



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y  
LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

**TEMA:**

***AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO DE CORTE POR  
PLASMA EXISTENTE EN EL TALLER MECÁNICO  
DEL ÁREA DE ENERGÍA, MEDIANTE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA ACCIONADA  
POR CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO***

TESIS DE GRADO PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO.

**AUTORES:**

**José Luis Encalada Ríos**

**Luis Alberto Herrera Jiménez**

**DIRECTOR:**

**Ing. Julio Cesar Cuenca Tinitana, Mg. Sc.**

**LOJA – ECUADOR.**

**2013**

## CERTIFICACIÓN

Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Ms. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS.**

### **CERTIFICA:**

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en “**Automatización del equipo de corte por plasma existente en el taller mecánico del área de energía, mediante la implementación de una máquina accionada por control numérico computarizado**”, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por los señores egresados: José Luis Encalada Ríos y Luis Alberto Herrera Jiménez, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 14 de Octubre del 2013.



---

Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **José Luis Encalada Ríos** y **Luis Alberto Herrera Jiménez**, declaramos ser los autores del presente trabajo de tesis y eximimos expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente aceptamos y autorizamos a la Universidad Nacional de Loja, publicación de nuestra tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**Autor:** José Luis Encalada Ríos.

**Autor:** Luis Alberto Herrera Jiménez.

**Firma:** .....

**Firma:** .....

**Cédula:** 1104278278

**Cédula:** 1104262306

**Fecha:** Loja, Febrero del 2014

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LOS AUTORES, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Nosotros, **José Luis Encalada Ríos** y **Luis Alberto Herrera Jiménez**, declaramos ser los autores de la tesis titulada: **“Automatización del equipo de corte por plasma existente en el taller mecánico del área de energía, mediante la implementación de una máquina accionada por control numérico computarizado”**, como requisito para optar al grado de **Ingeniero Electromecánico**; autorizamos al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los diez días del mes de Febrero del dos mil catorce, firman los autores.

Firma:.....

**Autor:** José Luis Encalada Ríos

**Cédula:** 1104278278

**Dirección:** Sucre entre Cuba y Brasil.

**Correo Electrónico:** jlenri@hotmail.es

**Teléfono:** 72555343

**Celular:** 0993092619

Firma:.....

**Autor:** Luis Alberto Herrera Jiménez

**Cédula:** 1104262306

**Dirección:** Daniel Álvarez

**Correo Electrónico:** luishj@hotmail.es

**Teléfono:** 72676775

**Celular:** 0988715983

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Julio Cesar Cuenca Tinitana, Ms. Sc.

**Tribunal de Grado:** Ing. Jorge Patricio Muñoz Vizhñay, Ms. Sc.

Ing. Jorge Enrique Carrión González, Ms. Sc.

Ing. Manuel Ignacio Ayala Chauvin, Ms. Sc.

## **PENSAMIENTO**

*“La posibilidad de realizar un sueño es lo que hace que la vida sea interesante”.*

Paulo Coelho.

## DEDICATORIA

*Este trabajo le dedico a nuestro Creador por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida y haberme dado salud y perseverancia para lograr mis objetivos, a mis Padres por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su Amor, a mis hermanos, ya que siempre he contado con ellos para todo, gracias por su ayuda y su amistad, a Jenny y a mi pequeña Emily quienes me han apoyado incondicionalmente; por su Amor mostrado para salir siempre adelante, y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.*

**José Luis**

*Este trabajo está dedicado a mis padres que siempre me apoyaron dándome la sabiduría, el valor y la confianza para conseguir mis metas, a toda mi familia y de manera especial a mi hija Yarely y mi esposa Johana, que día a día me brindan su cariño y comprensión.*

**Luis Alberto**

## **AGRADECIMIENTO**

Es grato expresar nuestros sinceros agradecimientos a la **Universidad Nacional de Loja, al Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables**, a cada uno de nuestros docentes que de manera desinteresada aportaron para que durante este periodo de estudio se cristalice nuestra formación académica, además a todas las personas que intervinieron de alguna u otra manera con ayuda, consejos y palabras de aliento para la culminación del presente trabajo.

De manera muy especial al Ing. Julio Cesar Cuenca Tinitana Mg. Sc., por su acertada dirección e invaluable colaboración para la realización de esta tesis.

**Los Autores**

## TABLA DE CONTENIDOS

Caratula.....	I
Certificación.....	II
Autoría.....	III
Carta de Autorización.....	IV
Pensamiento.....	V
Dedicatoria.....	VI
Agradecimiento.....	VII
Tabla de Contenidos.....	VIII
<b>a. TÍTULO.....</b>	<b>1</b>
<b>b. RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>c. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>d. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>8</b>
<b>d.1 CAPÍTULO I.</b>	
Automatización industrial.....	8
d.1.1 Generalidades.....	8
d.1.2 Automatización.....	8
d.1.3 Clases de automatización.....	9
d.1.3.1 Automatización fija.....	9
d.1.3.2 Automatización programable.....	9
d.1.3.3 Automatización flexible.....	9
d.1.4 Metas y usos de la automatización.....	10
d.1.5 Sensores.....	10
d.1.5.1 Sensores ultrasónicos.....	10
d.1.5.2 Sensores ópticos.....	11
d.1.5.3 Sensores de contacto.....	11
d.1.5.4 Sensores analógicos.....	12
d.1.5.5 Sensores inductivos.....	12
d.1.5.6 Sensores capacitivos.....	13
d.1.6 Motores paso a paso.....	13
d.1.6.1 Comportamiento propio de los motores paso a paso.....	14



d.1.6.2	Características comunes de los motores paso a paso.....	15
d.1.6.3	Tensión.....	15
d.1.6.4	Resistencia eléctrica.....	15
d.1.6.5	Grados por paso.....	15
d.1.7	Tipos de motores paso a paso.....	16
d.1.7.1	Motores paso a paso de imán permanente.....	16
d.1.7.2	Motores paso a paso de reluctancia variable.....	20
d.1.7.3	Motores paso a paso de híbridos.....	24
d.1.8	Aplicaciones de los motores paso a paso.....	25
d.1.9	Características de los motores paso a paso.....	25
d.2	<b>CAPÍTULO II. CORTE POR PLASMA</b> .....	26
d.2.1	Concepto.....	26
d.2.2	Corte y soldadura por arco al plasma.....	27
d.2.3	Soldadura por arco de plasma (PAW).....	28
d.2.4	Corte por plasma (PAC).....	29
d.2.5	Condiciones técnicas para el corte Arco-Plasma.....	30
d.2.6	Ventajas y desventajas del corte por plasma (PAC).....	31
d.2.7	Características del equipo de corte de plasma MILLER SPECTRUM 375 XTREME.....	31
d.2.7.1	Descripción.....	31
d.2.7.2	Características.....	32
d.2.7.3	Ventajas competitivas.....	33
d.2.7.4	Accesorios incluidos.....	33
d.2.7.5	Datos técnicos.....	33
d.2.7.6	Capacidades de corte.....	34
d.2.7.7	Datos técnicos de los consumibles de la antorcha.....	35
d.2.7.8	Normas de seguridad.....	35
d.3	<b>CAPÍTULO III.</b>	
	Control Numérico Computarizado.....	35
d.3.1	Control numérico (CN).....	35
d.3.2	Clasificación de controles numéricos.....	37
d.3.2.1	Según el sistema de referencia.....	37

d.3.2.2	Sistemas de referencia fijos frente a sistemas de referencia flotantes.....	38
d.3.2.3	Según el tipo de accionamiento.....	38
d.3.2.4	Según el bucle de control.....	38
d.3.2.5	Clasificación según la tecnología de control.....	39
d.3.3	Control numérico computarizado (CNC).....	39
d.3.3.1	Características del C.N.C.....	40
d.3.3.2	Tipos de sistemas de control.....	41
d.3.3.3	CNC punto a punto.....	41
d.3.3.4	CNC paraxial.....	42
d.3.3.5	CNC continuo o de contorneado.....	42
d.3.4	Uso del CNC.....	44
d.3.4.1	Precisión, repetitividad y resolución.....	44
d.3.4.2	Ventajas y limitaciones.....	45
d.3.5	Programación manual.....	45
d.3.6	Programación automática.....	45
d.3.7	Interfaz.....	49
d.3.8	Driver.....	50
d.3.9	Tipos de funcionamiento.....	51
d.3.10	Puerto paralelo.....	51
d.3.10.1	Breve descripción del puerto paralelo.....	52
d.3.11	Software de control para maquinas CNC.....	54
<b>e.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>55</b>
e.1	Materiales.....	55
e.2	Métodos.....	56
<b>f.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
f.1	Diseño Mecánico.....	59
f.1.1	Diseño de la Mesa de Trabajo.....	59
f.1.2	Dimensionamiento de las guías de movimiento en los tres ejes.....	60
f.1.2.1	Guías para el desplazamiento en el eje Z.....	61
f.1.2.2	Guías para el desplazamiento en el eje X.....	72

f.1.2.3 Guías para el desplazamiento en el eje Y.....	84
f.2 Selección de Dispositivos Actuadores, Tarjetas, Elementos de Mando y Protección.....	94
f.2.1 Selección de actuadores .....	94
f.2.1.1 Potencia de los Actuadores.....	95
f.2.1.2 Selección de Actuadores.....	97
f.3 Selección de las Tarjetas Electrónicas de Control.....	98
f.3.1 Selección de la tarjeta interface (Breakout board).....	98
f.3.2 Selección de la Tarjeta Controladora para motores paso a paso.....	99
f.4 Elementos de Mando y Protección.....	100
f.4.1 Selección de Sensores.....	100
f.4.2 Selección de Elementos de Mando.....	101
f.4.3 Selección de Elementos de Protección.....	101
f.5 Selección y Estudio de los Programas de Control.....	102
f.5.1 Selección de los Programas CAD.....	102
f.5.2 Estudio del Programa AUTOCAD.....	102
f.5.3 Selección de los programas CAM.....	103
f.5.4. Estudio del Programa Mach3 Plasma.....	104
f.6 Pruebas y Ajustes.....	106
f.6.1 Calibración de Parámetros del Sistema.....	106
f.6.2 Pruebas del Sistema Mecánico, Eléctrico Electrónico y Software.....	107
f.6.2.1 Pruebas en el Sistema Mecánico.....	107
f.6.2.2 Pruebas en el Sistema Eléctrico, Electrónico y Software.....	107
f.6.2.3 Pruebas en el Sistema Eléctrico.....	108
f.6.2.4 Pruebas en el Sistema Electrónico.....	108
f.7 Valoración Técnica, Económica y Ambiental.....	109
f.7.1 Valoración técnica.....	109
f.7.2 Evaluación Económica.....	109
f.7.2.1 Análisis de Costos Directos.....	110
f.7.2.2 Costos de Montaje.....	112
f.7.2.3 Costo Directo Total.....	112
f.7.2.4 Análisis de Costos Indirectos.....	112

f.7.2.5 Gastos Indirectos.....	112
f.7.2.6 Costo Total dela Cortadora de Plasma CNC.....	113
f.7.3 Valoración ambiental.....	113
<b>g. DISCUSIÓN.....</b>	<b>115</b>
<b>h. CONCLUSIONES.....</b>	<b>119</b>
<b>i. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>121</b>
<b>j. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>125</b>

**a.- TÍTULO.**

*AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO DE CORTE POR PLASMA EXISTENTE EN EL TALLER MECÁNICO DEL ÁREA DE ENERGÍA, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA ACCIONADA POR CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO.*

## **b.- RESUMEN.**

En el presente trabajo se han aplicado conocimientos en diseño de máquinas, análisis de mecanismos, electrónica, control automático y automatización industrial; para lograr el control de un prototipo de máquina cortadora CNC, la cual tiene como tarea cortar en forma automática piezas en láminas de metal indistintamente de la complejidad de su geometría; además de servir como un elemento didáctico para el Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables y principalmente para la Carrera de Ingeniería Electromecánica.

La construcción del equipo CNC de corte por plasma se la llevó a cabo en las siguientes fases:

- ✓ Diseño, construcción e implementación de los diversos mecanismos y estructura de la máquina.
- ✓ Selección de software de modelado.
- ✓ Selección e implementación de la interfaz de comunicación.
- ✓ Diseño, selección e implementación del sistema de mando o control (Drivers).
- ✓ Diseño, selección e implementación de los elementos de posicionamiento y traslado.

Lo anterior se logró mediante una exhaustiva búsqueda bibliográfica y extensa fase experimental, permitiendo obtener un equipo compacto, de un nivel funcional aceptable, de costo moderado y replicable en nuestro medio y sobre todo con tecnología local.

En lo referente a la parte de estructura y mecanismos, se hace uso de sistemas de transmisión por piñón-cremallera en el caso de los carros de los ejes X y Y, y de tuerca husillo para el caso del desplazamiento en el eje Z, todos ellos montados sobre guías especiales que poseen rodamientos, con el fin de reducir al máximo el rozamiento, y sobre estructuras de perfil comercial.

Lo que respecta al software de modelado, se utilizó una herramienta CAD como lo es el AutoCAD, el mismo que presta la opción de crear y editar archivos del tipo DXF, necesarios para este tipo de aplicación.

Para lograr la comunicación, generación de códigos de maniobra y el control de los accionamientos, se implementó y se utilizó la interfaz de transducción modelo KL-DB25, este importante elemento es el medio que permite transformar a señales de tipo pulso, el modelo virtual creado por el usuario.

Por último, las señales de pulsos obtenidas son aprovechadas por los drivers de los motores paso a paso, para ser convertidas en movimientos lineales de alta precisión que adaptados y acoplados correctamente a los diversos mecanismos permiten realizar las labores de corte requeridas.

En cada una de las fases de construcción y montaje se logró un acoplamiento satisfactorio, que se lo pudo evidenciar en la fase de pruebas, cumpliendo a plenitud todos los objetivos propuestos.

## SUMMARY

In this paper we have applied knowledge in machine design, analysis of mechanisms, electronics, automatic control and industrial automation to achieve automatic control of a CNC cutting machine prototype, which is tasked cut to shape automatic sheet metal parts regardless of the complexity of the geometry, as well as serving as an educational element to area of Energy, Industry and Non-Renewable Natural Resources.

Team building CNC plasma cutting is conducted in the following phases:

- ✓ Design, construction and implementation of the various mechanisms and machine structure.
- ✓ Selection modeling software.
- ✓ Selection and implementation of the communication interface.
- ✓ Design, selection and implementation of the control system or control (Drivers).
- ✓ Design, selection and implementation of the indexing and transfer.

This was achieved through a comprehensive literature search and long experimental phase, allowing us to obtain a compact, functional an acceptable level, moderate-cost, easily replicated in our country and especially local technology.

In regard to the structure and mechanisms of systems making use of rack and pinion transmission in the case of trolleys of the X and Y axes and spindle nut in the case of displacement in the Z axis, all mounted on special guides have bearings, to minimize friction, mounted on commercial grid structures.

Regard to modeling software was used CAD tool (Auto Cad), because it has the option of create and edit DXF files necessary for this type of application.

To achieve communication, code generation switching and control of drives, was implemented and used transduction interface model KL-DB25, this important element is the medium that allows you to pulse type signals the virtual model created by the user. Finally, the obtained pulse signals are used by the drivers of the stepper motors, to be



converted into high-precision linear motion and coupled properly adapted to the various mechanisms allow the work of cutting required.

In each of the phases of construction and erection satisfactory coupling was achieved, it was evident that in the testing phase, fully meeting all objectives.

### **c.- INTRODUCCIÓN.**

Actualmente, existe un ambiente de grandes expectativas e incertidumbre; por los rápidos cambios de la tecnología actual, pues estos no permiten asimilarla en forma adecuada de modo que es muy difícil aprovecharla de la mejor manera.

Entre todos estos cambios, uno de los de mayor influencia lo será sin duda el desarrollo de las nuevas políticas mundiales de mercados abiertos y globalización. Todo esto habla de una libre competencia y surge la necesidad de adecuar nuestras industrias a fin de que puedan satisfacer el reto de los próximos años.

Una opción o alternativa frente a esto es la reconversión de las industrias introduciendo el elemento de la automatización. Sin embargo, se debe hacer en la forma más adecuada de modo que se pueda absorber gradualmente la nueva tecnología en un tiempo apropiado; todo esto sin olvidar los factores de rendimiento de la inversión y capacidad de producción. Uno de los elementos importantes dentro de la automatización son las Máquinas Herramientas de Control Numérico Computarizado, las cuales brindan ventajas tales como: incrementar la productividad, precisión, rapidez y flexibilidad de las máquinas-herramientas. Su uso ha permitido la mecanización de piezas muy complejas, que difícilmente se pueden fabricar de forma manual.

La necesidad de estar inmersos en cuanto a ciencia y tecnología se refiere, nos ha llevado a desarrollar el presente proyecto de investigación, el cual consiste en una máquina que sea capaz de realizar toda clase de cortes en láminas de metal, todo esto asistido con un software especializado.

Al diseñar y construir este sistema automático para el equipo de corte por arco al plasma, se pretende generar una propuesta que optimice los tiempos de producción y sobre todo permita generar piezas en forma rápida y sencilla.

## OBJETIVOS

### *Objetivo General.*

Diseñar y construir una máquina automática mediante Control Numérico Computarizado (CNC), para el equipo de corte por arco de plasma existente en el área de Energía de la UNL.

### *Objetivos Específicos.*

- ✓ Establecer los principales referentes teóricos que nos permitan delimitar las características de funcionamiento de una máquina de corte por arco de plasma accionada por Control Numérico.
- ✓ Diseñar y construir el sistema mecánico que permita ejercer el movimiento de la antorcha de corte en los tres ejes X, Y, Z
- ✓ Dimensionar e implementar los dispositivos de control para accionar los elementos que constituyen el sistema mecánico de movimiento.
- ✓ Seleccionar el software de control para el proceso de corte.
- ✓ Establecer una base de datos que nos permita seleccionar parámetros de corte en función del espesor de la lámina.
- ✓ Socializar los resultados obtenidos de la investigación dentro y fuera de la carrera de Ing. Electromecánica y de la U.N.L.

## **d.- REVISIÓN LITERARIA.**

### **d.1 CAPÍTULO I. AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.**

#### **d.1.1 Generalidades.**

La historia de la automatización industrial está caracterizada por períodos de constantes innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales.

El uso de robots industriales junto con los sistemas de diseño asistidos por computadora (CAD), y los sistemas de fabricación asistidos por computadora (CAM) son la última tendencia, estas tecnologías conducen a la automatización industrial a otra transición, de alcances aún desconocidos.

En la actualidad el uso de los robots industriales está concentrado en operaciones muy simples, como tareas repetitivas que no requieren tanta precisión. Se refleja el hecho de que en los 80's las tareas relativamente simples como las máquinas de inspección, transferencia de materiales, pintado automatizado, y soldadura son económicamente viables para ser robotizadas. Los análisis de mercado en cuanto a fabricación predicen que en ésta década y en las posteriores los robots industriales incrementaran su campo de aplicación, esto debido a los avances tecnológicos en sensorica, los cuales permitirán tareas más sofisticadas como el ensamble de materiales.

Como se ha observado la automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. En consecuencia la robótica es una forma de automatización industrial (ZUIVI, 2010).

#### **d.1.2 Automatización.**

La automatización es una técnica industrial que sencillamente proporciona una extensión y un refinamiento de métodos anteriores que han estado en uso por largo tiempo. Generalmente debe incorporar tres funciones básicas:

- ✓ Control automático de la máquina
- ✓ Algún sistema de autorregulación o de realimentación
- ✓ Un manejo coordinado del material.

### **d.1.3 Clases de Automatización.**

Hay tres clases muy amplias de automatización industrial: automatización fija, automatización programable, y automatización flexible. (GODINEZ, 2009)

#### **d.1.3.1 Automatización Fija.**

La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

#### **d.1.3.2 Automatización Programable.**

La automatización programable se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a la variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa (Software).

#### **d.1.3.3 Automatización Flexible.**

Por su parte la automatización flexible es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada.

Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

#### **d.1.4 Metas y usos de la Automatización.**

La automatización tiene varias metas principales:

- ✓ Integrar varios aspectos de las operaciones de fabricación para mejorar la calidad y uniformidad de los productos, minimizar tiempos del ciclo y duraciones, y reducir los costos.
- ✓ Mejorar la productividad reduciendo los costos de manufacturación mejorando el control de la producción. Las partes son cargadas, alimentadas y descargadas en las máquinas más eficientemente. Las máquinas son usadas más efectivamente y la producción organizada más eficientemente.
- ✓ Mejorar la calidad empleando procesos repetibles.
- ✓ Reducir inconvenientes de operarios, aburrimiento y posibilidades de errores humanos.
- ✓ Reducir el daño de piezas causado por el manejo manual de las partes.
- ✓ Aumentar el nivel de seguridad para el personal, especialmente para los que trabajan bajo condiciones peligrosas.
- ✓ Economizar en espacio físico en la planta de manufactura por el arreglo de las máquinas, movimiento del material y relacionar el equipamiento más eficientemente.

#### **d.1.5 Sensores.**

Los sensores utilizados en sistemas de automatización y control CNC se dividen en:

##### **d.1.5.1 Sensores Ultrasónicos.**

Como se indica en la figura 1, el sensor envía una señal que rebota en el objeto y retorna al receptor, activando una salida; el mismo transductor se utiliza para la transmisión y la recepción, es necesario un amortiguamiento rápido para detectar objetos a pequeña distancia. Se utilizan para la medición de distancias en una variación del mismo como sensor de proximidad, mapeado (detección de todos los objetos más próximos alrededor de él), en robótica, controles de nivel, entre otros.



Figura 1. Funcionamiento de un sensor ultrasónico.

Fuente: (X-ROBOTICS, 2005)

### d.1.5.2 Sensores Ópticos.

En este caso una luz infrarroja se envía y rebotara sobre la superficie reflectante del objeto y es captada por un receptor, (figura 2).

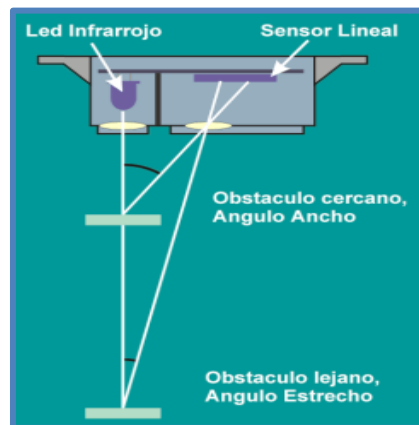


Figura 2. Sensor fotoeléctrico de Barrera.

Fuente: (X-ROBOTICS, 2005)

### d.1.5.3 Sensores de Contacto.

Son los conocidos microinterruptores, limitswitch, interruptores de botón, entre otros. Tales que cuando entran en contacto con la parte móvil de la maquina CNC u objeto, posibilitan abrir o cerrar algún tipo de circuito de control. Son de bajo costo y son recomendados en sistemas de precisión, sus formas más comerciales se indican en la figura 3.



Figura 3. (a) Limitswitch(b) microinterruptores(c) interruptores de botón.

