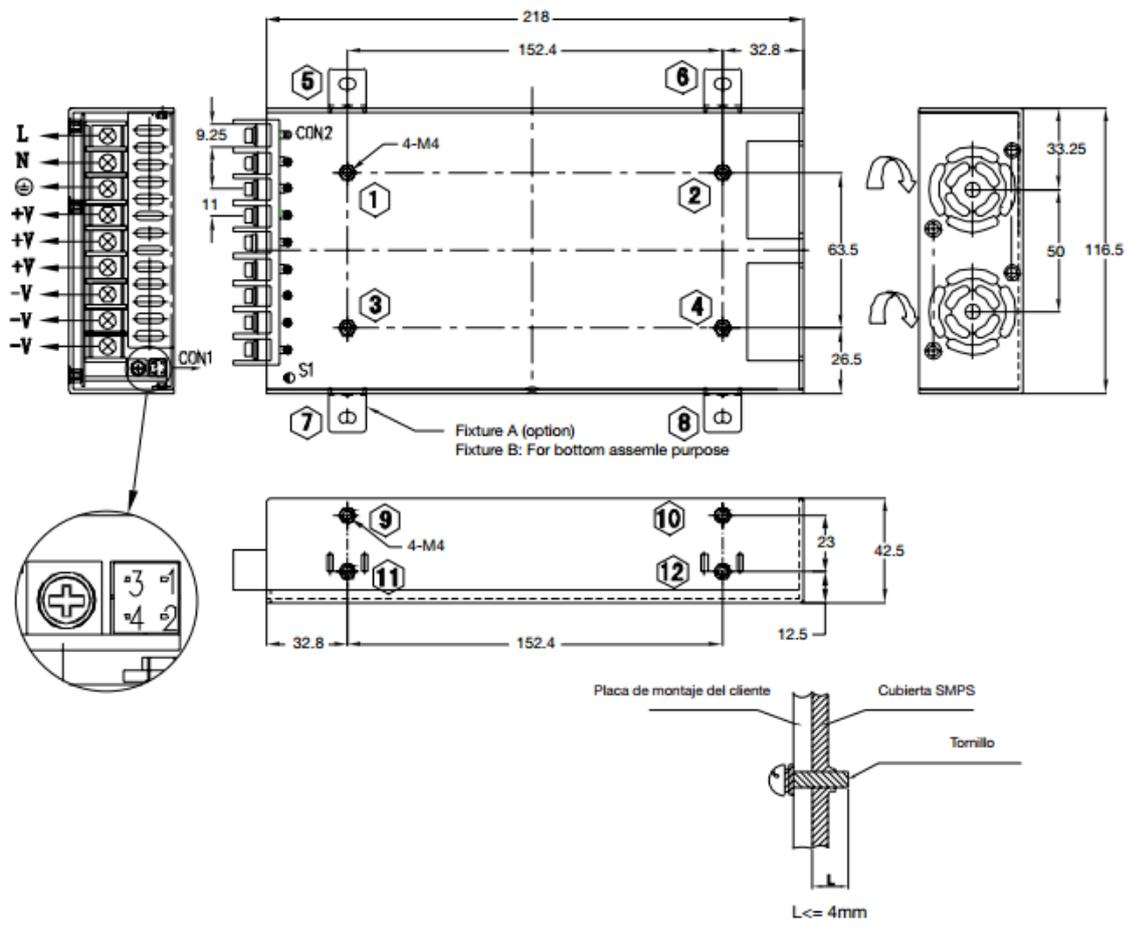


Tabla códigos “G y M” generales [17]

CÓDIGOS G	CÓDIGOS M
G00: Posicionamiento rápido (sin maquinar)	M00: Parada opcional
G01: Interpolación lineal (maquinando)	M01: Parada opcional
G02: Interpolación circular (horaria)	M02: Reinicio del programa
G03: Interpolación circular (antihoraria)	M03: Hacer girar el husillo en sentido horario
G04: Compás de espera	M04: Hacer girar el husillo en sentido antihorario
G10: Ajuste del valor de offset del programa	M05: Frenar el husillo
G20: Comienzo de uso de unidades imperiales (pulgadas)	M06: Cambiar de herramienta
G21: Comienzo de uso de unidades métricas	M07: Abrir el paso del refrigerante B
G28: Volver al home de la máquina	M08: Abrir el paso del refrigerante A
G32: Maquinar una rosca en una pasada	M09: Cerrar el paso de los refrigerantes
G36: Compensación automática de herramienta en X	M10: Abrir mordazas
G37: Compensación automática de herramienta en Z	M11: Cerrar mordazas
G40: Cancelar compensación de radio de curvatura de herramienta	M13: Hacer girar el husillo en sentido horario y abrir el paso de refrigerante
G41: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la izquierda	M14: Hacer girar el husillo en sentido antihorario y abrir el paso de refrigerante
G42: Compensación de radio de curvatura de herramienta a la derecha	M30: Finalizar programa y poner el puntero de ejecución en su inicio
G70: Ciclo de acabado	M31: Incrementar el contador de partes
G71: Ciclo de maquinado en torneado	M37: Frenar el husillo y abrir la guarda
G72: Ciclo de maquinado en frenteado	M38: Abrir la guarda
G73: Repetición de patrón	M39: Cerrar la guarda
G74: Taladrado intermitente, con salida para retirar virutas	M40: Extender el alimentador de piezas
G76: Maquinar una rosca en múltiples pasadas	M41: Retraer el alimentador de piezas
G96: Comienzo de desbaste a velocidad tangencial constante	M43: Avisar a la cinta transportadora que avance
G97: Fin de desbaste a velocidad tangencial constante	M44: Avisar a la cinta transportadora que retroceda
G98: Velocidad de alimentación (unidades/min)	M45: Avisar a la cinta transportadora que frene
G99: Velocidad de alimentación (unidades/revolución)	M48: Inhabilitar Spindle y Feed override (maquinar exclusivamente con las velocidades programadas)
	M49: Cancelar M48
	M62: Activar salida auxiliar 1
	M63: Activar salida auxiliar 2
	M64: Desactivar salida auxiliar 1
	M65: Desactivar salida auxiliar 2
	M66: Esperar hasta que la entrada 1 esté en ON
	M67: Esperar hasta que la entrada 2 esté en ON
	M70: Activar espejo en X
	M76: Esperar hasta que la entrada 1 esté en OFF
	M77: Esperar hasta que la entrada 2 esté en OFF
	M80: Desactivar el espejo en X
	M98: Llamada a subprograma
	M99: Retorno de subprograma

Dimensiones de antorcha Miller [19]