Fuente: (X-ROBOTICS, 2005)

#### d.1.5.4 Sensores Analógicos.

Estos sensores ofrecen una señal de salida proporcional a una fuerza local en la entrada al sensor. Se utilizan en sistemas de detección táctil, en sistemas de robótica, se clasifican en inductivos y capacitivos, cada uno de ellos se detalla a continuación.

#### d.1.5.5 Sensores Inductivos.

Como se observa en la figura 4, estos detectan objetos metálicos, no entran en contacto físico; se basan en una bobina arrollada la cual se encuentra junto a un imán permanente empacado en una capsula, se utilizan en bandas transportadoras y control de máquinas en industrias en general.

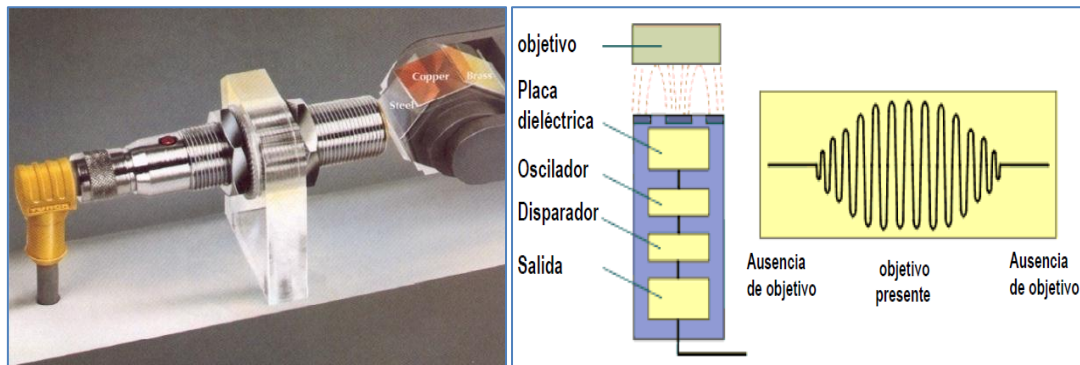


Figura 4. Sensor inductivo.

Fuente: (X-ROBOTICS, 2005)

En condiciones estáticas no hay cambios en la líneas de flujo, cuando un objeto ferromagnético entra en el campo se induce un impulso de corriente, cuya amplitud y forma son proporcionales a la velocidad de cambio en el flujo.



#### **d. 1.5.6 Sensores Capacitivos.**

Estos sensores detectan cualquier tipo de materiales sólidos y líquidos. Se basan en la detección de un cambio de capacidad inducida por una superficie que se lleva cerca del elemento sensor. Se utilizan en la detección de nivel, control de humedad, etc. Su apariencia física se muestra en la figura 5. (X-ROBOTICS, 2005)



*Figura 5. Sensor capacitivo de la firma VariKont.*

*Fuente: (X-ROBOTICS, 2005)*

#### **d.1.6 Motores Paso a Paso.**

Los motores paso a paso se pueden ver como motores eléctricos sin escobillas. Es típico que todos los bobinados del motor sean parte del estator, y el rotor puede ser un imán permanente o, en el caso de los motores de reluctancia variable (que luego describiremos mejor), un cilindro sólido con un mecanizado en forma de dientes (similar a un engranaje), construido con un material magnéticamente "blando" (como el hierro dulce), figura 6.

La conmutación se debe manejar de manera externa con un controlador electrónico y, típicamente, los motores y sus controladores se diseñan de manera que el motor se pueda mantener en una posición fija y también para que se lo pueda hacer girar en un sentido y en el otro. (CARLETTI, 2009)

La mayoría de los motores paso a paso conocidos se pueden hacer avanzar a frecuencias de audio, lo que les permite girar muy velozmente. Con un controlador apropiado, se los puede hacer arrancar y detenerse en un instante en posiciones controladas.



Figura 6. Algunos modelos de motores paso a paso.

Fuente: (CARLETTI, 2009)

#### **d.1.6.1 Comportamiento propio de los Motores Paso a Paso.**

Los motores paso a paso tienen un comportamiento del todo diferente al de los motores de corriente continua. En primer lugar, no giran libremente por sí mismos. Los motores paso a paso, como lo indica su nombre, avanzan girando por pequeños pasos. También difieren de los motores de CC en la relación entre velocidad y torque (un parámetro que también es llamado "par motor" y "par de giro"). Los motores de CC no son buenos para ofrecer un buen torque a baja velocidad sin la ayuda de un mecanismo de reducción. Los motores paso a paso, en cambio, trabajan de manera opuesta: su mayor capacidad de torque se produce a baja velocidad.

Los motores paso a paso tienen una característica adicional: el torque de detención (que se puede ver mencionado también como "par de detención", e incluso par/torque "de mantenimiento"), que no existe en los motores de CC. El torque de detención hace que un motor paso a paso se mantenga firmemente en su posición cuando no está girando. Esta característica es muy útil cuando el motor deja de moverse y, mientras está detenido, la fuerza de carga permanece aplicada a su eje. Se elimina así la necesidad de un mecanismo de freno.

Si bien es cierto que los motores paso a paso funcionan controlados por un pulso de avance, el control de un motor paso a paso no se realiza aplicando en directo este pulso eléctrico que lo hace avanzar. Estos motores tienen varios bobinados que, para producir el avance de ese paso, deben ser alimentados en una adecuada secuencia. Si se invierte el orden de esta secuencia, se logra que el motor gire en sentido opuesto. Si los pulsos

de alimentación no se proveen en el orden correcto, el motor no se moverá apropiadamente. Puede ser que zumbe y no se mueva, o puede ser que gire, pero de una manera tosca e irregular. Esto significa que hacer girar un motor paso a paso no es tan simple como hacerlo con un motor de corriente continua, al que se le entrega una corriente y listo. Se requiere un circuito de control, que será el responsable de convertir las señales de avance de un paso y sentido de giro en la necesaria secuencia de energización de los bobinados. (COLMENARES, 2008)

#### ***d.1.6.2 Características comunes de los Motores Paso a Paso.***

Un motor paso a paso se define por estos parámetros básicos:

#### ***d.1.6.3 Tensión.***

Los motores paso a paso tienen una tensión eléctrica de trabajo. Este valor viene impreso en su carcasa o por lo menos se especifica en su hoja de datos. Algunas veces puede ser necesario aplicar un voltaje superior para lograr que un determinado motor cumpla con el torque deseado, pero esto producirá un calentamiento excesivo y/o acortará la vida útil del motor.

#### ***d.1.6.4 Resistencia eléctrica.***

Otra característica de un motor paso a paso es la resistencia de los bobinados. Esta resistencia determinará la corriente que consumirá el motor, y su valor afecta la curva de torque del motor y su velocidad máxima de operación.

#### ***d.1.6.5 Grados por paso.***

Generalmente, este es el factor más importante al elegir un motor paso a paso para un uso determinado. Este factor define la cantidad de grados que rotará el eje para cada paso completo. Una operación de medio-paso o semi-paso (halfstep) del motor duplicará la cantidad de pasos por revolución al reducir la cantidad de grados por paso. Cuando el valor de grados por paso no está indicado en el motor, es posible contar a mano la cantidad de pasos por vuelta, haciendo girar el motor y sintiendo por el tacto cada "diente" magnético. Los grados por paso se calculan dividiendo 360 (una vuelta

completa) por la cantidad de pasos que se contaron. Las cantidades más comunes de grados por paso son:  $0,72^\circ$ ,  $1,8^\circ$ ,  $3,6^\circ$ ,  $7,5^\circ$ ,  $15^\circ$  y hasta  $90^\circ$ . A este valor de grados por paso usualmente se le llama la resolución del motor. En el caso de que un motor no indique los grados por paso en su carcasa, pero sí la cantidad de pasos por revolución, al dividir 360 por ese valor se obtiene la cantidad de grados por paso. Un motor de 200 pasos por vuelta, por ejemplo, tendrá una resolución de  $1,8^\circ$  por paso.

### d.1.7 Tipos de Motores Paso a Paso.

Los motores paso a paso se dividen en dos categorías principales: **de imán permanente** y de **reluctancia variable**. También existe una combinación de ambos, llamados **híbridos**.

#### d.1.7.1 Motores Paso a Paso de Imán Permanente.

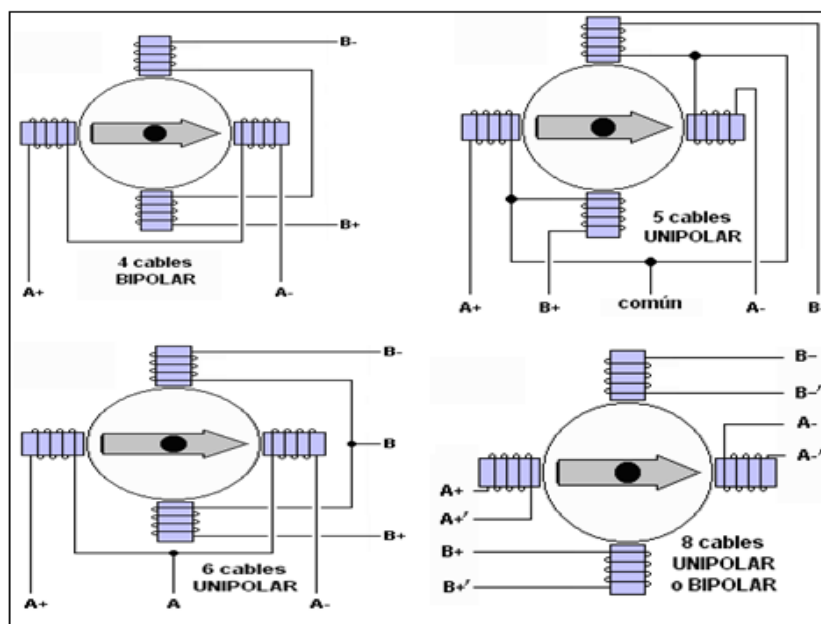


Figura 7. Tipos de Cableado en las Bobinas.

Fuente: (CARLETTI, 2009)

Son los que más conocemos, utilizados, por ejemplo, en el avance de papel y del cabezal de impresión de las impresoras, en el movimiento del cabezal de las disqueteras, entre otros. Como su nombre indica, poseen un imán que aporta el campo magnético para la operación.

Los motores paso a paso de imán permanente se dividen a su vez en distintos tipos, diferenciados por el tipo de bobinado, (figura 7). Existen entonces motores paso a paso de imán permanente **unipolares** (también llamados "unifilares"), **bipolares** (también llamados "bifilares") y **multifase**. Cada uno de estos tipos requerirá un diferente circuito de control.

*Motores Paso a Paso Unipolares*, son relativamente fáciles de controlar, gracias a que poseen devanados duplicados. Aunque para facilitar el esquema se dibuja este devanado como una bobina con punto medio, en realidad tienen dos bobinas en cada eje del estator, que están unidas por extremos opuestos, de tal modo que al ser alimentada una u otra, generan cada una un campo magnético inverso al de la otra. Nunca se energizan juntas: por eso lo correcto es decir que tienen una doble bobina, en lugar de decir (como se hace habitualmente) que es una bobina con punto medio. Esta duplicación se hace para facilitar el diseño del circuito de manejo, ya que permite el uso, en la parte de potencia, de un transistor único por cada uno de los bobinados.

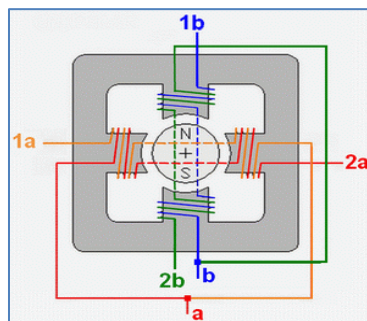


Figura 8. Distribución del bobinado de un motor unipolar.

Fuente: (CARLETTI, 2009)

En el esquema más común de conexión se unen los "puntos medios" de ambos ejes (**a** y **b** en la figura 8), y se les conecta al positivo de la alimentación del motor. El circuito de control de potencia, entonces, se limita a poner a masa los bobinados de manera secuencial. (Ver figuras: 9, 10,11).

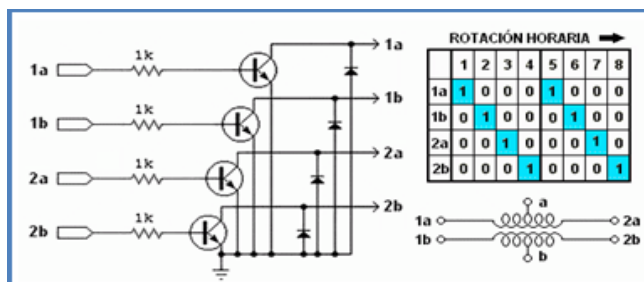


Figura 9. Circuito y secuencia para controlar un motor unipolar.

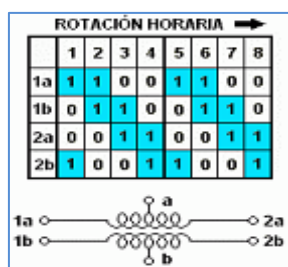


Figura 10. Secuencia para lograr más fuerza.

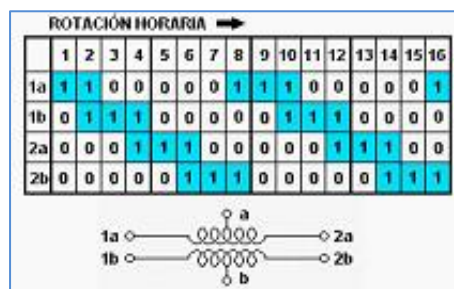


Figura 11. Secuencia para lograr medio-paso.

Fuente: (CARLETTI, 2009)

La secuencia de pulsos de un motor unipolar se puede controlar con un contador binario de dos bits con un decodificador, como por ejemplo el integrado CD4017, (figura 12). La parte de potencia puede ser implementada con un único transistor en cada bobinado.

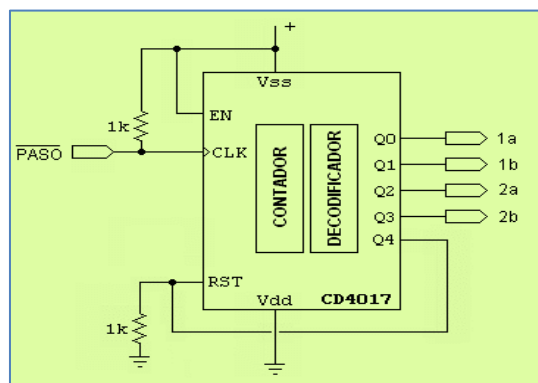


Figura 12. Control de avance con un único integrado CD4017.

Fuente: (CARLETTI, 2009)

Motores Paso a Paso Bipolares, requieren circuitos de control y de potencia más complejos. Pero en la actualidad esto no es problema, ya que estos circuitos se suelen implementar en un integrado, que soluciona esta complejidad en un solo componente. Como mucho se deben agregar algunos componentes de potencia, como transistores y

diodos para las contracorrientes, aunque esto no es necesario en motores pequeños y medianos.

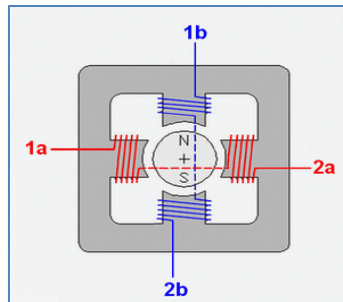


Figura 13. Distribución del bobinado de un motor bipolar.  
Fuente: (CARLETTI, 2009)

Como no tienen el doble bobinado de los unipolares (recordemos que en éstos todo el tiempo se está utilizando sólo una de las bobinas duplicadas, mientras la otra queda desactivada y sin ninguna utilidad), los motores bipolares ofrecen una mejor relación entre torque y tamaño/peso, (figura 13).

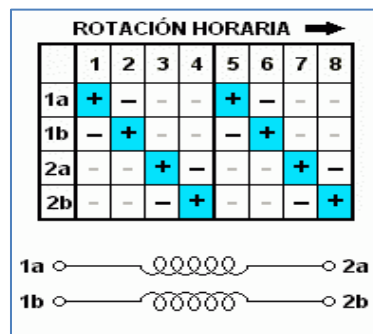


Figura 14. Secuencia de pulsos para un motor bipolar.  
Fuente: (CARLETTI, 2009)

La configuración de los motores bipolares requiere que las bobinas reciban corriente en uno y otro sentido, y no solamente un encendido-apagado como en los unipolares, (figura 14). Esto hace necesario el uso de un Puente H (un circuito compuesto por al menos seis transistores) sobre cada uno de los bobinados.

El que sigue es un circuito de ejemplo para el manejo de una de las bobinas (se necesita otro igual para manejar un motor completo). Para más detalles en el funcionamiento de un circuito como este, (figura 15).

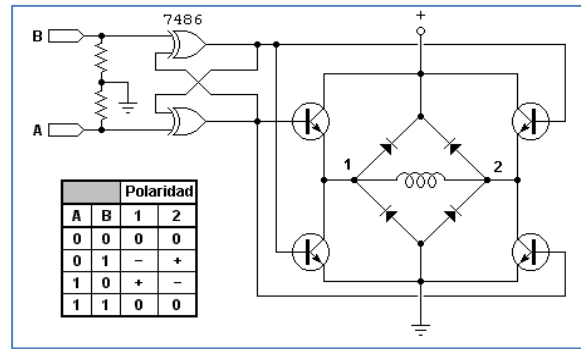


Figura 15. Circuito de manejo para un motor bipolar.

Fuente: (CARLETTI, 2009)

### d.1.7.2 Motores Paso a Paso de Reluctancia Variable.

Los motores del tipo de reluctancia variable, en cambio, poseen un rotor de hierro dulce que en condiciones de excitación del estator, y bajo la acción de su campo magnético, ofrece menor resistencia a ser atravesado por su flujo en la posición de equilibrio. Su mecanización es similar a los de imán permanente y su principal inconveniente radica en que en condiciones de reposo (sin excitación) el rotor queda en libertad de girar y, por lo tanto, su posicionamiento de régimen de carga dependerá de su inercia y no será posible predecir el punto exacto de reposo.

El tipo de motor de reluctancia variable consiste en un rotor y un estator cada uno con un número diferente de dientes. Ya que el rotor no dispone de un imán permanente, gira libremente si no tiene corriente alimentándolo, o sea que no tiene torque de detención. Los motores de reluctancia variable son los motores paso a paso más simples de manejar. Su secuencia se limita a activar cada bobinado en orden, como lo indica la figura 16. Es común que estos motores tengan un cable común que une todas las bobinas. Estos motores, si se los mueven a mano, no tienen la sensación "dentada" de los otros motores paso a paso, sino que se mueven libres, como los motores de corriente continua. En todo instante, el campo magnético producido por una de las fases en particular dependerá de la intensidad de corriente de esa fase. Si la intensidad es cero, el campo magnético también será nulo. Si la intensidad es máxima, el campo magnético tendrá una fuerza máxima.

Por otro lado, dado que el rotor es un imán permanente, si se permite el giro de éste dentro de un campo magnético, acabará por orientarse hasta la total alineación con el



campo. De otro lado, si el campo magnético giratorio es intenso, se origina un par, capaz de accionar una determinada carga.

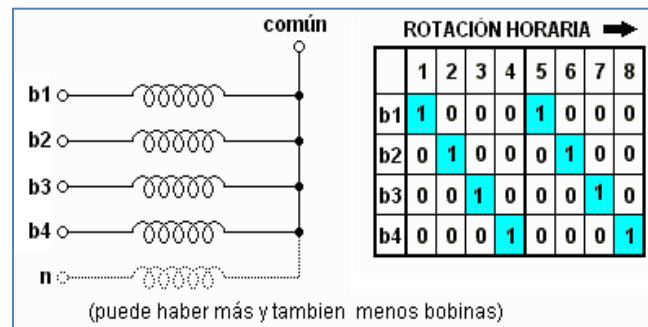


Figura 16. Circuito de manejo para un motor de reluctancia variable.

Fuente: (CARLETTI, 2009)

Dependiendo del tipo de bobinas que se encuentran devanadas simétricamente sobre los estatores (y, por tanto, del modo de crear el campo giratorio) se pueden clasificar estos tipos de motores en: Paso a paso bipolares y Paso a paso unipolares.

*Motores Paso a Paso Bipolares*, en el esquema de la figura 17, aparece uno de estos motores con dos estatores, sobre cada uno de los cuales se ha devanado una bobina (1 y U), las cuales se encuentran conectadas directamente a unos conmutadores de control que, como se verá más adelante, podrán ser sustituidos por las líneas de entrada y salida de nuestro ordenador debidamente programadas. Como las bobinas se encuentran distribuidas simétricamente en torno al estator, el campo magnético creado dependerá en magnitud de la intensidad de corriente por cada fase, y en polaridad magnética, del sentido de la corriente que circule por cada bobina. De este modo el estator adquiere la magnetización correspondiente, orientándose el rotor según ella (fig. 17A). Si el interruptor I.1 se conmuta a su segunda posición (figura 17B), se invierte el sentido de la corriente que circula por T y por tanto la polaridad magnética, volviéndose a reorientar el rotor (el campo ha sufrido una rotación de 90° en sentido antihorario, haciendo girar el rotor 90° en ese mismo sentido). Con esto se llega a la conclusión de que para dar una vuelta completa serían necesarios cuatro pasos de 90° cada uno (el ciclo completo se puede seguir en la figura 17A, B, C, D).

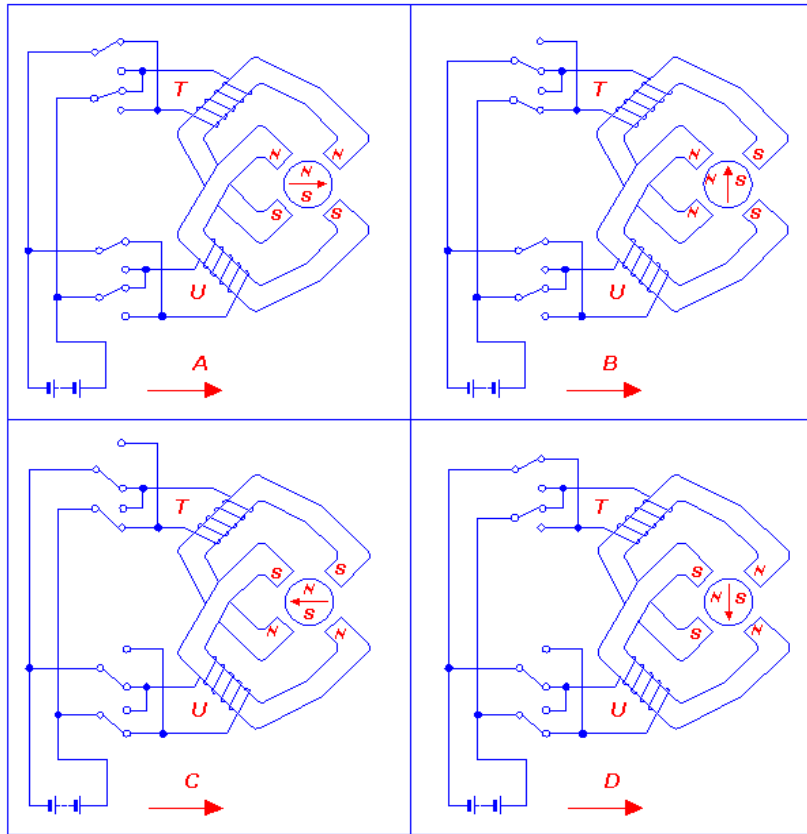


Figura 17. Motor paso a paso bipolar en modo de pasos completos.

Fuente (COLMENARES, 2008)

Ahora bien, este tipo de motores también puede funcionar de un modo menos "ortodoxo", pero que nos va a permitir doblar el número de pasos, si bien a costa de la regularidad del par. Esto se consigue de la siguiente manera: en principio, al igual que en el anterior fondo de funcionamiento, por los devanados T y U se hace circular una corriente, de tal modo que el estator adquiere la magnetización correspondiente y por lo tanto el rotor se orienta según ella. Ahora bien, al contrario que en el caso anterior, antes de conmutar el interruptor I.1 a su segunda posición, se desconectará el devanado T, reorientándose por consiguiente el rotor, pero la mitad de un paso ( $45^\circ$ ).

*Motores Paso a Paso Unipolares*, en cuanto a construcción son muy similares a los anteriormente descritos excepto en el devanado de su estator, (figura 18). En efecto, cada bobina del estator se encuentra dividida en dos mediante una derivación central conectada a un terminal de alimentación. De este modo, el sentido de la corriente que circula a través de la bobina y por consiguiente la polaridad magnética del estator viene determinada por el terminal al que se conecta la otra línea de la alimentación, a través

de un dispositivo de conmutación. Por consiguiente las medias bobinas de conmutación hacen que se inviertan los polos magnéticos del estator, en la forma apropiada. Nótese que en vez de invertir la polaridad de la corriente como se hacía en los motores paso a paso bipolares se conmuta la bobina por donde circula dicha corriente.

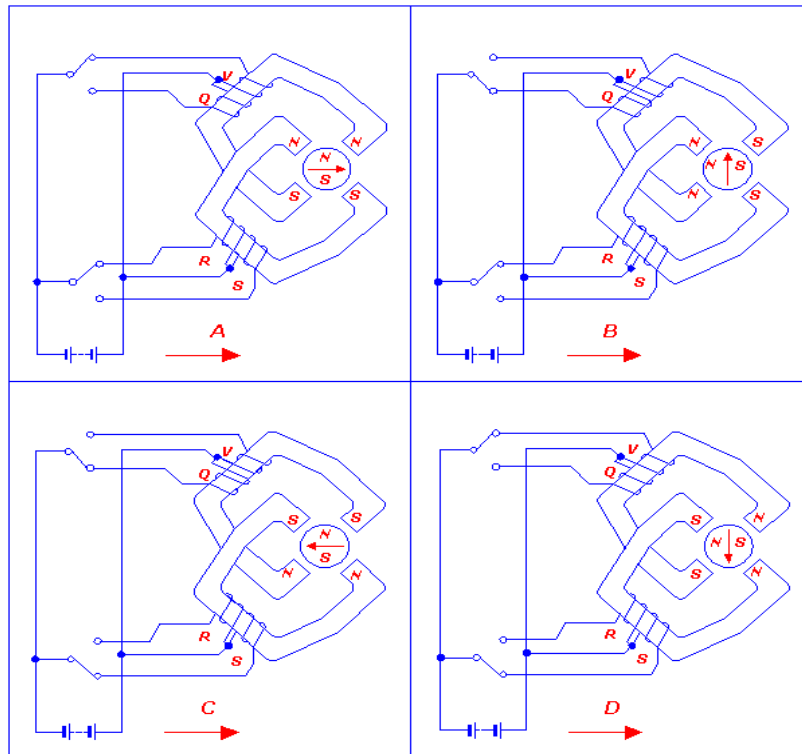


Figura 18. Motor paso a paso unipolar. Distintas secuencias en la alimentación del estator.

Fuente (COLMENARES, 2008)

Al igual que los motores paso a paso bipolares, es posible tener resoluciones de giro correspondientes a un semipaso. Ahora bien, dado que las características constructivas de estos motores unipolares son idénticas a las de los bipolares, se puede deducir que los devanados tanto en uno como otro caso ocuparán el mismo espacio, y por tanto es evidente que por cada fase tendremos menos vueltas o bien el hilo de cobre será de una sección menor. En cualquiera de los dos casos se deduce la disminución de la relación de amperios/vuelta. Por tanto, a igualdad de tamaño los motores bipolares ofrecen un mayor par. (CARLETTI, 2009)

Hasta aquí se ha venido describiendo el funcionamiento de los motores paso a paso con dos estatores, si bien es posible aumentar el número de éstos para mejorar la resolución

angular. En las figuras 19, 20 y 21, pueden apreciarse los detalles constructivos de este tipo de motores:



Figura 19. Aspecto exterior de un motor PaP. Se aprecian la placa de características y los seis conductores de salida (motor unipolar). Fuente: (CARLETTI, 2009)



Figura 20. Aspecto constructivo del estator: 8 polos y vista de los dientes interiores de cada polo.

Fuente: (CARLETTI, 2009)



Figura 21. Aspecto interior de un motor paso a paso bipolar: rotor y estator.

Fuente: (CARLETTI, 2009)

### **d.1.7.3 Motores Paso a Paso de Híbridos.**

Los motores híbridos combinan las mejores características de los de reluctancia variable y de imán permanente. Se construyen con estatores multidentados y un rotor de imán permanente. El rotor de apilado simple contiene dos piezas de polos separados por un magneto permanente magnetizado, con los dientes opuestos desplazados en una mitad de un salto de diente para permitir una alta resolución de pasos, (figura 22). Los motores

híbridos estándar tienen 200 dientes en el rotor y giran en pasos de 1,8 grados. Existen motores híbridos con configuraciones de 0,9° y 3,6°. Dado que poseen alto torque estático y dinámico y se mueven a muy altas velocidades de pulso, se los utiliza en una amplia variedad de aplicaciones industriales. (CUENCA, 2007)

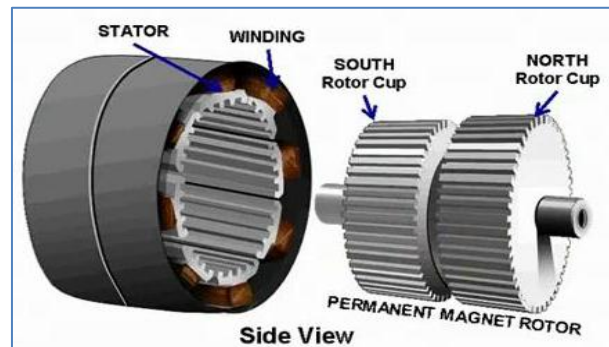


Figura 22. Rotor y Estator de un motor paso a paso híbrido.

Fuente: (CUENCA, 2007)

#### d.1.8 Aplicaciones de los Motores Paso a Paso.

- ✓ Taxímetros.
- ✓ Disk-drive.
- ✓ Impresoras.
- ✓ Plotters.
- ✓ Brazo y Robots completos.
- ✓ Patrón mecánico de velocidad angular.
- ✓ Registradores XY.
- ✓ Relojes Eléctricos.
- ✓ Control Remoto.
- ✓ Máquinas de escribir electrónicas.
- ✓ Manipuladores.
- ✓ Posicionamiento de válvulas en controles industriales.
- ✓ Bombas impelentes en aplicaciones de electromedicina.

#### d.1.9 Características de los Motores Paso a Paso.

- ✓ Larga vida.
- ✓ Velocidad de respuesta elevada (<1ms).
- ✓ Posicionamiento dinámico preciso.

- ✓ Reinicialización a una posición preestablecida.
- ✓ Frecuencia de trabajo variable.
- ✓ Funcionamiento sincrónico bidireccional.
- ✓ Sincronismo unidireccional en régimen de sobre velocidad.
- ✓ Carencia de escobillas.
- ✓ Insensibilidad al choque en régimen dinámico, a la regulación de la fuente de alimentación. (CARLETTI, 2009)

## **d.2 CAPÍTULO II. CORTE POR PLASMA.**

### **d.2.1 Concepto.**

El plasma es una materia gaseosa fuertemente ionizada, con igual número de cargas libres positivas y negativas. El plasma es una corriente ionizante de gas que sirve de soporte al arco y que se genera cuando este se fuerza a través de un diminuto orificio del soplete. Posee una enorme cantidad de calor, generado por la gran energía cinética de los electrones liberados, empleando como fuente de calor el arco eléctrico.

El plasma se considera como el cuarto estado de la materia, después del sólido, el líquido y el gaseoso. (WIKIPEDIA, 2011) El plasma consiste en un conglomerado de iones positivos, átomos neutros y elementos libres, obteniéndose por calentamiento de gases hasta temperaturas muy elevadas. En los cambios de estado de la materia interviene una cierta cantidad de calor (calor latente de transformación). Así, para transformar el agua en vapor es necesario aportar calor. De la misma forma, el arco suministra el calor al gas para llevarlo al estado de plasma. Posteriormente, cuando el plasma vuelve al estado gaseoso devuelve la misma cantidad de calor.

### d.2.2 Corte y Soldadura por Arco al Plasma.

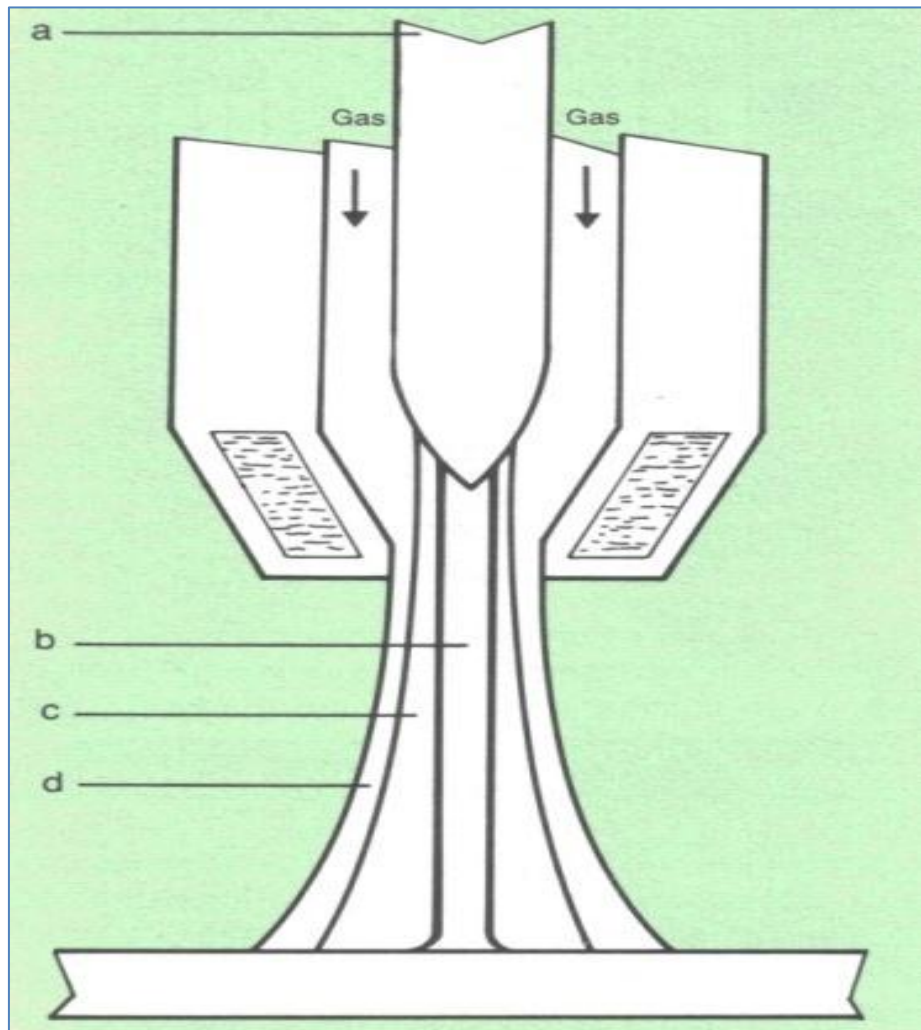


Figura 23. Pistola de corte y soldadura al plasma.

Fuente: (TECNOFICIO, 2009)

El plasma se obtiene con una pistola especial de forma cilíndrica y de material refractario (figura 23 y 24), en el interior de la misma está fijado un electrodo de tungsteno (23a). En el interior de la pistola hay un agujero más pequeño que el electrodo. El gas entra por la parte superior de la pistola o soplete y en contacto con el arco eléctrico se ioniza, la ionización se completa en el centro de la columna gaseosa que está en contacto directo con el arco (23b), mientras que en la periferia es muy débil. En la zona central (23c) de altísima temperatura, cercana a los 20.000 °C, circunda por otra más fría (23d), que hace de escudo térmico de protección de la pared delgada de la pistola.

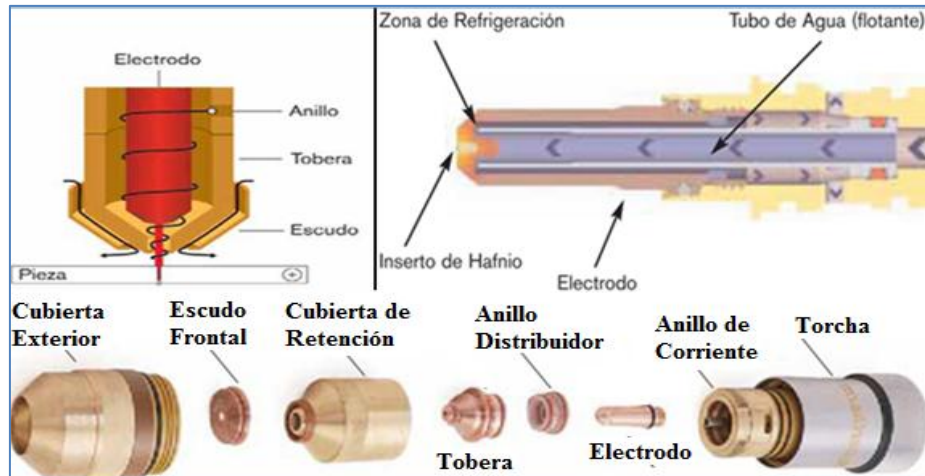


Figura 24. Partes de la antorcha de corte arco-plasma. .

Fuente: (TECNOFICIO, 2009)

El arco puede producirse de dos formas:

1. Entre el electrodo de tungsteno y el material a cortar. Entonces se denomina arco transferido o directo.
2. Entre el electrodo y la parte externa de la boquilla. Entonces se denomina arco no transferido o indirecto.

El arco transferido se emplea en la soldadura y el corte, posee una concentración térmica más elevada y por tanto crea menos deformaciones en la pieza durante la soldadura. El arco no transferido, dado a su limitado poder calorífico, se utiliza para soldar espesores pequeños y para la metalización.

### **d.2.3 Soldadura por Arco de Plasma (PAW).**

El más moderno método de soldadura con protección por atmósfera gaseosa es la soldadura metálica por arco de plasma y con gas inerte. El método PAW es muy similar al GTAW (Gas Tungsten Arc Welding o Soldadura TIG o Tungsten inert gas), con la diferencia de que el arco debe atravesar un estrechamiento antes de alcanzar la pieza de trabajo. Se obtiene de este modo un chorro de plasma muy rápido a una temperatura elevadísima.

La técnica PAW forma un arco más caliente y concentrado que permite una soldadura más rápida. Salvo por el orificio que acelera el gas, el PAW es idéntico al GTAW, y utiliza un electrodo de tungsteno no consumible en una atmósfera protectora de gas



inerte. La técnica PAW se utiliza casi siempre de forma manual y tiene muy pocas aplicaciones. (TECNOFICIO, 2009)

#### **d.2.4 Corte por Plasma (PAC).**

Gracias a sus características particulares (temperatura altísima y fusión instantánea), es empleado para el corte de cualquier material y en particular para los de alto punto de fusión. El corte con plasma es mucho más rápido que el corte oxiacetilénico.

Su principal aplicación es el corte de acero como se indica en la figura 25.



*Figura 25. Aplicación de corte por plasma. .*

*Fuente (GIACHINO , et al, 2007)*

La alteración térmica del metal a lo largo del borde cortado queda reducida y la superficie más lisa. El campo de aplicación del corte por plasma está limitado a espesores inferiores a 100 mm.

El arco que se forma entre el electrodo con el polo negativo, y la pieza con polo positivo, hace que el material se funda gracias a la alteración térmica, en ese instante el electrodo se eleva permitiendo que el aire (gas de plasma) ingrese al orificio, acelerando dicho gas y produciendo el desprendimiento de material fundido.

El procedimiento de corte con plasma está particularmente indicado para todos los materiales que como consecuencia de su composición química no pueden ser seccionados con el tradicional sistema de oxicorte, por tanto se aplica para cortar aluminio y sus aleaciones, aceros inoxidables, cobre, etc.

### d.2.5 Condiciones Técnicas para el Corte Arco-Plasma.

A continuación damos a conocer algunos aspectos sobre distintos materiales (ver tabla 1.)

Tabla 1. Condiciones técnicas para el corte arco-plasma

CONDICIONES TÉCNICAS PARA EL CORTE ARCO-PLASMA						
	Espesor (mm)	Velocidad (cm/min)	Orificio Tipo	Diámetro (mm)	Potencia (Kw)	Caudal Gas (lit/min)
ACEROS INOXIDABLES	12	65	4 x 8	3	45	65 N
	12	180	4 x 8	3	60	65 N
	40	65	5 x 10	4	85	5 N
	65	45	8 x 16	6	150	85 N / 8H
	100	20	8 x 16	6	160	85 N / 8H
ALUMINIO	12	65	4 x 8	3	50	50 °
	12	500	4 x 8	3	55	50 °
	40	75	5 x 10	4	75	50 °
	65	50	5 x 10	4	80	75 °
	100	30	6 x 12	5	90	100 °
ACERO AL CARBONO	6	500	4 x 12 Mi	3	55	125
	25	125	5 x 14 Mi	4	70	150
	40	90	6 x 16 Mi	5	100	175
	50	65	6 x 16 Mi	5	100	175
° = 5% argón, 35% hidrógeno						
i = Orificio Multiparte						

Fuente: (GIACHINO , et al, 2007)

El corte con plasma a diferencia del oxicorte, tiene un espectro de aplicación sobre materiales más amplio. Especialmente se puede destacar la versatilidad para corte de metales en calibres delgados, lo cual con oxicorte no es posible considerando aspectos como la calidad de corte y el efecto negativo sobre la estructura molecular al verse afectada por las altas temperaturas y metales ferrosos al cromo níquel (aceros inoxidables), además el aluminio y el cobre. Adicionalmente, el corte con plasma es un procesos que brinda mayor productividad toda vez que la velocidad de corte es mayor, dependiendo del calibre del material hasta 6 veces mayor, lo cual entrega una razón de costo-beneficio mejor que el oxicorte. En el anexo 1, se muestra las Técnicas y procedimientos para el corte con plasma.

#### **d.2.6 *Ventajas y desventajas del proceso de corte por Plasma (Pac).***

##### **Ventajas.**

- ✓ En comparación con los procesos de corte mecánicos, la cantidad de fuerza requerida para sostener la pieza de trabajo en su lugar y desplazar el soplete (o viceversa) es muy inferior en el caso del proceso de corte con arco de plasma, que no hace contacto.
- ✓ En comparación con el OFC (Oxifuel Cutting), el proceso de corte con plasma opera en un nivel energético muy superior, lo que permite mayores velocidades de corte.
- ✓ El PAC tiene la ventaja de iniciarse inmediatamente, sin necesidad de precalentamiento. El inicio instantáneo resulta especialmente ventajoso en aplicaciones que implican interrupción del corte, como en el corte de mallas.

##### **Desventajas.**

- ✓ En comparación con la mayor parte de los métodos de corte mecánicos, presenta peligros como son incendio, choque eléctrico, luz intensa, humo y gases, y niveles de ruido que probablemente no estén presentes en los procesos mecánicos.
- ✓ Es difícil controlar el PAC con tanta precisión como algunos procesos mecánicos, para trabajos con tolerancias estrechas.
- ✓ En comparación con el OFC, el equipo de PAC tiende a ser más costoso, requiere energía eléctrica y presenta peligros de choque eléctrico.

#### **d.2.7 *Características del equipo de corte por Plasma Miller Spectrum 375 Xtreme.***

##### **d.2.7.1 *Descripción:***

**Cortadora eléctrica al Plasma MILLER; SPECTRUM 375 X-TREME 27A,** (figura 26).



*Figura 26. Miller Spectrum 375 Xtreme.*

*Fuente: (MILLER, 2007)*

Industria Liviana - DC 1 Fase

Procesos: Cortar con Aire/Plasma/ Escoplear con Aire/Plasma. (MILLER, 2007)

#### **d.2.7.2 Características.**

Las características de la *Miller Spectrum 375 Xtreme* son:

- ✓ Compensación de voltaje de línea LVC que provee potencia pico de máximo rendimiento bajo condiciones variables de voltaje de entrada para cortes limpios y continuos.
- ✓ Tecnología de Túnel de viento, evita polvo abrasivo y partículas que pueden dañar componentes internos.
- ✓ Abanico según demanda. Sistema de enfriamiento que solo opera cuando sea necesario, reduciendo polvo y suciedad suspendida en el aire y empujada a la máquina.
- ✓ Corrección del factor de potencia (PFC). Utiliza menos energía al utilizar la potencia de entrada más eficientemente e incrementa la productividad al reducir ruidos del interruptor.
- ✓ Compatibilidad Miller de cualquier motor Miller como impulsor del generador
- ✓ Grapa industrial para trabajo pesado.
- ✓ Indicadores LED (Light-Emitting Diode) para reparaciones fáciles

- ✓ Arranque de arco de frecuencia baja que no interfiere ni daña controles o computadora
- ✓ Circuito de enfriamiento de post-flujo extiende la vida del consumible y la antorcha al enfriarlos con aire post-flujo después de soltar el gatillo.
- ✓ Filtro/Regulador aire/gas incorporado.

#### **d.2.7.3 *Ventajas Competitivas.***

- ✓ Circuito Auto-Line que conecta automáticamente a 115-230 VAC, potencia monofásica, 50/60Hz, sin remover las tapas para reconectar la fuente de potencia.
- ✓ Enchufe Multi-Voltaje (MVP) de Miller que permite conexiones a tomacorrientes de 115 o 230 V sin uso de herramientas.
- ✓ Regulación automática del aire que automáticamente compensa variaciones de presión de entrada para asegurar la recomendada presión de la antorcha y un rendimiento óptimo de corte.
- ✓ Correa del hombro para facilitar el traslado de un sitio a otro.

#### **d.2.7.4 *Accesorios Incluidos.***

- ✓ 1 Antorcha manual ICE-27T
- ✓ 3.7m cable de trabajo con prensamasa para servicio pesado
- ✓ 3m cable de alimentación con enchufes MPV multi-voltaje 5-15P(11V) y 6-50P (230V, 50A)
- ✓ Caja de consumibles con 3 electrodos y 3 puntas
- ✓ Filtro y regulador de gas/aire incorporado

#### **d.2.7.5 *Datos técnicos.***

A continuación (tabla 2), se detallan los datos Técnicos de Funcionamiento de la cortadora por plasma Miller Spectrum 375 Xtreme.

Tabla 2. Datos Técnicos de funcionamiento

DATOS TÉCNICOS			
Entrada (A) a salida nominal	1F a 20.6/28.8/13.9/kVA a 2.5/3.4/3.4/kW a 2.3/3.2/3.2 A	Salida nominal corriente/voltaje /ciclo servicio	20A a 88 VDC, 35 % / 27 A a 92 VDC, 20% / 27 A a 92 VDC, 35%
Capacidad para ranura	N / A	Capacidad de corte de la antorcha	1/4" (6.4mm) a 27 ipm – Nominal 3/8" (9.5mm) a 14 IPM / Corte severo máximo de 5/8" (5.9mm) a 5 IPM - cortando a 27 Amps (115V, 20 A) servicio con 5 - 20P MVP o 230V 6 - 50P MVP (enchufe multi-voltaje)
Voltaje de salida	N/A V	Tasa de flujo y presión	4.5 cfm (L/min.) a 90 PSI (621 kPa)
Alimentación de gas	Nitrógeno	Peso con antorcha	8.2 kg
Alimentación	115/ 230V	Dimensiones LxAxAI	229x140x337mm

Fuente: (MILLER, 2007)

#### d.2.7.6 Capacidades de corte.

Como se puede apreciar a continuación en la tabla 3, se especifican las capacidades de corte de la Miller Spectrum 375 Xtreme.

Tabla 3. Capacidades de corte.

Capacidad de corte de acero dulce (El espesor está a escala.)			
Cortando a 27 amps. (servicio 115 V, 20 A con 5-20P MVP, ó 230 V 6-50P MVP)			
<b>Nominal</b>	<b>Calidad</b>	<b>Separación</b>	
3/8 pulg. (10 mm)	1/2 pulg. (13 mm)	5/8 pulg. (16 mm)	
Nota: La capacidad de perforación máxima recomendada para las aplicaciones sostenidas a mano es de 3/16 pulg. (4,8 mm).			
Cortando a 20 amps. (servicio de 115 V, 15 A con 5-15P MVP)			
<b>Nominal</b>	<b>Calidad</b>	<b>Separación</b>	
1/4 pulg. (7 mm)	5/16 pulg. (8 mm)	3/8 pulg. (10 mm)	
<b>Capacidad nominal de corte</b> 10 pulgadas por minuto (la velocidad mínima a la cual el operador consigue un corte suave, constante usando una antorcha de mano).	<b>Capacidad máxima de corte de calidad</b> Corte de buena calidad obtenido a velocidades más bajas.	<b>Capacidad de corte de separación</b> Corte máximo conseguido en condiciones ideales.	
Nota: La capacidad de perforación máxima recomendada para las aplicaciones sostenidas a mano es de 1/8 pulg. (3,2 mm). Para aluminio y otros metales con conducción termal alta, la capacidad de corte se reducirá hasta tanto como un 30%.			

Fuente: (MILLER, 2007)

#### **d.2.7.7 Datos Técnicos de los Consumibles de la Antorcha.**

En la figura 27, se especifican los datos técnicos de los consumibles o repuestos de la antorcha.

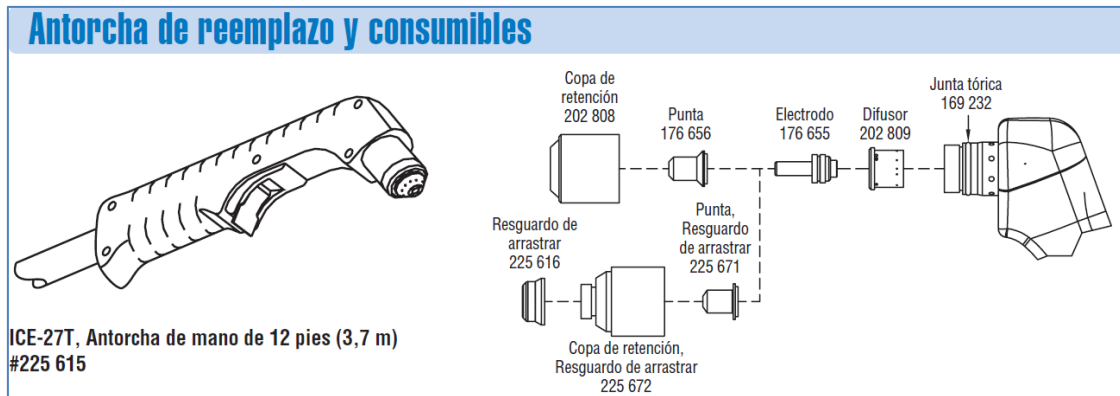


Figura 27. Consumibles de la Antorcha.

Fuente: (MILLER, 2007)

El Manual de funcionamiento Cortadora por Plasma MILLER SPECTRUM 375 XTREME, se encuentra detallado en su totalidad en el anexo 2. (MILLER, 2007)

#### **d.2.7.8 Normas de seguridad.**

Se recomienda mantener siempre en cuenta instrucciones de seguridad y funcionamiento que se proporcionan en el manual del fabricante, en las etiquetas de seguridad del producto, y todos los estándares aplicables de seguridad, especialmente ANSI: Z49.1, (Safety in Welding and Allied Cutting processes).

Las normas de seguridad se encuentran especificadas en el anexo 3.

### **d.3 CAPÍTULO III. CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO.**

#### **d.3.1 Control Numérico (CN).**

Existen diversas definiciones de lo que es un control numérico (CN) entre las que se pueden citar las siguientes:

- ✓ Es todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas a partir de las instrucciones codificadas en un programa.

- ✓ Es todo dispositivo que realiza un mando mediante números, haciendo que las máquinas desarrollen su trabajo automáticamente mediante la introducción en su memoria de un programa en el que se definen las operaciones a realizar por medio de combinaciones de letras y números.
- ✓ Son sistemas que, en base a una serie de instrucciones codificadas (programa), gobierna todas las acciones de una máquina o mecanismo al que le ha sido aplicado haciendo que éste desarrolle una secuencia de operaciones y movimientos en el orden previamente establecido por el programador. Quizá la definición más clara en lo que se refiere al CN aplicado a las máquinas-herramienta sea la siguiente:
- ✓ Sistema que aplicado a una máquina-herramienta automatiza y controla todas las acciones de la misma, entre las que se encuentran: los movimientos de los carros y del cabezal, el valor y el sentido de las velocidades de avance y de corte, los cambios de herramientas y de piezas a mecanizar, las condiciones de funcionamiento de la máquina (bloqueos, refrigerantes, lubricación, entre otros), el estado de funcionamiento de la máquina (averías, funcionamiento defectuoso, entre otro.), la coordinación y el control de las propias acciones del CN (flujos de información, sintaxis de programación, diagnóstico de su funcionamiento, comunicación con otros dispositivos, entre otros.). De todo ello se deduce que los elementos básicos de un sistema de control numérico son, con carácter general. El programa, que contiene la información precisa para que se desarrollen esas tareas. El programa se escribe en un lenguaje especial (código) compuesto por letras y números y se graba en un soporte físico (cinta magnética, disquete, entre otros) o se envía directamente al control vía RS-232 (Recommended Standard- 232) o USB (Universal Serial Bus). El control numérico (CN), que debe interpretar las instrucciones contenidas en el programa, convertirlas en señales que accionen los dispositivos de las máquinas y comprobar su resultado. (GODINEZ, 2009)





*Figura 28. Máquina accionada mediante Control Numérico.*

*Fuente: (GODINEZ, 2009)*

El control numérico puede aplicarse a una gran variedad de máquinas, entre las que podemos citar: tornos, fresadoras, centros de mecanizado, taladradoras, punteadoras, mandriladoras, rectificadoras, punzonadoras, dobladoras, plegadoras, prensas, cizallas, máquinas de electroerosión, máquinas de soldar, máquinas de oxicorte, máquinas de corte por láser, plasma (figura 28), chorro de agua, "plotters" o trazadores, máquinas de bobinar, máquinas de medir por coordenadas, robots y manipuladores, entre otros.

En el ámbito de las máquinas-herramienta, la incorporación de un sistema de control numérico ha supuesto una gran evolución hasta llegar a los centros de mecanizado y centros de torneado, que incorporan sistemas de cambio automático de piezas y herramientas.

### ***d.3.2 Clasificación de Controles Numéricos.***

Debido a las diferencias que existen entre las máquinas que son susceptibles de ser gobernadas por un CN, a las dificultades técnicas en el diseño de los controladores y a condicionantes de tipo económico, han aparecido diversos tipos de CN que pueden clasificarse de varias maneras:

#### ***d.3.2.1 Según el sistema de referencia.***

Para programar los sistemas de CN es necesario establecer un sistema de referencia estándar en el que puedan ser especificadas las diferentes posiciones relativas de la

máquina herramienta con respecto al trabajo a realizar. Para facilitar las cosas de cara al programador la pieza a ser maquinada se fija a una mesa de trabajo mientras que la máquina herramienta se mueve en torno a ella. De este modo el sistema de referencia se fija con respecto a la mesa de trabajo.

#### ***d.3.2.2 Sistemas de referencia fijos frente a sistemas de referencia flotantes.***

El propósito de los sistemas de referencia es localizar la herramienta en relación con la pieza a ser maquinada. Dependiendo del tipo de máquina de CN el programador puede tener varias opciones para especificar esta localización. En el caso de sistemas de referencia fijos, el origen siempre se localiza en la misma posición con respecto a la mesa de trabajo. Normalmente, esta posición es la esquina inferior de la izquierda de la mesa de trabajo y todas las posiciones se localizan a lo largo de los ejes XY positivos y relativos a ese punto fijo de referencia. En el caso de sistema de referencias flotantes, más comunes en las modernas máquinas de CN, permiten que el operador fije el origen del sistema en cualquier posición de la mesa de trabajo. A esta característica se le llama origen flotante. El programador es el que decide donde debe estar situado el origen. Esta decisión corresponde a la conveniencia de la parte de programación. Por ejemplo, la pieza a trabajar puede tener una simetría y convendría situar el origen en el centro de esa simetría.

La localización de esta referencia se realiza al principio de la tarea, el operador mueve la herramienta mediante control manual al punto que se desea como origen del sistema de referencia y presiona un botón indicándole a la máquina que en ese punto se encuentra el origen.

#### ***d.3.2.3 Según el tipo de accionamiento.***

Según el tipo de accionamiento pueden ser: hidráulicos, eléctricos o neumáticos. (GODINEZ, 2009)

#### ***d.3.2.4 Según el bucle de control.***

El control del sistema se puede realizar de dos formas: en bucle cerrado, donde a través de sensores se mide el valor a la salida, y se compara en todo instante con un valor de

referencia proporcionando una adecuada señal de control; o en bucle abierto donde no existe tal realimentación.

#### **d.3.2.5 Clasificación según la tecnología de control.**

Si atendemos a la clasificación según la forma física de realizar el control encontramos los

Siguientes tipos de CN:

- ✓ Control Numérico (CN)
- ✓ Control Numérico Computarizado (CNC)

#### **d.3.3 Control Numérico Computarizado (CNC)**

Uno de los elementos importantes dentro de este resurgir de la automatización son las Máquinas de Herramientas de Control Numérico Computarizado, las cuales brindan algunas ventajas adicionales.

Desde los orígenes del control numérico todos los esfuerzos se han encaminado a incrementar la productividad, precisión, rapidez y flexibilidad de las máquinas-herramienta. Su uso ha permitido la mecanización de piezas muy complejas, especialmente en la industria aeronáutica, que difícilmente se hubieran podido fabricar de forma manual.

La utilización de sistemas de control abiertos aportará considerables beneficios, no sólo a los fabricantes de control y fabricantes de máquina-herramienta, sino también al usuario final.

Permitirá la integración de módulos propios, dando así a una empresa la posibilidad de implementar, por ejemplo, su sistema de programación específico tanto a pie de máquina como en el departamento de programación. Al basarse en estándares, la integración en un entorno CIM (fabricación integrada por computadora), será fácil y económica.

También se obtendrán una reducción del tiempo de desarrollo y un incremento de la flexibilidad en la adaptación de los controles a las demandas especiales de las

máquinas-herramienta y células de producción. Finalmente, se reducirán los costes de desarrollo, adaptación, puesta en marcha, formación, documentación y mantenimiento.

Las máquinas herramienta de control numérico configuran una tecnología de fabricación que de la mano de la microelectrónica, la automática y la informática industrial ha experimentado en los últimos años un desarrollo acelerado y una plena incorporación a los procesos productivos, desplazando progresivamente a las máquinas convencionales, su capacidad de trabajo automático y de integración de los distintos equipos entre sí y con los sistemas de control, planificación y gestión de formación, hacen del control numérico (CN) la base de apoyo a unas tecnologías de fabricación: el COM (fabricación flexible) y el CIM.

El tipo de controles basados en circuitos específicos y lógica cableada (CN) ha caído en desuso con la aparición de los Controles Numéricos Computarizados (CNC), basados en el uso de uno o varios microprocesadores que sustituyen a los circuitos de lógica cableada de los sistemas CN, poco fiables y de gran tamaño. Los CNC incluyen una memoria interna de semiconductores que permite el almacenamiento del programa pieza, de los datos de la máquina y de las compensaciones de las herramientas. Por otra parte, incorporan un teclado que facilita la comunicación y el grado de interactividad con el operario y permiten la ruptura de la secuencia de los programas, la incorporación de subrutinas, los saltos condicionales y la programación paramétrica. De esta forma, se facilita una programación más estructurada y fácil de aprender. Por otra parte, se trata de equipos compactos con circuitos integrados, lo que aumenta el grado de fiabilidad del control y permite su instalación en espacios reducidos y con un nivel de ruido elevado. Actualmente, todos los controles que se fabrican son del tipo CNC, quedando reservado el término CN para una referencia genérica sobre la tecnología, de tal forma que se utiliza la denominación CN (Control Numérico) para hacer referencia a todas las máquinas de control numérico, tengan o no computador. (SITENORDESTE, 2009)

#### **d.3.3.1 Características del CNC.**

La máquina-herramienta CNC posee las siguientes ventajas:

- ✓ Mayor precisión y mejor calidad de productos.
- ✓ Mayor uniformidad en los productos producidos.

- ✓ Un operario puede operar varias máquinas a la vez.
- ✓ Fácil procesamiento de productos de apariencia complicada.
- ✓ Flexibilidad para el cambio en el diseño y en modelos en un tiempo corto.
- ✓ Fácil control de calidad.
- ✓ No se requieren operadores con experiencia.
- ✓ Se reduce la fatiga del operador.
- ✓ Mayor seguridad en las labores.
- ✓ Aumento del tiempo de trabajo en corte por maquinaria.
- ✓ Fácil control de acuerdo con el programa de producción lo cual facilita la competencia en el mercado.
- ✓ Fácil administración de la producción e inventario lo cual permite la determinación de objetivos o políticas de la empresa.
- ✓ Permite simular el proceso de corte a fin de verificar que este sea correcto.

***Sin embargo no todo es ventajas y entre las desventajas podemos citar:***

- ✓ Alto costo de la maquinaria.
- ✓ Falta de opciones o alternativas en caso de fallas.
- ✓ Es necesario programar en forma correcta la selección de las herramientas de corte y la secuencia de operación para un eficiente funcionamiento.
- ✓ Los costos de mantenimiento aumenta, ya que el sistema de control es más complicado y surge la necesidad de entrenar al personal de servicio y operación.
- ✓ Es necesario mantener un gran volumen de producción a fin de lograr una mayor eficiencia de la capacidad instalada.

#### ***d.3.3.2 Tipos de sistemas de control.***

Básicamente hay tres tipos de sistemas de control en CNC: punto a punto, paraxial y de contorno. (GODINEZ, 2009)

#### ***d.3.3.3 CNC Punto a Punto.***

En el sistema punto a punto o también llamado de posicionamiento (figura 29), cada eje de la máquina es manejado separadamente por guías dependiendo del tipo de

operación, a diferentes velocidades. La máquina se mueve inicialmente a máxima velocidad, para reducir los tiempos muertos, pero desacelera cuando la herramienta alcanza una posición definida. Entonces en una operación como agujerear, el posicionamiento y corte toma lugar secuencialmente.

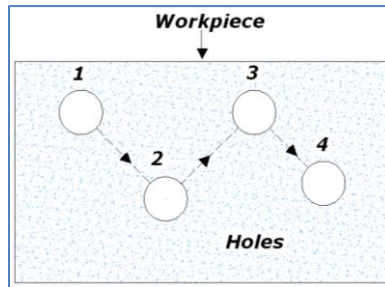


Figura 29. Sistema punto a punto.

Fuente: (GODINEZ, 2009)

#### **d.3.3.4 CNC Paraxial.**

En el sistema paraxial, es posible controlar además de la posición del órgano móvil, la trayectoria seguida por el mismo. La velocidad de avance es programable y puede efectuarse un mecanizado durante el desplazamiento, como este sistema se mueve en forma paralela o axial con respecto a los ejes de coordenadas, se utiliza en ciertas fresadoras simples, algunas mandriladoras-fresadoras, taladradoras para pequeños trabajos, entre otros.

#### **d.3.3.5 CNC Continuo o de Contorneado**

En el sistema de contorno, o también conocido como camino continuo (figura 30), operaciones de corte y posicionamiento toman lugar al mismo tiempo a lo largo de controlados caminos pero a diferentes velocidades. Es por eso que el control de la precisión y sincronización de velocidades y movimientos son importantes. El sistema de contorno es usado en tornos, fresadoras, rectificadoras y centros de mecanizado.

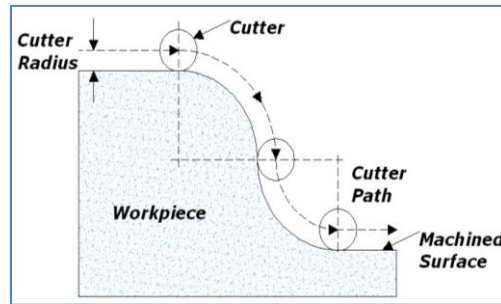


Figura 30. Sistema de contorno (continuo).

Fuente: (GODINEZ, 2009)

Esos movimientos a lo largo de los caminos, o interpolación, ocurre por uno de varios métodos básicos: lineal, camino continuo aproximado por incremento de líneas rectas, circular, parabólica o cúbica.

En la interpolación lineal (figura 31), la herramienta se mueve a lo largo de líneas rectas desde que empieza hasta que termina, en dos o tres ejes. Teóricamente, todos los tipos de perfiles pueden ser producidos por este método, pero es necesario procesar una gran cantidad de datos.

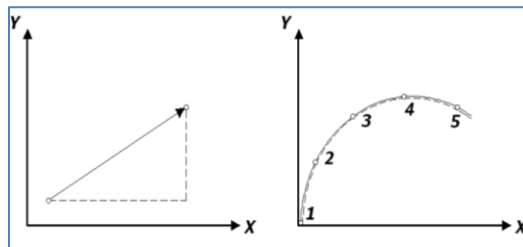


Figura 31. Interpolación lineal y continua.

Fuente: (GODINEZ, 2009)

En la interpolación circular (figura 32), los datos de entrada requeridos son las coordenadas de los puntos finales, las coordenadas de los centros de los círculos y la dirección de la herramienta a lo largo del arco.

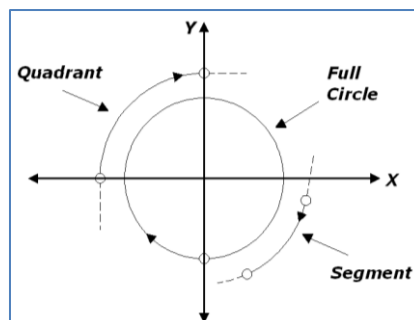


Figura 32. Interpolación circular.

Fuente: (GODINEZ, 2009)

#### **d.3.4 *Uso del CNC.***

La decisión sobre el cuándo es necesario utilizar Máquinas Herramientas CNC, muchas veces se resuelve en base a un análisis de producción y rentabilidad; sin embargo en nuestros países subdesarrollados, muchas veces existe un factor inercial que impide a los empresarios realizar el salto tecnológico en la medida que estas personas se motiven a acercarse a estas tecnologías surgirán múltiples alternativas financieras y de producción que contribuirán a mejorar el aspecto de rentabilidad de este tipo de inversión. Por otro lado una vez tomado este camino se dará una rápida transferencia tecnológica a nivel de las empresas incrementando el nivel técnico. Fenómenos como éstos no son raros, pues se dan muchas veces en nuestros países al nivel de consumidores.

Veamos ahora la alternativa de usar o no CNC, en términos de producción:

- ✓ Cuando se tienen altos volúmenes de producción.
- ✓ Cuando la frecuencia de producción de un mismo artículo no es muy alta.
- ✓ Cuando el grado de complejidad de los artículos producidos es alto.
- ✓ Cuando se realizan cambios en un artículo a fin de darle actualidad o brindar una variedad de modelos.
- ✓ Cuando es necesario un alto grado de precisión.

##### **d.3.4.1 *Precisión, Repetitividad y Resolución.***

Precisión en el posicionamiento de la herramienta está definido según cuán exacta sea la máquina en posicionarse en una determinada coordenada. Usualmente una máquina CNC tiene una precisión de posicionamiento de aproximadamente  $\pm 3 \mu\text{m}$ .

Repetitividad es la diferencia entre los resultados de movimientos iguales de la herramienta, bajo las mismas condiciones de operación, que ronda en los  $8 \mu\text{m}$ .

Resolución está definida como el movimiento más pequeño de los componentes de la máquina, que se aproxima a los  $2,5 \mu\text{m}$ . El juego en guías y engranajes cumple un rol importante en el tema precisión. (GODINEZ, 2009)



#### **d.3.4.2 *Ventajas y limitaciones.***

- ✓ Los costos de las herramientas son reducidos.
- ✓ Los ajustes de la máquina son fáciles de hacer con microcomputadoras.
- ✓ Se aprovecha la flexibilidad de operación, que es la habilidad de producir formas complejas con buena precisión dimensional, repetitividad, reducidas pérdidas, altas velocidades de producción, productividad y calidad.
- ✓ Más operaciones pueden ser hechas con cada programación, se requiere menos tiempo para maquinar, comparado con los métodos convencionales.
- ✓ Los programas pueden ser preparados más rápidamente y pueden ser rellenados en cualquier tiempo utilizando microprocesadores.
- ✓ Menor requerimiento de habilidad del operador, en comparación con un oficial tornero o similar y el operador tiene más tiempo para atender otras tareas en el área de trabajo.

El mayor problema es el costo inicial relativo del equipamiento, la necesidad, el costo de programación y el especial mantenimiento el cual requiere entrenamiento del personal. Como las máquinas CNC son sistemas complejos, las fallas o roturas son muy costosas, es por eso que el mantenimiento preventivo es esencial. Sin embargo, esas limitaciones son superadas por las ventajas económicas en la producción.

#### **d.3.5 *Programación Manual.***

En este caso, el programa de pieza a fabricar se escribe en forma manual, esto quiere decir que el operario debe realizar los cálculos e introducir en el programa en forma de códigos G, M, F, S y T.

#### **d.3.6 *Programación Automática.***

En este caso, los cálculos los realiza el computador, que suministra en su salida el programa de la pieza en lenguaje máquina. Por esta razón recibe el nombre de programación asistida por computador.

Al conjunto de informaciones que corresponde a una misma fase del mecanizado se le denomina bloque o secuencia, que se numeran para facilitar su búsqueda. Este conjunto de informaciones es interpretado por una computadora.

El programa de manufactura contiene todas las instrucciones necesarias para el proceso de mecanizado. Una secuencia o bloque de programa debe contener todas las funciones geométricas, funciones máquina y funciones tecnológicas del mecanizado, de tal modo, un bloque de programa consta de varias instrucciones.

El comienzo del control numérico está caracterizado por un desarrollo anárquico de los códigos de programación. Cada constructor utilizaba el suyo particular.

Posteriormente, se vio la necesidad de normalizar los códigos de programación como condición indispensable para que un mismo programa pudiera servir para diversas máquinas con tal de que fuesen del mismo tipo.

Los códigos o caracteres más usados comúnmente, regidos bajo la norma ISO/TR 6983-1:1982, ejemplo N10 F1000G1 X50 Y60, donde:

**N** es la dirección correspondiente al número de bloque o secuencia. Esta dirección va seguida normalmente de un número de tres o cuatro cifras. En el caso del formato **N03**, el número máximo de bloques que pueden programarse es 1000 (N000 a N999).

**X, Y, Z** son las direcciones correspondientes a las cotas según los ejes X, Y, Z de la máquina herramienta. Dichas cotas se pueden programar en forma absoluta o relativa, es decir, con respecto al cero pieza o con respecto a la última cota respectivamente.

**G** es la dirección correspondiente a las funciones preparatorias. Se utilizan para informar al control de las características de las funciones de mecanizado, como por ejemplo, forma de la trayectoria, tipo de corrección de herramienta, parada temporizada, ciclos automáticos, programación absoluta y relativa, etc.

La función **G** va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones preparatorias diferentes, como a continuación se muestra:

- ✓ G00: El trayecto programado se realiza a la máxima velocidad posible, es decir, a la velocidad de desplazamiento en rápido.

- ✓ G01: Los ejes se gobiernan de tal forma que la herramienta se mueve a lo largo de una línea recta pero con velocidad programable.
- ✓ G02: Interpolación lineal en sentido horario.
- ✓ G03: Interpolación lineal en sentido antihorario.
- ✓ G33: Indica ciclo automático de roscado.
- ✓ G77: Es un ciclo automático que permite programar con un único bloque el torneado de un cilindro, etc.

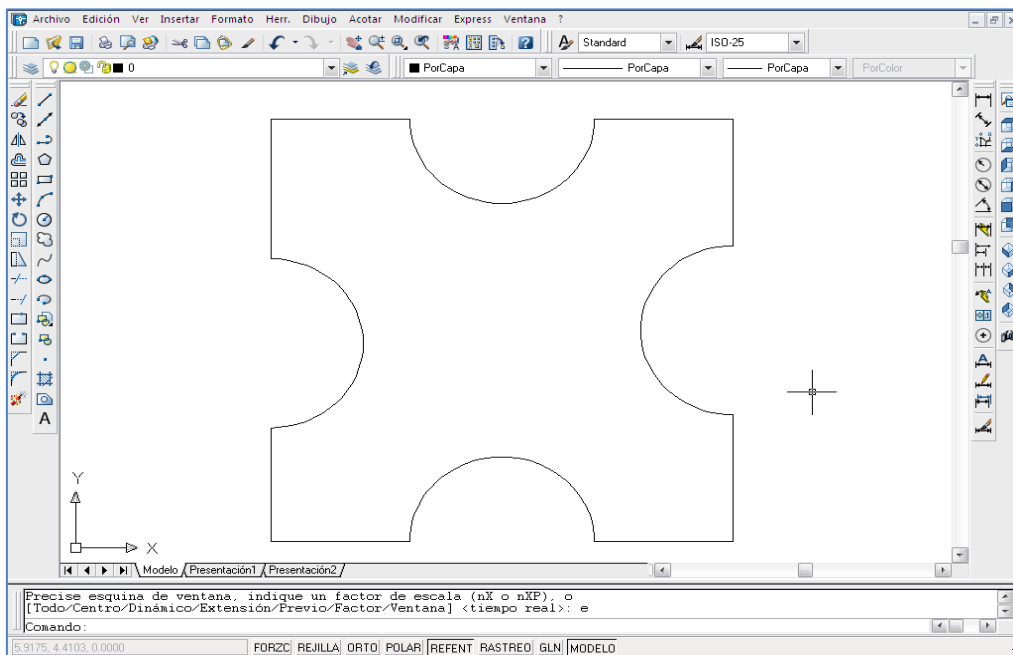


Figura 33. Patrón a representar para generación de códigos G.

Fuente: (AutoCAD 2012)

En la figura 33, se muestra una pieza diseñada en AutoCAD; los códigos que producirán el dicho patrón serán los que a continuación se detallan:

F100 G1 X 3, 0306 Y 0, 0322

G2 X7, 0306 Y0, 0322 I5, 0306 J0, 0322

G1 X10, 0306 Y0, 0322

G1 X10, 0306 Y3, 0322

G2 X10, 0306 Y7, 0322 I10, 0306 J5, 0322

G1 X10, 0306 Y10, 0322

G1 X7, 0306 Y10, 0322

G2 X3, 0306 Y10, 0322 I5, 0306 J10, 0322

G1 X0, 0306 Y10, 0322

G1 X0, 0306 Y6, 7230

G2 X0, 0306 Y2, 7230 I0, 0306 J4, 7230

G1 X0, 0306 Y0, 0322

En el anexo 4, se encuentran los códigos G que existen.

**M** es la dirección correspondiente a las funciones auxiliares o complementarias. Se usan para indicar a la máquina herramienta que se deben realizar operaciones tales como: parada programada, rotación del husillo a derechas o a izquierdas, cambio de útil, etc.

La dirección **M** va seguida de un número de dos cifras que permite programar hasta 100 funciones auxiliares diferentes, como se muestra a continuación:

- ✓ M0: Provoca una parada incondicional del programa, detiene el husillo y la refrigeración.
- ✓ M2: Indica el fin del programa. Se debe escribir en el último bloque del programa y posibilita la parada del control una vez ejecutadas el resto de las operaciones contenidas en el mismo bloque.
- ✓ M3: Permite programar la rotación del husillo en sentido horario.
- ✓ M4: Permite programar la rotación del husillo en sentido antihorario, etc.

Para este proyecto se empleará las siguientes direcciones de **M**.

M3: Indica que se enciende la flama de la antorcha, se debe escribir en el bloque o línea donde se inicia el corte luego de haberse posicionado en su respectivo punto, es una señal que entrega el programa para que salte el chispazo y se encienda la antorcha del plasma.

M5: Indica que se apague la flama de la antorcha, se coloca en el cuarto bloque o línea de programación, y también cada vez que se termine una acción de corte y este se traslade hacia otro punto, manteniendo apagada la antorcha para no causar algún daño al material que se encuentre trabajando.

M30: Indica el del programa. Se debe escribir en el último bloque o línea conjuntamente con M5 cuando los ejes retornen a su posición inicial, (M5M30).

**F** es la dirección correspondiente a la velocidad de avance. Va seguida de un número de cuatro cifras que indica la velocidad de avance en mm/min.

**S** es la dirección correspondiente a la velocidad de rotación del husillo principal. Se programa directamente en revoluciones por minuto, usando cuatro dígitos.

**I, J, K** son direcciones utilizadas para programar arcos de circunferencia. Cuando la interpolación se realiza en el plano X-Y, se utilizan las direcciones I y J. Análogamente, en el plano X-Z, se utilizan las direcciones I y K, y en el plano Y-Z, las direcciones J y K.

**T** es la dirección correspondiente al número de herramienta. Va seguido de un número de cuatro cifras en el cual los dos primeros indican el número de herramienta y los dos últimos el número de corrección de las mismas. (TECNOEDU, 2008)

En el anexo 5, se encuentran los códigos M existentes.

### **d.3.7 Interfaz.**

Una interfaz define el límite de comunicación entre dos elementos, tales como software, hardware o un usuario. Generalmente se refiere a una abstracción que un elemento provee de sí mismo al exterior.

Esto separa los métodos de comunicación externa de los de operación interna, y le permite ser internamente modificada sin afectar la manera en que los elementos externos interactúan con él, también provee abstracciones múltiples de sí mismo. También puede proveer medios de traducción entre elementos que no hablan el mismo lenguaje, tales como un humano y una computadora.

La interfaz entre un humano y una computadora se llama interfaz de usuario.

Las interfaces entre hardware son interfaces físicas.

La interfaz de software existe entre componentes de software separados y provee un mecanismo programable por el cual estos componentes se pueden comunicar. (GODINEZ, 2009)

### d.3.8 Driver.

Controlar un motor paso a paso unipolar no es cosa difícil, consiste en una secuencia bien controlada de tensiones a las entradas del motor. Un driver actúa como un traductor entre el dispositivo y los programas que utilizan el dispositivo. Cada dispositivo tiene su propio sistema de comandos especializados que solamente conoce su controlador, sin embargo, la mayoría de los programas tienen acceso a los dispositivos usando comandos genéricos. El controlador, por lo tanto, acepta comandos genéricos de un programa y después los traduce a los comandos especializados para el dispositivo.

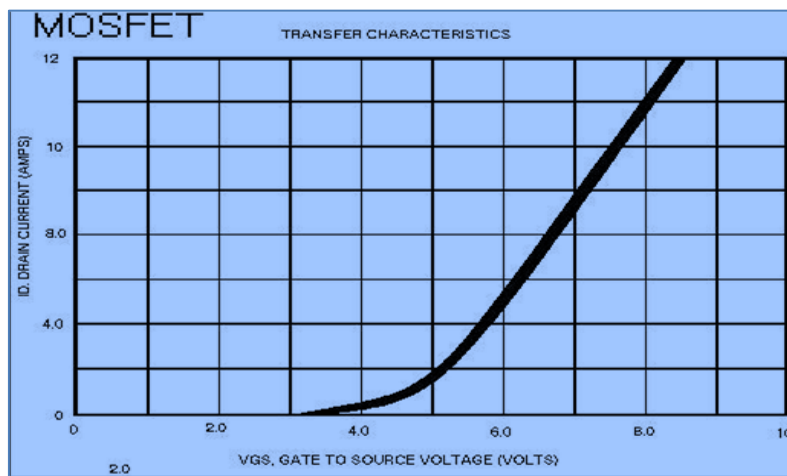


Figura 34. Curva de funcionamiento de un Mosfet.

Fuente: (CARLETTI, 2009)

Controladores para este tipo de motores hay muchos. Casi todos usan un micro controlador para la secuencia de pulsos. Normalmente el mayor reto es **limitar la corriente** que pasa por los bobinados del motor, con objeto de no quemarlo. El método es muy variado. Algunos circuitos limitan la corriente con una resistencia de potencia, lo cual deja poco margen para ajustes, otros hacen uso de la técnica PWM (modulación de ancho de pulso o chopeo que también lo he visto escrito), que consiste en regular la intensidad media modificando la simetría de los pulsos (duty) de conexión / desconexión. Este método es el ideal para motores grandes y con necesidad de exprimir al máximo el torque.

El funcionamiento es sencillo, los costes de fabricación y ajuste bajos, y los componentes, fácilmente intercambiables y localizables.

El método que se usa para regular la corriente que pasa por los motores se basa en variar la tensión de puerta de los transistores de potencia. (**MOSFETs**, en este caso, figura 34). Aquí sólo hay entradas discretas, o la tensión está a cero o está a un valor  $V$ . Del funcionamiento básico de un transistor se deduce que a más tensión en la puerta (o base si es un transistor BJT), más corriente dejará pasar por el motor. Esto es precisamente lo que hace el conjunto de transistores de pequeña señal y el potenciómetro, varían la tensión máxima con la que se excitarán las puertas de los transistores de potencia.

### d.3.9 Tipos de Funcionamiento.

Tabla 5. Secuencias de excitación para un motor paso a paso unipolar

Motor paso a paso UNIPOLAR					Motor paso a paso UNIPOLAR					Motor paso a paso UNIPOLAR				
Secuencia de activación NORMAL					Secuencia de activación WAVEDRIVE					Secuencia de activación HALF-STEP (medio paso)				
Paso	Terminales				Paso	Terminales				Paso	Terminales			
	A	B	C	D		A	B	C	D		A	B	C	D
1	ON	ON	OFF	OFF	1	ON	OFF	OFF	OFF	1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF	2	OFF	ON	OFF	OFF	2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON	3	OFF	OFF	ON	OFF	3	OFF	ON	OFF	OFF
4	ON	OFF	OFF	ON	4	OFF	OFF	OFF	ON	4	OFF	ON	ON	OFF
5	ON	ON	OFF	OFF	5	ON	OFF	OFF	OFF	5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	ON	ON	OFF	6	OFF	ON	OFF	OFF	6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	ON	ON	7	OFF	OFF	ON	OFF	7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON	8	OFF	OFF	OFF	ON	8	ON	OFF	OFF	ON

Fuente: (CARLETTI, 2009)

Hay varias secuencias de excitación para un motor paso a paso unipolar. Las tres más comunes, modo normal, wavedrive y half-step (medio paso), se las describe en la tabla 5.

### d.3.10 Puerto Paralelo.

El puerto paralelo de una computadora es ideal para ser usado como herramienta de control de motores, relés, LED's, etc. El mismo posee un bus de datos de 8 bits (Pin 2 a 9) y muchas señales de control, algunas de salida y otras de entrada que también pueden ser usadas fácilmente. (TODOROBOT, 2000)

Las computadoras generalmente poseen solo uno de estos puertos (LPT1) pero con muy poco dinero se le puede adicionar una tarjeta con un segundo puerto paralelo (LPT2).

En reglas generales la dirección hexadecimal del puerto LPT1 es igual a 0x378 (888 en decimal) y 0x278 (632 en decimal) para el LPT2. Esto se puede verificar fácilmente en el setup de la PC o bien en el cartel que generalmente la PC muestra en el momento del booteo. Puede darse el caso que el LPT1 asuma la dirección 0x3BC (956 en decimal) y el LPT2 0x378, en ese caso habrá que tratar de corregir el setup y/o los jumper de las tarjetas en caso que sea posible. De lo contrario se puede modificar el software que veremos más adelante para aceptar esas direcciones. . Las líneas de comunicación cuentan con un retenedor que mantiene el último valor que les fue escrito hasta que se escribe un nuevo dato, las características eléctricas son:

- ✓ Tensión de nivel alto: 3,3 o 5 V.
- ✓ Tensión de nivel bajo: 0 V.
- ✓ Intensidad de salida máxima: 2,6 mA.
- ✓ Intensidad de entrada máxima: 24 mA.

#### **d.3.10.1 Breve descripción del puerto paralelo.**

El puerto paralelo de un PC posee un conector de salida del tipo DB25 hembra cuyo diagrama y señales utilizadas podemos observar en la figura 35.

Si deseamos escribir un dato en el bus de salida de datos (pin 2 a 9) solo debemos escribir el byte correspondiente en la dirección hexadecimal 0X378 (888 en decimal) cuando trabajamos con el LPT1 y 0x278 (632 en decimal) cuando trabajamos con el LPT2. Los distintos pins (bits) de salida correspondientes al bus de datos no pueden ser escritos en forma independiente, por lo que siempre que se desee modificar uno se deberán escribir los ocho bits nuevamente.



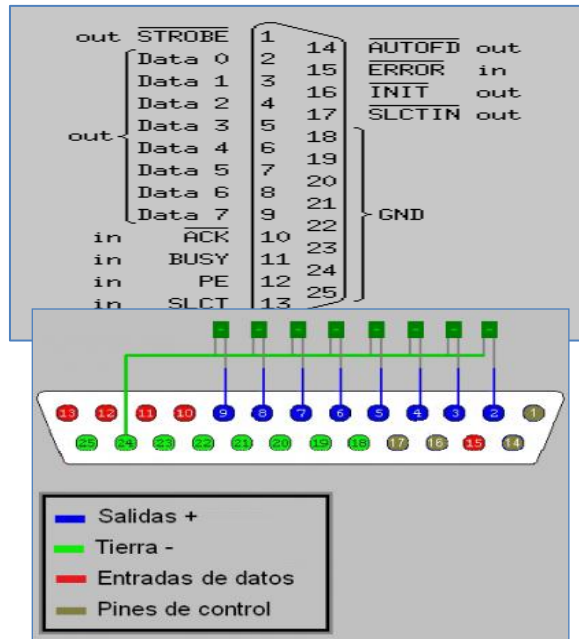


Figura 35. Diagrama de pines de entradas y salidas de un puerto paralelo.

Fuente: (TODOROBOT, 2000)

Para leer el estado de los pins de entrada (10, 12, 13 y 15) se debe realizar una lectura a la dirección hexadecimal 0x379 (889 en decimal) si trabajamos con el LPT1 o bien leer la dirección 0x279 (633 en decimal) si trabajamos con el LPT2. La lectura será devuelta en un byte en donde el bit 6 corresponde al pin 10, el bit 5 corresponde al pin 12, el bit 4 corresponde al pin 13 y el bit 3 corresponde al pin 15. (TODOROBOT, 2000)

En la tabla 6 se puede ver lo antedicho en una forma más gráfica:

Tabla 6. Escritura: Salida de datos, Lectura: Entrada de datos

Escritura: Salida de Datos								
Escritura en dirección 0x378 (LPT1) o 0x278 (LPT2)								
DATO	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
DB25	Pin 9	Pin 8	Pin 7	Pin 6	Pin 5	Pin 4	Pin 3	Pin 2
CN5	TTL 7	TTL 6	TTL 5	TTL 4	TTL 3	TTL 2	TTL 1	TTL 0
CN4	No usar	HP 6	HP 5	HP 4	HP 3	HP 2	HP 1	HP 0
Lectura: Entrada de Datos								
Lectura en dirección 0x379 (LPT1) o 0x279 (LPT2)								
DATO	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0

<b>DB 25</b>	No usar	Pin 10	Pin 12	Pin 13	Pin 15	No usar	No usar	No usar
<b>CN6</b>	No usar	Input 3	Input 2	Input 1	Input 0	No usar	No usar	No usar

Fuente: (TODOROBOT, 2000)

### **d.3.11 Software de Control para Máquinas CNC.**

Para controlar del sistema automático de corte por plasma, se requiere de un software de control, el mismo que debe vincularse con las tarjetas controladoras de forma adecuada; es por esta razón que en lugar de diseñar un software propio con algún lenguaje de programación, se optó por utilizar un programa existente en el internet, que además de ser gratuito (versión estudiantil) es compatible con las tarjetas de control ya seleccionadas, lo cual es más que suficiente para nuestro propósito ya que permite el control adecuado de los movimientos y encendido de la antorcha. A continuación se cita algunos softwares empleados en máquinas CNC. (CASTELL, 2007)

- ✓ Mach
- ✓ LazyCam (BETA)
- ✓ Quantum
- ✓ KCAM 4
- ✓ Torchmate III

## **e.- MATERIALES Y MÉTODOS**

### **e.1 Materiales.**

Los materiales para el desarrollo de cada una de las etapas del proceso investigativo, están especificados a continuación.

#### ✓ **Materiales de oficina.**

- Computadora.
- Calculadora.
- Impresora.
- Hojas de papel bond.
- Bolígrafos.

#### ✓ **Material tecnológico.**

- Software:
  - ❖ Microsoft Word.
  - ❖ Microsoft Excel.
  - ❖ Power Point.
  - ❖ Auto Cad.
  - ❖ Mach3 (CNC SOFTWARE CONTROLLER)

El software Mach3 es una aplicación informática para el control de la Máquina CNC a través de ordenador, sin necesidad de dispositivo DSP (Procesador digital de señal).

Tiene las siguientes características:

- ✓ Convierte una pc estándar en un completo y destacado controlador CNC.
- ✓ Controla el posicionamiento hasta 6 ejes.
- ✓ Permite la importación directa de dxf, bmp, jpg y archivos hpgl.
- ✓ Genera g - los códigos.
- ✓ Visual g - código de pantalla.
- ✓ Velocidad del eje de control.
- ✓ Múltiples de relé de control.
- ✓ Manual de generación de pulso.
- ✓ Incluye múltiples asistentes.

Además, este sistema es uno de los controles más versátiles de la industria. Este controlador es completamente compatible con la mayoría de los sistemas CAD-CAM y máquinas en el mercado.

Para correr Mach3 se necesita Windows XP (o Windows 2000) idealmente corriendo en un procesador de 1GHz con una resolución de pantalla de 1024 x 768 pixels. Se puede usar, por supuesto, esta computadora para cualquier otra función en el taller cuando no es necesaria su máquina CNC.

Mach3 se comunica principalmente por uno u opcionalmente dos puertos paralelos (de impresora) y, si lo desea por un puerto serial (COM).

Los Drives de los motores de los ejes de su máquina deben aceptar una señal de pulsos de paso y de dirección. Virtualmente todos los Drives de motores de paso a paso trabajan así, como lo hacen los modernos sistemas de motores servo DC y AC con codificadores digitales.

## ***e.2 Métodos***

Con ayuda del método analítico, se pudo investigar diseños y sistemas relacionados con el presente proyecto de tesis, permitiendo describir y distinguir sus partes constitutivas y sus respectivas funciones, para de esta forma tener un conocimiento claro y conciso de cómo está compuesto un sistema automático de corte por plasma.

Una vez analizado los diversos componentes del sistema automático de corte por plasma, se hace uso de la síntesis de información para lograr una fuente de consulta compacta para la parte de diseño del nuevo sistema, esto se lo realiza utilizando el Método sintético.

A través del Método experimental, se pudo obtener información referente al funcionamiento del equipo y su posterior evaluación, funcionamiento y rendimiento.

Por el método inductivo, fue posible analizar el funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema basado en sus principios funcionales básicos.

Método deductivo se utilizó para el dimensionamiento, diseño y selección de los diferentes componentes ya que se partió desde nociones generales del posible funcionamiento, hasta llegar a cada una de las partes que conformarán al sistema.

El proceso metodológico del proyecto se desarrolló partiendo desde la interrogante: ¿cuáles son las unidades de análisis más importantes?, las mismas que resumimos a continuación.

- ✓ Sistemas de corte.
- ✓ Corte por plasma.
- ✓ Sistemas de corte CNC.
- ✓ Mesas de trabajo de sistemas CNC.
- ✓ Sistemas de transmisión rotacional a lineal.
- ✓ Accionamiento para máquinas CNC.
- ✓ Herramientas CAD, CAM

Luego se determinó cuáles son los problemas posibles de la investigación, los cuales se resumen en la siguiente lista.

- ✓ Falta de conocimientos sobre el funcionamiento de máquinas-herramientas accionadas por CNC y su repercusión en el sector industrial de la región sur del país.
- ✓ Esporádica información teórica y técnica acerca de características de funcionamiento de máquinas de corte por arco de plasma accionadas por Control Numérico
- ✓ Escasos conocimientos en cuanto al diseño de la estructura y la aplicación de elementos que constituyen el sistema mecánico de movimiento.
- ✓ Carencia de conocimiento en lo referente a la construcción y programación de circuitos electrónicos para accionamiento de mecanismos.
- ✓ Complejidad en el manejo del software empleado por la máquina (CNC) para el proceso de corte.
- ✓ Falta de información manejable en lo que concierne a la selección de los parámetros que influyen en el corte de la lámina de metal de una máquina de experimentación construida.

Conocidas las unidades de análisis y los posibles problemas, se trabajó sistemáticamente con la siguiente metodología:

- ✓ Revisión general del estado del arte sobre sistemas de mecanizado CNC.
- ✓ Organización de la información adquirida.
- ✓ Análisis de requerimiento del equipo.
- ✓ Deducción de cuál es el sistema adecuado para el proceso de corte por plasma CNC.
- ✓ Esquematación y caracterización de todos los componentes del sistema basado en requerimientos y sistemas preestablecidos.
- ✓ Dimensionamiento de los componentes.
- ✓ Búsqueda de componentes y adquisición de los mismos.
- ✓ Planificación de ensamblaje del equipo.
- ✓ Pruebas funcionales.
- ✓ Análisis general de posibles fallas existentes en el sistema instalado.
- ✓ Planificación de prácticas de corte aplicadas a diversos procesos.
- ✓ Análisis operacional y de rendimiento del equipo.
- ✓ Caracterización general del nuevo sistema.
- ✓ Socialización de los resultados obtenidos.

El proceso metodológico detallado anteriormente está basado en los métodos científicos de orden teórico práctico, como la observación sistemática; mediante medición, entrevista, deducción, análisis y síntesis entre otros, esto debido a los múltiples campos que implica el presente estudio.

## **f.- RESULTADOS.**

### **f.1 DISEÑO MECÁNICO.**

#### **f.1.1 Diseño de la Mesa de Trabajo.**

La mesa que utilizaremos será del tipo mesa de corte de alta precisión, observando principalmente el tamaño y la necesidad de desplazamiento en los tres ejes x, y, z, para obtener así las medidas de desplazamiento de la máquina.

Por otro lado, el grupo de investigación propone un área de mesa suficiente para realizar prácticas didácticas logrando figuras de tamaño considerable, por ello y por factores económicos se establece un espacio útil equivalente a la octava parte (1/8) de una plancha de told comercial, la cual en su totalidad tiene una medida de 122x244 cm, entonces las dimensiones del retazo planteado serán 61x61cm.

Con las dimensiones de la parte útil de corte, se plantea de forma tentativa las medidas de los recorridos de los carros en los diversos ejes.

- ✓ Recorrido longitudinal (Eje X) = 700mm.
- ✓ Recorrido transversal (Eje Y) = 700mm.
- ✓ Recorrido vertical (Eje Z) = 80mm.

Cabe mencionar que en el caso del recorrido vertical no es necesaria una mayor distancia, puesto que solo se limita a la profundidad del corte (máximo 12mm) y recambio de boquillas, cuando el caso lo requiera.

De lo anterior se estima la superficie útil de la mesa, siendo esta igual a:

$$S = X \times Y = 700mm \times 700mm = 490\,000mm^2 \quad (1)$$

$$S = 0,49m^2$$

Para seleccionar el material de la estructura, nos basaremos en que el mismo debe tener características de robustez, bajo peso, de fácil soldabilidad y mecanizado. De lo

mencionado se considera el uso de *tubo estructural cuadrado Tipo ASTM A36K*, esto por razones de disponibilidad y costo.

El Tubo seleccionado tiene las siguientes características mecánicas:

- ✓ El punto mínimo de deformación es de 36 000 PSI (248 MPa).
- ✓ Es en extremo dúctil.
- ✓ Es un acero al carbono, de bajo contenido.
- ✓ Es rolado en frío.
- ✓ Disponible en el mercado en forma de tubo estructural cuadrado en dimensión  $\geq 2''$ .

La estructura soporta únicamente el peso de los carros de desplazamiento y el material a cortar, ya que en este proceso no se generan fuerzas adicionales por fricción o corte de viruta, como es el caso del frezado y torneado.

### **f.1.2 Dimensionamiento de las Guías de Movimiento en los tres Ejes.**

Para asegurar el desplazamiento de los diversos elementos de la máquina y evitar movimientos no deseados en ellos (como vibraciones, pandeos, etc.), se hace necesario el uso de barras guías, las cuales cumplan la función de soportar cargas y esfuerzos adicionales producidos principalmente por las masas en movimiento. De acuerdo a esto existirán dos guías paralelas en cada eje de movimiento, las mismas que serán de sección circular y cuyo diámetro se determinará de acuerdo a la consideración de dos criterios; el primero basado en el esfuerzo a la tracción y/o compresión producido por el máximo momento flector y el segundo que es de orden verificativo mediante la comprobación de la deformación máxima existente (flecha).

Nos basamos en esquemas y dimensiones representativas de la máquina para hacer referencia a las diversas condiciones de las masas en movimiento y con ello se analiza los esfuerzos que se producen en los cuerpos de soporte. (Para mayor detalle de las dimensiones, revisar anexo 13 planos mecánicos del equipo).

También cabe señalar que en el caso de las guías de movimiento en el eje Z, se preseleccionó como material, eje de acero de transmisión 10-18 (AISI 10-45), por un tramo de recorrido relativamente corto (aproximadamente 22cm) y en el caso de las guías para los dos ejes restantes X e Y se preseleccionó eje de transmisión 705 (AISI



41-40), siendo este último el más adecuado por tratarse de guías de mayor longitud y con cargas mayores.

### f.1.2.1 Guías para el desplazamiento en el eje Z.

Este desplazamiento consiste en trasladar de forma vertical el porta herramientas con la respectiva pistola de corte.

El siguiente esquema (figura 41), muestra las generalidades de los elementos en movimiento en este eje.

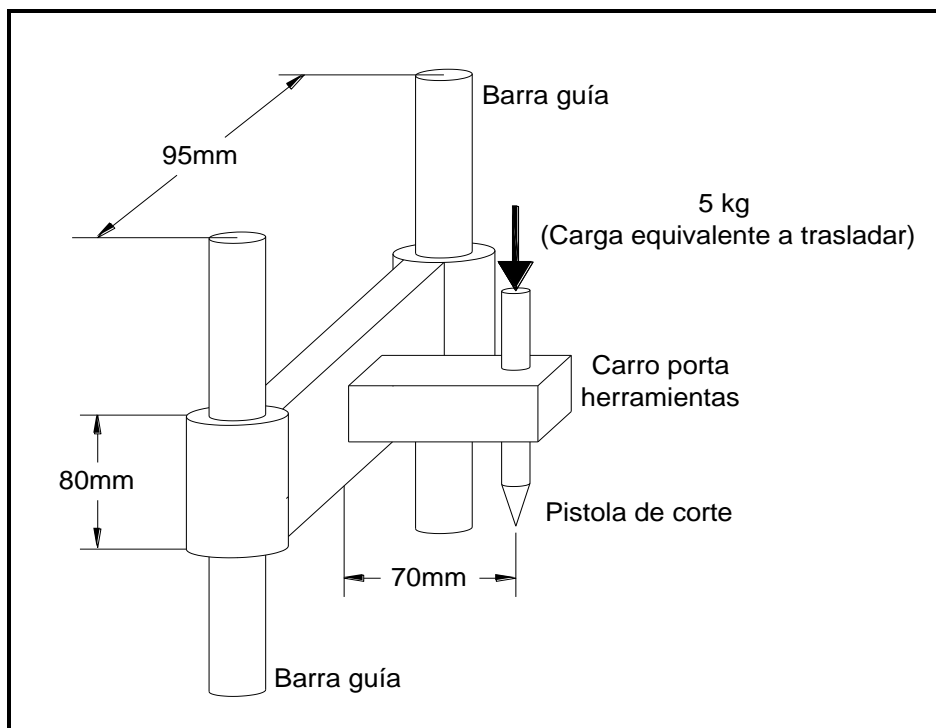


Figura 41. Esquema general de los elementos del carro del eje Z.

Fuente: Los Autores.

Para el dimensionamiento de las guías en este eje, tomamos las siguientes consideraciones adicionales:

- ✓ Las barras guías soportan principalmente los esfuerzos producidos por las reacciones del peso de la pistola de corte y el porta herramientas, que en este caso particular hemos tomado un valor equivalente a 5 kg.

- ✓ En el caso de la deformación de las guías (flecha), se estima un valor máximo de 1/300 de la longitud total de las mismas, en caso de ser mayor, se hará un recálculo del diámetro.

El porta herramientas está ubicado en el centro de las guías, lo que quiere decir que la carga se distribuye de forma uniforme hacia los dos lados, siendo las reacciones iguales en cada caso.

A continuación se representa un diagrama de cuerpo libre (figura 42), en donde se analizan las reacciones en una sola guía, ya que para la guía restante las reacciones serán iguales.

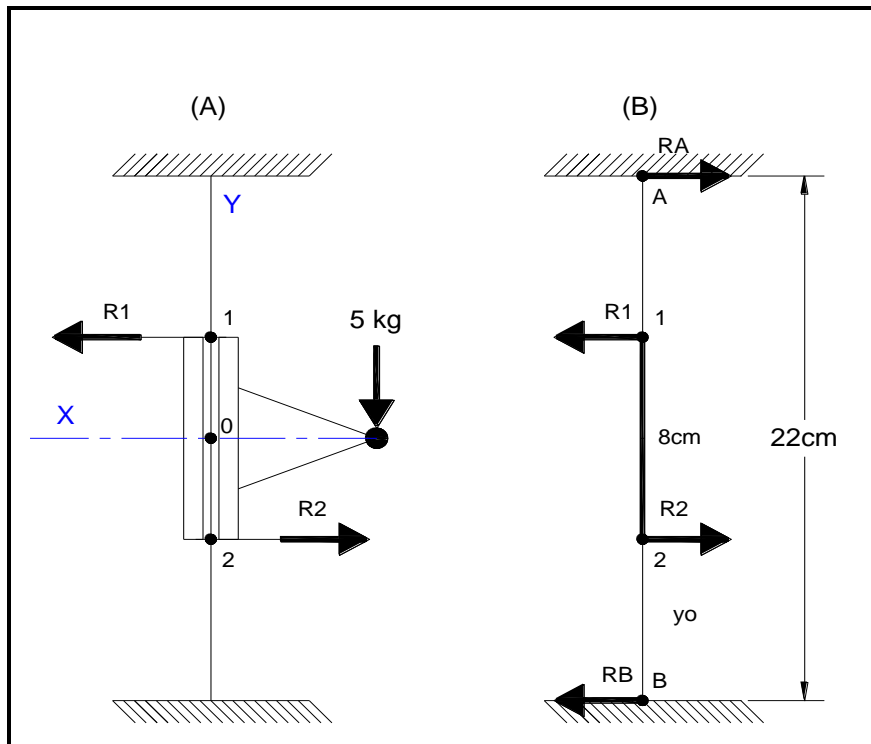


Figura 42. Diagrama representativo de cuerpo libre del carro del eje Z (en una sola guía).

Fuente: Los Autores.

Aplicando las ecuaciones de la estática para el esquema (A), se obtiene:

$$\sum FX = 0 \quad (2)$$

$$\sum FX = 0 \rightarrow R2 - R1 = 0$$

$$R2 = R1 \quad (3)$$

$$\sum Mom_o F = 0 \quad (4)$$

$$\sum Mom_o F = 0 \rightarrow \frac{5kg}{2} \times 7cm - R1 \times 4cm - R2 \times 4cm = 0$$

$$R1 \times 4cm + R2 \times 4cm = \frac{5kg \times 7cm}{2}$$

$$R1 + R2 = 4,375kg = 42,875 N \quad (5)$$

Remplazando la ecuación 3, en la 4, se tiene:

$$2R1 = 42,875N \rightarrow R1 = R2 = 21,4375 N$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene que las reacciones 1 y 2 son iguales.

En el caso de la figura 42B y aplicando la ecuación 4 tenemos:

$$\sum FX = 0 \rightarrow RA - R1 + R2 - RB = 0 \quad (2)$$

Como:

$$R2 = R1 = 21,4375 N$$

Se tiene:

$$RA - RB = 0 \quad (6)$$

Respecto a la sumatoria de momentos en cualquier punto a lo largo de la guía y aplicando la ecuación 4 se obtiene:

$$\sum Mom_B F = 0 \rightarrow RA \times 22 - R1 \times (yo + 8) + R2 \times (yo) = 0 \quad (4)$$

$$22RA - 8R1 - (yo)R1 + (yo)R2 = 0$$

Como:

$$R2 = R1 = 21,4375 N$$

Se tiene:

$$22RA - 8R1 = 0$$

$$RA = \frac{8}{22}R1 \rightarrow RA = RB = 7,7954N$$

Las reacciones R1 y R2 se pueden representar como un par de fuerzas o momento (ver figura 42B) y la guía se puede comparar (por motivo de análisis) como una viga. Con estas consideraciones adicionales se establece el máximo momento flector en la guía y

consecuentemente el esfuerzo máximo de tracción y/o compresión, para la posterior selección del diámetro adecuado.

Para poder realizar lo mencionado nos basamos en las características mecánicas del eje AISI 1045, (tabla 7) en donde se muestra las características del material de las guías.

Tabla 7.- Características mecánicas del eje AISI 1045.

MATERIAL	ESTADO	MÁXIMA RESISTENCIA				RESISTENCIA DE FLUENCIA EN TRACCIÓN		ALARGAMIENTO	REDUCCIÓN DE ÁREA.	NDB	ROCK	MAQUINABILIDAD	ALGUNOS USOS TÍPICOS
		Su		Sy(d)		Sy							
N.- AISI	(c)	Kg/cm <sup>2</sup>	Ksi	Kg/cm <sup>2</sup>	Ksi	Kg/cm <sup>2</sup>	Ksi						Observaciones
C1045	Laminado simple	6749	96	5062	72	4148	59	22	45	215	B96	51	Piezas grandes de máquinas, pueden ser tratadas térmicamente, ejes grandes.

Fuente: (FAIRES, 1985)

También se hace al diagrama representativo de análisis (en una sola guía), figura 43 y las ecuaciones de resolución para esquema representativo en estudio, ver en la tabla 8. (PISARENKO; et al, 1979)

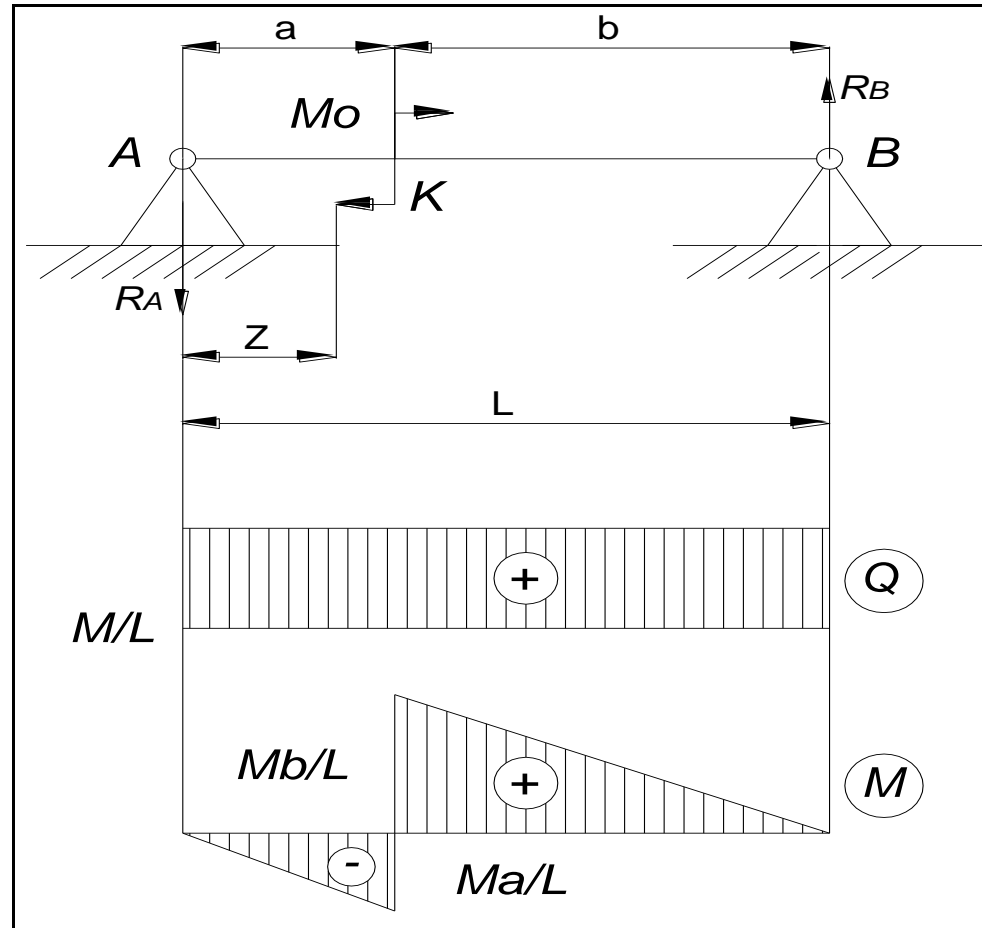


Figura 43. Diagrama representativo de análisis (en una sola guía).

Fuente: (PISARENKO; et al, 1979)

Tabla 8- Ecuaciones de resolución para esquema representativo en estudio.

<b>Reacciones de apoyo</b>	<b>Fuerza Cortante (Q)</b>	<b>Momento Flector (M)</b>	<b>Coordenada de la sección peligrosa <math>Z_o</math> y momento máximo <math>M_{max}</math></b>	<b>Deflexión en cualquier punto a lo largo de la viga</b>
$R_A = R_B$ $= \frac{M_o}{L}$	$0 \leq z \leq L$ $Q = -\frac{M_o}{L}$	$0 \leq z \leq a$ $M = -\frac{M_o}{L} \times z$  $a \leq z \leq L$ $M = -\frac{M_o}{L} \times (L - z)$	<b>1) <math>a &lt; \frac{L}{2}</math></b> $z_o = a$ $M_{m\acute{a}x} = M_o \left( \frac{L-a}{L} \right)$  <b>2) <math>a &gt; \frac{L}{2}</math></b> $z_o = a$ $M_{m\acute{a}x} = -M_o \left( \frac{a}{L} \right)$	<b>Para <math>z = a</math></b>  $\delta = \frac{M_o \times l^2}{3EI} \left( 3 \frac{a^2}{l^2} - \frac{a}{l} - 2 \frac{a^3}{l^3} \right)$

Fuente: (PISARENKO; et al, 1979)

De acuerdo a la gráfica de ecuaciones de análisis de una viga con un par o momento como carga, se observa que:

$$RA = RB = \frac{Mo}{L} \quad (7)$$

De donde:

$$Mo = 4 \text{ cm}(R1 + R2) = 0,04 \text{ m}(42,875 \text{ N}) = 1,715 \text{ Nm}$$

Quedando:

$$RA = RB = \frac{1,715 \text{ Nm}}{0,22 \text{ m}} = 7,7954 \text{ N}$$

Lo que fue demostrado anteriormente.

El máximo momento flector tiene dos ecuaciones (tablas 9, 10), las que son analizadas a continuación:

- ✓ Cuando  $a = < \frac{l}{2}$ , desde 0 hasta 0,105 m.

$$Mom_{max} = Mo \times \frac{l-a}{l} \quad (8)$$

Tabla 9. Momentos máximos producidos a lo largo de la guía ( $a < l/2$ ).

<b>Mo</b> (Nm)	<b>L</b> (m)	<b>a</b> (m)	<b>M max</b> (Nm)
1,715	0,22	0	1,715
1,715	0,22	0,01	1,637045
1,715	0,22	0,02	1,559091
1,715	0,22	0,03	1,481136
1,715	0,22	0,04	1,403182
1,715	0,22	0,05	1,325227
1,715	0,22	0,06	1,247273
1,715	0,22	0,07	1,169318
1,715	0,22	0,08	1,091364
1,715	0,22	0,09	1,013409
1,715	0,22	0,1	1,935455
1,715	0,22	0,105	0,896477

Fuente: Los Autores.

- ✓ Cuando  $a = > \frac{l}{2}$ , desde 0,115 hasta 0,22 m.

$$Mom_{max} = -Mo \times \frac{a}{l} \quad (9)$$



Tabla 10. Momentos máximos producidos a lo largo de la guía ( $a > l/2$ ).

<b><math>M_0</math></b> (Nm)	<b><math>L</math></b> (m)	<b><math>a</math></b> (m)	<b><math>M_{max}</math></b> (Nm)
1, 715	0, 22	0, 115	- 0, 896 477
1, 715	0, 22	0, 120	- 0, 935 455
1, 715	0, 22	0, 130	- 1, 013 409
1, 715	0, 22	0, 140	- 1, 091 364
1, 715	0, 22	0, 150	- 1, 169 318
1, 715	0, 22	0, 160	- 1, 247 273
1, 715	0, 22	0, 170	- 1, 325 227
1, 715	0, 22	0, 180	- 1, 403 182
1, 715	0, 22	0, 190	- 1, 481 136
1, 715	0, 22	0, 200	- 1, 559 091
1, 715	0, 22	0, 210	- 1, 637 045
1, 715	0, 22	0, 220	- 1, 715

Fuente: Los Autores.

Con los resultados obtenidos se grafica el diagrama de momentos producidos.

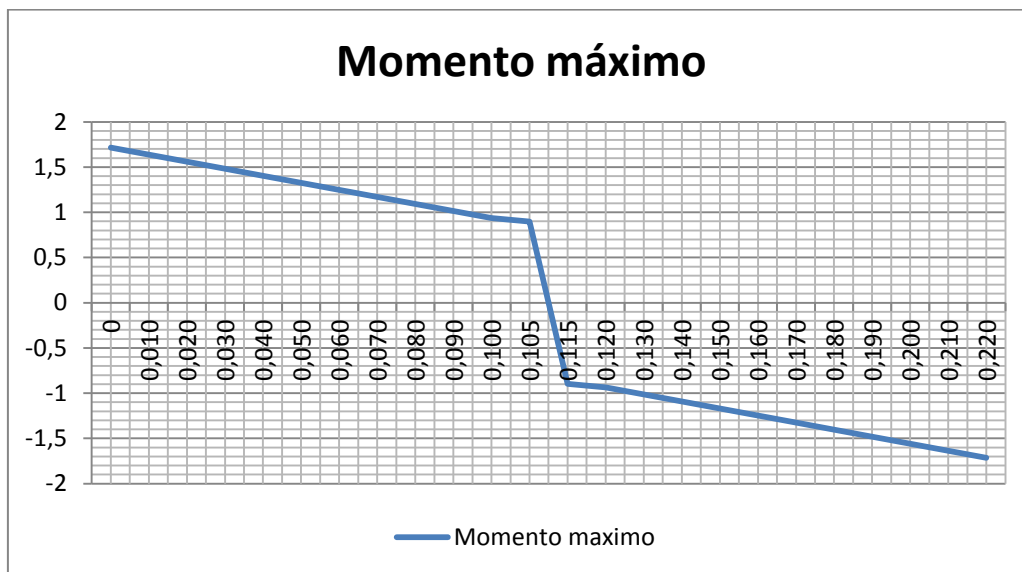


Figura 44. Distribución de momentos flectores a lo largo de cada guía.

Fuente: Los Autores.

Como se puede observar en la figura 44 el momento máximo tiene un valor de 1, 715 Nm.

El esfuerzo normal debido a la flexión, producido en cualquier punto de la guía es igual a:

$$\sigma_t = \frac{M_{max} \cdot C}{I} \quad (10)$$

Siendo:

$C$  = Punto más alejado de la guía al plano neutro. Para un eje circular el radio  $\left(\frac{\phi}{2}\right)$

(11)

$$I = \text{Momento de inercia del eje } I = \frac{\pi \phi^4}{64} \quad (12)$$

Para hallar el diámetro de la guía, el esfuerzo normal  $\sigma_t$  tiene que ser menor o igual al esfuerzo de diseño  $\sigma_s$ .

En este caso el esfuerzo de diseño es igual a:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_y}{\mu_s} \quad (13)$$

$\sigma_y = 4148 \text{ kg/cm}^2$ . Esfuerzo a la fluencia para el acero 10-18 (AISI 1045)

$\mu_s$  = Coeficiente de seguridad del diseño, igual a 4.

$$\sigma_s = \frac{406\,504\,000 \frac{N}{m^2}}{4} = 101\,626\,000 \frac{N}{m^2}$$

Con lo anterior determinamos el diámetro necesario, aplicando ecuación 10:

$$\sigma_t = \frac{M_{max} \cdot C}{I} \leq \sigma_s \quad (10)$$

$$\sigma_s \geq \frac{M_{max} \cdot \phi}{2I} = \frac{1,715 \text{ Nm} \cdot \phi}{2 \cdot \frac{\pi \phi^4}{64}} = \frac{54,88 \text{ Nm}}{\pi \times \phi^3}$$

$$\phi^3 = \frac{54,88 \text{ Nm}}{\pi \times \sigma_s} \rightarrow \phi = \sqrt[3]{\frac{54,88 \text{ Nm}}{\pi \times \sigma_s}}$$

$$\phi = 5,56 \times 10^{-3} \text{ m} = 5,56 \text{ mm}$$

Por razones de seguridad en el diseño, se comprueba la flecha producida por el momento flector en la guía. La ecuación que define el cambio de la flecha de acuerdo a su posición es:

$$f = \frac{M_o \times L^2}{3 \cdot E \cdot I} \cdot \left( 3 \cdot \frac{a^2}{L^2} - \frac{a}{L} - 2 \cdot \frac{a^3}{L^3} \right) \quad (14)$$

Dónde:

$f$  = Flecha parcial producida.

$E$  = Módulo de elasticidad para el acero ( $2,1 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>).

$M_o$  = Momento aplicado en la guía (1, 715 Nm).

$L$  = Longitud total de la barra guía (0, 22 m).

$a$  = Posición parcial del porta herramienta sobre la barra guía.

Se realiza el análisis de la flecha cuando el carro empieza a trasladarse desde una esquina hacia la otra, obteniendo la siguiente base de datos, (tabla 11):

*Tabla 11- Deflexión producida a lo largo de la guía ( $0 \leq a \leq L$ ).*

<b><math>a</math></b>	<b><math>F</math></b>
<b>(m)</b>	<b>(mm)</b>
0	0
0,01	- 0,057 280 517
0,02	- 0,098 195 173
0,03	- 0,124 380 552
0,04	- 0,137 473 242
0,05	- 0,139 109 828
0,06	- 0,130 926 897
0,07	- 0,114 561 035
0,08	- 0,091 648 828
0,09	- 0,063 826 862
0,1	- 0,032 731 724
0,11	0
0,12	0,032 731 724
0,13	0,063 826 862
0,14	0,091 648 828
0,15	0,114 561 035
0,16	0,130 926 897
0,17	0,139 109 828
0,18	0,137 473 242
0,19	0,124 380 552
0,2	0,098 195 173
0,21	0,057 280 517
0,22	0

Fuente: Los Autores.

La siguiente gráfica (figura 45), muestra la variación de la flecha descrita en la tabla anterior:

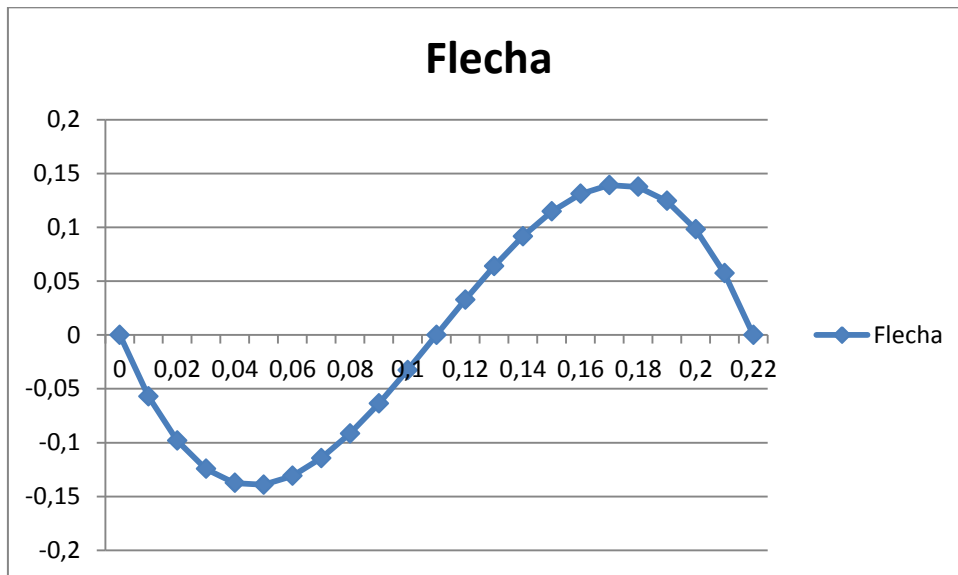


Figura 62. Deflexión producida a lo largo de la guía ( $0 \leq a \leq L$ ).

Fuente: Los Autores.

La tabla 11 y figura 45, detallan una flecha máxima aproximada a 0,15 mm.

Según las condiciones iniciales, la flecha no debe ser mayor a  $1/300L$ , lo cual es igual a:

$$f_{max} = \frac{0,22m}{300} = 7,33 \times 10^{-4}m = 0,733 \text{ mm} \quad (14)$$

Como se puede observar, el diámetro de las guías calculado satisface las condiciones de diseño propuestas. Pero cabe señalar que en el mercado local el diámetro mínimo de eje de transmisión 10-18 (AISI 1045) es el de 12,7mm por lo que, para el montaje se optará por este diámetro.

### f.1.2.2 Guías para el desplazamiento en el eje X.

El desplazamiento en el eje X, consiste en trasladar de forma horizontal el porta herramientas con la respectiva pistola de corte, además el carro de desplazamiento vertical (eje Z) y el par de motores que accionan los respectivos movimientos. Para el

dimensionamiento de las guías en este eje, al igual que en el caso anterior, tomamos las siguientes consideraciones iniciales:

- ✓ Las barras guías sufren principalmente los esfuerzos producidos por el peso de todas las masas soportadas (pistola de corte, porta herramientas, motores, carro de traslado del eje y barras guías de movimiento del eje Z, etc.). En este caso particular se tomará la sumatoria de las masas y el centro de fuerzas de todas ellas como punto principal de análisis.
- ✓ Los extremos de las guías se encuentran empotrados, ya que en realidad se sujetarán a la estructura general, sin permitirse movimiento alguno.
- ✓ En el caso de la deformación de las guías (flecha), se estima un valor máximo de  $1/300$  de la longitud total de las mismas, en caso de ser mayor, se hará un recalcu del diámetro.
- ✓ La longitud aproximada de las guías es de 80 cm.
- ✓ Este sistema, al igual que al anterior contará con dos guías paralelas.

Los siguientes esquemas (figura 46 y 47), muestran las generalidades de los elementos en movimiento en este eje; en la primera se detallan las partes más importantes con sus respectivas masas y en la segunda se pueden observar las distancias con referencia al centro de las barras guías en estudio.

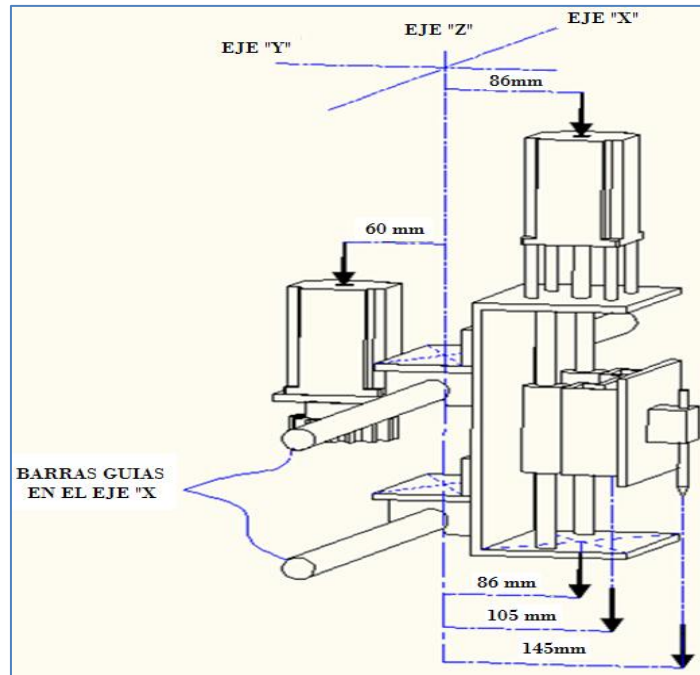


Figura 46. Masas de las partes consideradas para el análisis de barras guías del eje X.

Fuente: Los Autores.

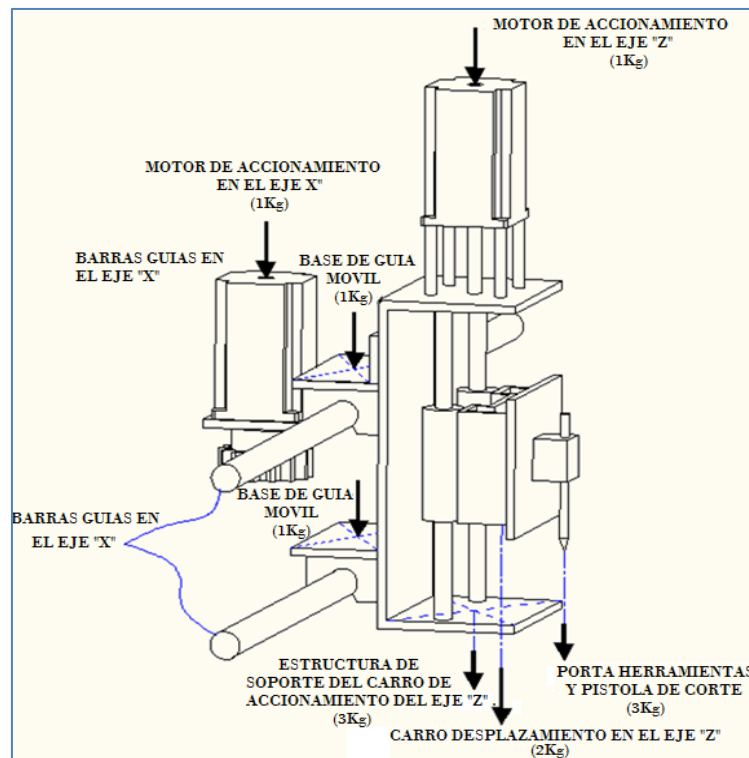


Figura 47. Distancias relativas desde el centro de las guías hasta las partes consideradas para el análisis de barras guías del eje X.

Fuente: Los Autores.

El carro de movimiento en el eje Z y su estructura de soporte, se ubicarán en lo posible equidistantes a las guías del eje X, lo que quiere decir que las cargas se distribuirán de acuerdo al momento que se genera por la carga resultante y su posición, la cual será calculada a continuación:

$$\hat{z} = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \times z_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i)} \quad (15)$$

$$\hat{z} = \frac{(3kg \times 0.145m) + (2kg \times 0.105m) + (3kg \times 0.086m) + (1kg \times 0.086m) + (1kg \times -0.06m) + (2kg \times 0m)}{(3kg + 2kg + 3kg + 1kg + 1kg + 1kg)}$$

$$\hat{z} = \frac{0,0929kg \cdot m}{12kg} = 0,0774m$$

Este valor será entonces, la distancia equivalente en la cual se concentra toda la masa. El esquema siguiente (figura 48), muestra lo mencionado, en conjunto con un diagrama de cuerpo libre en donde se analizan las reacciones en las guías.

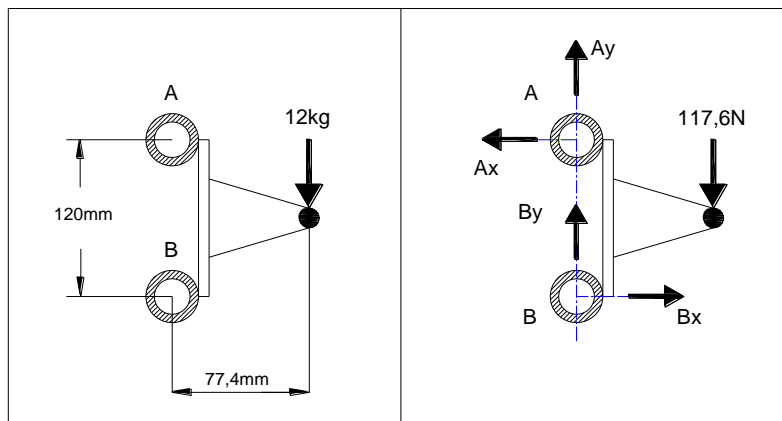


Figura 48. Esquemas representativos de las cargas y cuerpo libre en la guías de desplazamiento en el eje X.

Fuente: Los Autores.

A continuación se determinan las reacciones mostradas en los esquemas. Se utiliza la ecuación 2.

$$\sum FX = 0 \rightarrow Bx - Ax = 0 \quad (2)$$

$$Bx = Ax \quad (16)$$

$$\sum Mom_B F = 0 \rightarrow 117,6 N \times 7,74 cm - Ax \times 12 cm = 0$$

$$910,224N - 12Ax = 0$$

$$Ax = 75,852 N$$

Aplicando el valor en la ecuación 16 tenemos:

$$Bx = 75,852 \text{ N}$$

El peso es soportado por las dos barras, lo que quiere decir es que su valor se divide entre  $A_y$  y  $B_y$ , siendo estas iguales, para demostrar esto se utiliza las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned} \sum FY = 0 \rightarrow Ay + By - 117,6 \text{ N} &= 0 \\ Ay + By &= 117,6 \text{ N} \end{aligned} \quad (17)$$

$A_y$  es una componente de la reacción  $A$  la cual forma un ángulo  $\varphi$  con la componente  $A_x$ , el diagrama siguiente (figura 49), muestra lo mencionado:

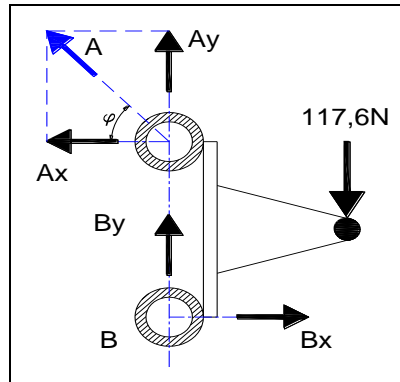


Figura 49. Fuerza resultante y componentes en la guías de desplazamiento en el eje X.

Fuente: Los Autores.

De acuerdo a eso se obtiene:

$$\begin{aligned} Bx - A \cos(\varphi) &= 0 \rightarrow A \cos(\varphi) = Bx \\ A &= \frac{Bx}{\cos(\varphi)} \end{aligned} \quad (18)$$

Como:

$$Ay = A \sin(\varphi) = \frac{Bx}{\cos(\varphi)} \sin(\varphi) \quad (19)$$

$$Ay = Bx \tan(\varphi) = 75,852 \text{ N} \cdot \tan(\varphi)$$

y

$$\tan(\varphi) = \frac{6}{7,74} = 0,7752$$

$$Ay = 75,852 \text{ N} \cdot (0,7752)$$

$$Ay = 58,8 \text{ N}$$



Remplazando en la ecuación 17, tenemos:

$$By = 117,6 N - 58,8 N$$

$$By = 117,6 N - 58,8 N$$

$$By = 58,8 N$$

Quedando demostrado que las reacciones son iguales.

Las reacciones calculadas son iguales y con las componentes de las mismas se pueden representar por una sola carga en cada barra, la cual es igual a:

$$A = B = \sqrt{Ax^2 + Ay^2} = \sqrt{(75,852 N)^2 + (58,8 N)^2} \quad (20)$$

$$A = B = 95,973 N$$

La carga antes calculada se representa de la forma siguiente, (figura 50):

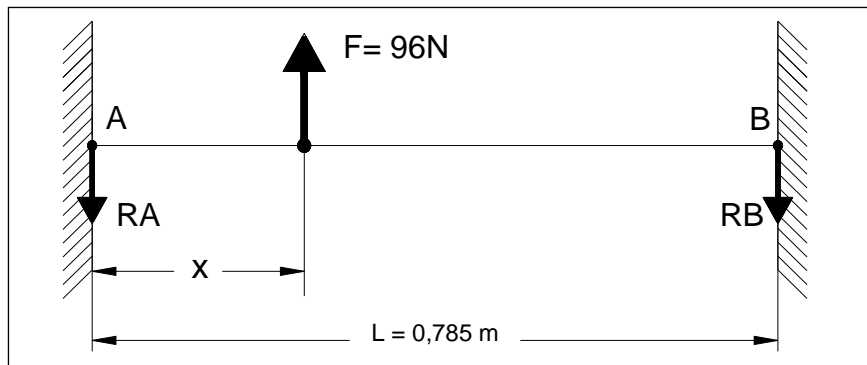


Figura 67. Fuerza resultante en la guías de desplazamiento en el eje X.

Fuente: Los Autores.

Por razones de análisis guía se puede comparar como una viga. Con esta consideración adicional se establece el máximo momento flector en la guía y consecuentemente el esfuerzo máximo de tracción y/o compresión, para la posterior selección del diámetro adecuado.

Para realizar lo antes dicho nos basamos en las características mecánicas del eje AISI 4140 (tabla 12), en donde se muestra las características del material de las guías.

Tabla 12. Características mecánicas del eje AISI4140.

MATERIAL	ESTADO	MÁXIMA RESISTENCIA		RESISTENCIA DE FLUENCIA EN TRACCIÓN		ALARGAMIENTO	REDUCCIÓN DE ÁREA.	NDB	MAQUINABILIDAD	ALGUNOS USOS TÍPICOS
				Sy	Sy					
N.- AISI	(c)	Su		Sy		(%) en 5.08cm	(%)	BHN	(i)	Observaciones
		Kg/cm <sup>2</sup>	Ksi	Kg/cm <sup>2</sup>	Ksi					
4140	Revenido	7874	112	5835	83	23	45	229	51	Piezas grandes y de gran resistencia de máquinas, pueden ser tratadas térmicamente, ejes grandes.

Fuente: (FAIRES, 1985)

Además se hace referencia al diagrama representativo de análisis (en una sola guía) en la figura 51 y las ecuaciones de resolución para esquema representativo en estudio (tabla 13). (PISARENKO; et al, 1979)

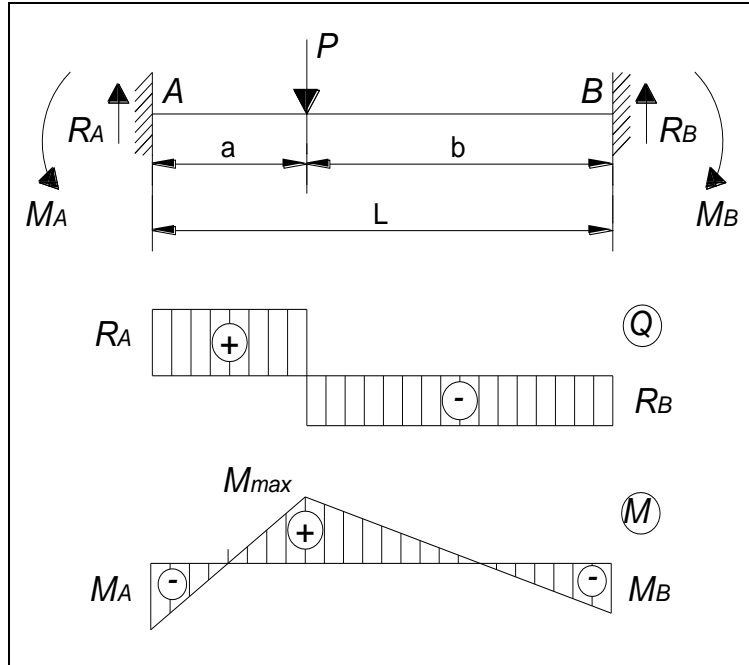


Figura 51. Diagrama representativo de análisis (en una sola guía).

Fuente: (PISARENKO; et al, 1979)

Tabla 13. Ecuaciones de resolución para esquema representativo en estudio.

Reacciones de apoyo	Momento Flector (M)	Deflexión en cualquier punto a lo largo de la viga
$R_A$ $= P \cdot \frac{b^2 \cdot (3a + b)}{L^3}$	$M_A = P \cdot a \cdot \frac{b^2}{L^2}$	<p><b>Para <math>a &gt; b</math></b></p> $\delta = -\frac{2}{3} \cdot \frac{P}{EI} \cdot \left[ \frac{a^3 \cdot b^2}{(3a + b)^2} \right]$
$R_B$ $= P \cdot \frac{a^2 \cdot (3b + a)}{L^3}$	$M_B = P \cdot b \cdot \frac{a^2}{L^2}$	<p><b>Para <math>a &lt; b</math></b></p> $\delta = -\frac{2}{3} \cdot \frac{P}{EI} \cdot \left[ \frac{a^2 \cdot b^3}{(3b + a)^2} \right]$

Fuente: (PISARENKO; et al, 1979)

De acuerdo a las relaciones anteriores y a la representación de la fuerza resultante, se tiene:

$$RA = P \frac{b^2(3a+b)}{L^3} = F \frac{(L-x)^2[3x+(L-x)]}{L^3} \quad (21)$$

$$RB = P \frac{a^2(3b+a)}{L^3} = F \frac{x^2[3(L-x)+x]}{L^3} \quad (22)$$

$$MA = P \frac{a \cdot b^2}{L^2} = F \frac{x(L-x)^2}{L^2} \quad (23)$$

$$MB = P \frac{b \cdot a^2}{L^2} = F \frac{(L-x)x^2}{L^2} \quad (24)$$

A continuación se detalla la variación de las reacciones en los extremos de acuerdo a la posición del carro del eje X, (tabla 14):

- ✓ Reacciones A y B, desde  $x = 0$  hasta  $x = 0,785$  m.

*Tabla 14. Reacciones en los extremos de las barras guías de acuerdo al avance del carro del eje X.*

<b>F</b> (N)	<b>x</b> (m)	<b>L</b> (m)	<b>RA</b> (N)	<b>RB</b> (N)
96	0,00	0,785	96	0
96	0,05	0,785	94,881 209	1,118 791
96	0,10	0,785	91,723 292	4,276 707
96	0,15	0,785	86,823 932	9,176 068
96	0,20	0,785	80,480 811	15,519 189
96	0,25	0,785	72,991 611	23,008 388
96	0,30	0,785	64,654 017	31,345 982
96	0,35	0,785	55,765 709	40,234 290
96	0,40	0,785	46,624 371	49,375 628
96	0,45	0,785	37,527 685	58,472 314
96	0,50	0,785	28,773 335	67,226 664
96	0,55	0,785	20,659 002	75,340 997
96	0,60	0,785	13,482 369	82,517 630
96	0,65	0,785	7,541 120	88,458 879
96	0,70	0,785	3,132 936	92,867 063
96	0,75	0,785	0,555 501	95,444 499
96	0,785	0,785	0	96

Fuente: Los Autores.

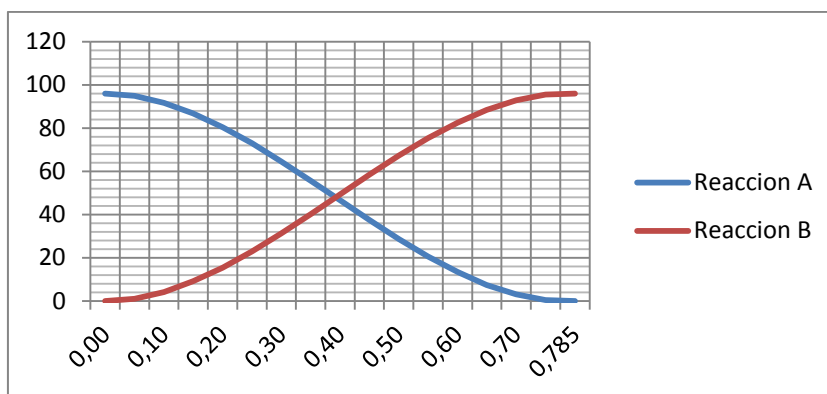


Figura 52. Diagrama de las reacciones en los puntos A y B de acuerdo al recorrido del carro del eje X.

Fuente: Los Autores.

De la gráfica anterior (figura 52), se puede concluir que la mayor reacción se da cuando el carro se encuentra en alguno de los extremos (96 N) y su valor en el punto medio es aproximadamente 47,5 N

Por otro lado, se detalla a continuación la variación de los momentos flectores respecto a los extremos, esto basado a la posición del carro del eje X:

- ✓ Momentos en los extremos A y B, desde  $x = 0$  hasta  $x = 0,785$  m.

Tabla 15. Momentos resultantes en los extremos de las barras guías de acuerdo al avance del carro del eje X.

<b>F</b> (N)	<b>x</b> (m)	<b>L</b> (m)	<b>MA</b> (Nm)	<b>MB</b> (Nm)
96	0,00	0,785	0	0
96	0,05	0,785	4,208 008	0,286 259
96	0,10	0,785	7,309 927	1,0671 426
96	0,15	0,785	9,422 597	2,225 810
96	0,20	0,785	10,662 858	3,645 421
96	0,25	0,785	11,147 551	5,209 136
96	0,30	0,785	10,993 516	6,800 113
96	0,35	0,785	10,317 595	8,301 513
96	0,40	0,785	9,236 626	9,596 494
96	0,45	0,785	7,867 451	10,568 217
96	0,50	0,785	6,326 909	11,099 841
96	0,55	0,785	4,731 843	11,074 526
96	0,60	0,785	3,199 091	10,375 431
96	0,65	0,785	1,845 494	8,885 715
96	0,70	0,785	0,787 894	6,488 539
96	0,75	0,785	0,143 129	3,067 061
96	0,785	0,785	0	0

Fuente: Los Autores.

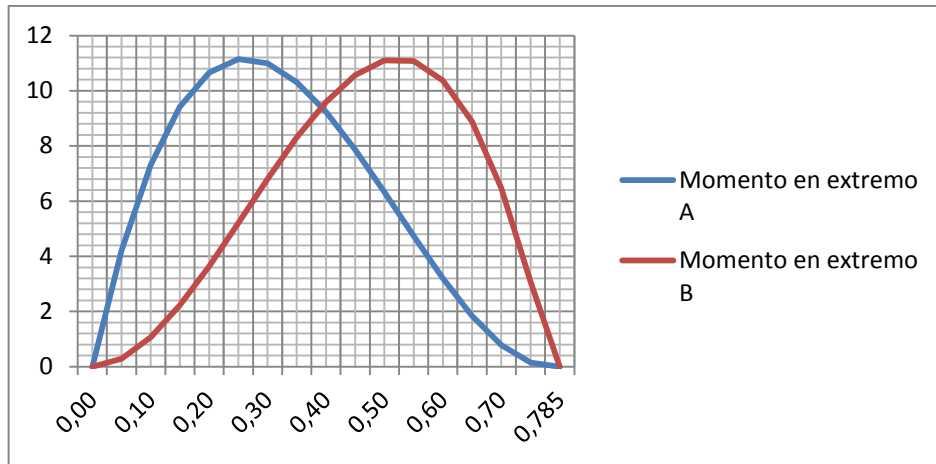


Figura 53. Diagrama de momentos en los puntos A y B de acuerdo al recorrido del carro del eje X.

Fuente: Los Autores.

De la gráfica (figura 53), se puede concluir que el mayor momento tiene un valor aproximado de 11,4 Nm, y su punto de ubicación es 0,2616m ó 0,5234m.

El esfuerzo normal producido en cualquier punto de la guía se calcula con la ecuación 10:

$$\sigma_t = \frac{M_{max} \cdot C}{I} \quad (10)$$

Siendo:

$$C = \text{Punto más alejado de la guía al plano neutro. Para un eje circular el radio } \left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (11)$$

$$I = \text{Momento de inercia } I = \frac{\pi \phi^4}{64} \quad (12)$$

Para hallar el diámetro de la guía el esfuerzo normal  $\sigma_t$  tiene que ser menor o igual al esfuerzo de diseño  $\sigma_s$ . El esfuerzo de diseño es igual a:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_y}{\mu_s} \quad (13)$$

$\sigma_y = 7874 \text{ kg/cm}^2$ . Esfuerzo a la fluencia para el acero 705 (SAE 4140)

$\mu_s =$  Coeficiente de seguridad del diseño, igual a 4.

$$\sigma_s = \frac{771\,652\,000 \frac{N}{m^2}}{4} = 192\,913\,000 \frac{N}{m^2}$$

Con lo anterior determinamos el diámetro necesario:

$$\sigma_t = \frac{M_{max} \cdot c}{I} \leq \sigma_s \quad (10)$$

$$\sigma_s \geq \frac{M_{max} \cdot \phi}{2I} = \frac{11,14 \text{ Nm} \cdot \phi}{2 \cdot \frac{\pi \phi^4}{64}} = \frac{356,48 \text{ Nm}}{\pi \times \phi^3}$$

$$\phi^3 = \frac{356,48 \text{ Nm}}{\pi \times \sigma_s} \rightarrow \phi = \sqrt[3]{\frac{356,48 \text{ Nm}}{\pi \times \sigma_s}}$$

$$\phi = 8,378 \times 10^{-3} \text{ m} = 8,378 \text{ mm}$$

Por razones de seguridad en el diseño, se comprueba la flecha producida por el momento flector en la guía. La ecuación para este caso es:

$$f = \frac{2}{3} \times \frac{F}{E \cdot I} \times \frac{x^2(l-x)^3}{[3(l-x)+x]^2} \quad (25)$$

De donde:

$E$  = Módulo de elasticidad para el acero ( $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )

$M_o$  = Momento producido en el punto de análisis de la guía (11,14 Nm). Fijarse en tabla de datos.

$x$  = Coordenada en donde se analiza la deformación (0,2616 m)

$L$  = Longitud de la barra guía (0,785 m)

Se realiza el análisis cuando el carro del eje X se encuentra en el punto más crítico (máximo de la ecuación del momento, el cual se obtiene despejando X de la derivada de dicha ecuación e igualando a cero).

$$f = \left( \frac{192 \text{ N}}{3 \cdot \left( 2,058 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \cdot (4,908 \times 10^{-10} \text{ m}^4)} \right) \times \frac{(0,2616 \text{ m})^2 (0,785 \text{ m} - 0,2616 \text{ m})^3}{[3(0,785 \text{ m} - 0,2616 \text{ m}) + 0,2616 \text{ m}]^2} \quad (14)$$

$$f = \frac{192 \text{ N}}{3 \cdot \left( 2,058 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \cdot (4,908 \times 10^{-10} \text{ m}^4)} \times \frac{0,009807 \text{ m}^5}{3,3555 \text{ m}^2}$$

$$f = 1,85 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,852 \text{ mm}$$

Según las condiciones iniciales la flecha no debe ser mayor a  $1/300L$ , lo cual es igual a:

$$f_{max} = \frac{0,785m}{300} = 2,616 \times 10^{-3}m = 2,6166mm \quad (26)$$

Como se puede observar la flecha máxima producida no es mayor que la máxima propuesta, con lo que se puede afirmar que el diámetro de las guías calculado satisface las condiciones de diseño propuestas.

Debido a que en el análisis anterior no se consideró el peso de las propias guías y a que en el mercado el diámetro mínimo del eje de este tipo es de 20mm. Se opta por adquirir un eje de transmisión 705 (SAE 4340) con el diámetro antes mencionado.

### **f.1.2.3 Guías para el desplazamiento en el eje Y.**

El desplazamiento en el eje Y, consiste en trasladar de atrás hacia adelante y viceversa el carro del eje X con toda su estructura de soporte y motor de accionamiento. Para el dimensionamiento de las guías en este eje, al igual que en los casos anteriores, tomamos las siguientes consideraciones iniciales:

- ✓ Las barras guías sufren principalmente los esfuerzos producidos por el peso de todas las masas soportadas. En este caso particular se tomará la sumatoria de las masas y el centro de fuerzas de todas ellas como punto principal de análisis.
- ✓ Los extremos de las guías se encuentran empotrados.
- ✓ En el caso de la deformación de las guías (flecha), se estima un valor máximo de  $1/300$  de la longitud total de las mismas, en caso de ser mayor, se hará un recálculo del diámetro.
- ✓ La longitud aproximada de las guías es de 80 cm.
- ✓ Este sistema, al igual que al anterior contará con dos guías paralelas.

En la figura 54 se muestran las generalidades de los elementos en movimiento en este eje.



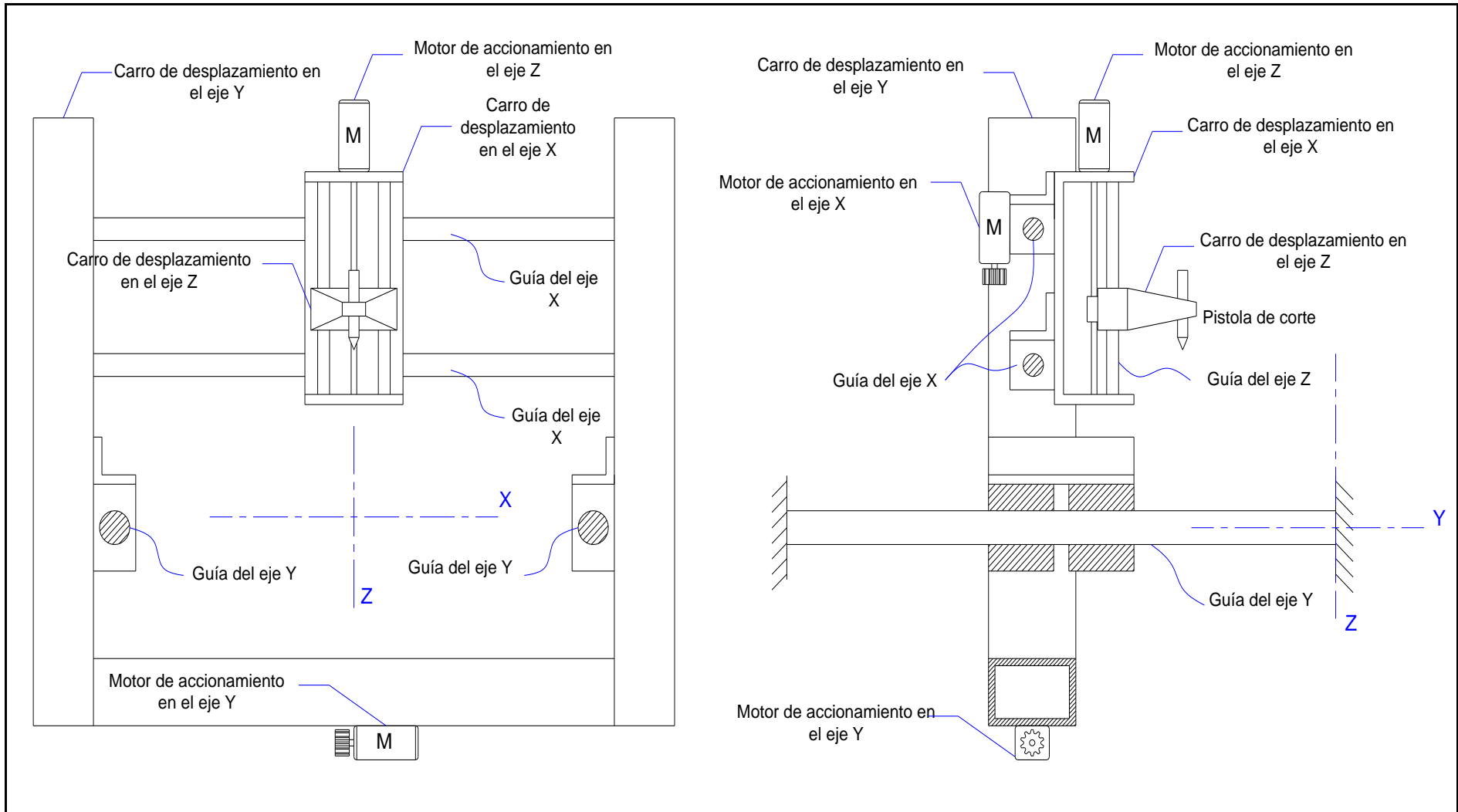


Figura 54. Partes generales que se trasladan mediante las guías del eje Y.

Fuente: Los Autores.

Como se puede observar en el gráfico anterior, la carga se distribuye sobre las barras guías del eje Y, esta distribución de cargas depende de la posición del carro del eje X, y como se pudo deducir en el análisis anterior, la carga máxima se da cuando dicho carro se encuentra posicionado en un extremo, siendo la reacción del extremo opuesto muy pequeña, por lo que se puede afirmar que toda la carga del carro del eje X actúa directamente sobre cualquiera de las barras del eje Y, de acuerdo al extremo donde se ubique. Además de la carga mencionada anteriormente, existen otras cargas o pesos adicionales, los cuales pertenecen a la estructura de soporte del carro del eje X, las guías de dicho eje, el motor de accionamiento del eje Z y otros. El esquema siguiente muestra las cargas totales del

Como se puede observar en el gráfico anterior, la carga se distribuye sobre las barras guías del eje Y, esta distribución de cargas depende de la posición del carro del eje X, y como se pudo deducir en el análisis anterior, la carga máxima se da cuando dicho carro se encuentra posicionado en un extremo, siendo la reacción del extremo opuesto muy pequeña, por lo que se puede afirmar que toda la carga del carro del eje X actúa directamente sobre cualquiera de las barras del eje Y, de acuerdo al extremo donde se ubique. Además de la carga mencionada anteriormente, cabe señalar que existen otras cargas o pesos adicionales, los cuales pertenecen a la estructura de soporte del carro del eje X, las guías de dicho eje, el motor de accionamiento del eje Y y otros. En las figuras 55 y 56, muestra las cargas totales del sistema y su ubicación en dos vistas diferentes.

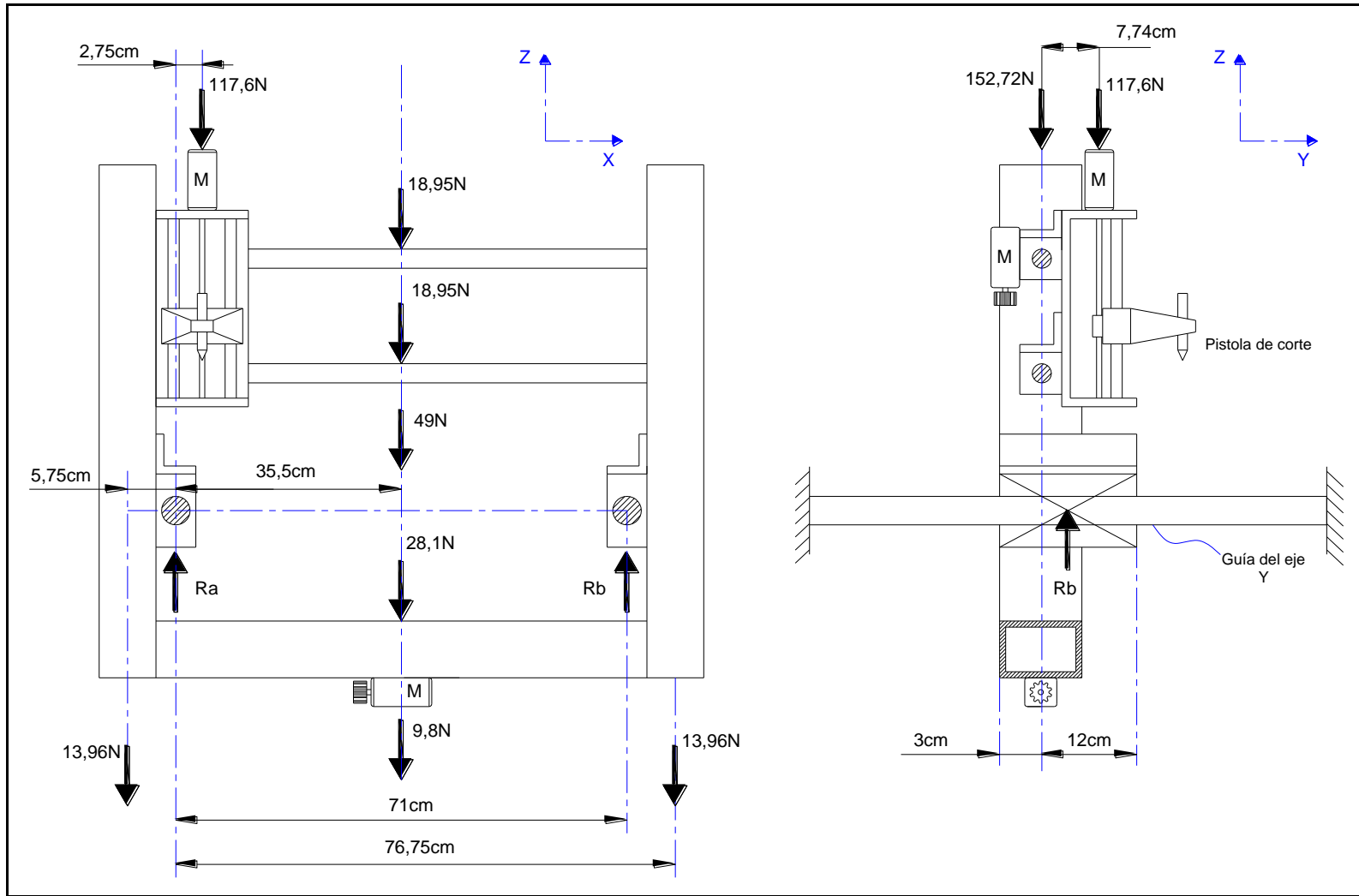


Figura 55. Esquema representativo de cargas aplicadas en las guías del eje Y.

Fuente: Los Autores.

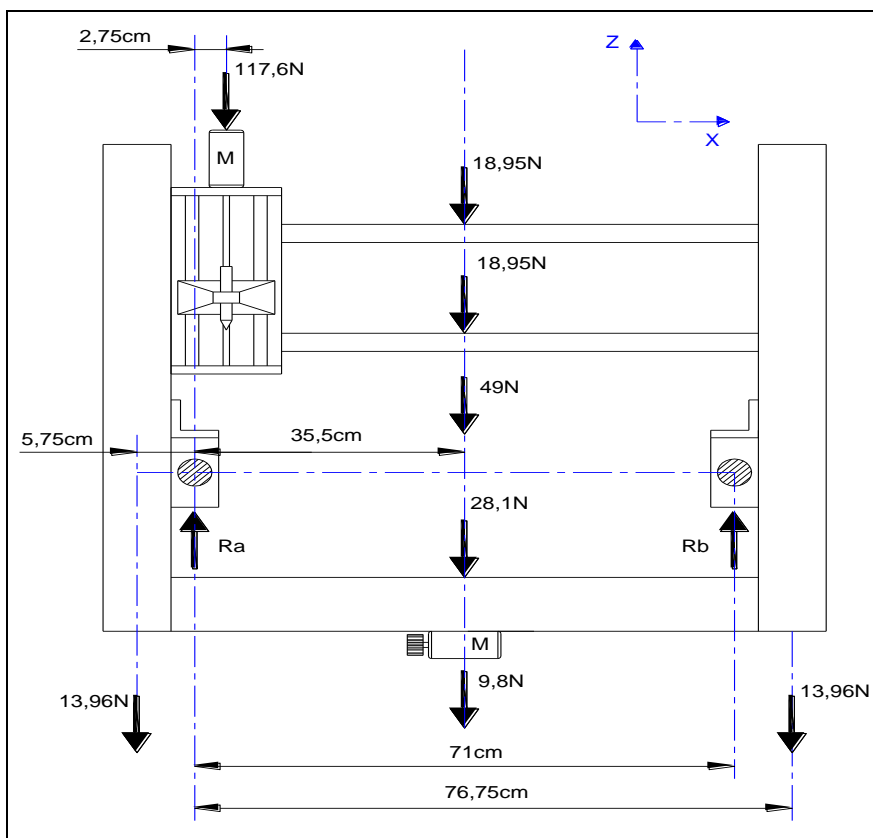


Figura 56. Esquema representativo de cargas aplicadas en las guías del eje Y (vista lateral).

Fuente: Los Autores.

Por razones de simplificación en el análisis, se asume que en las guías existen solamente reacciones en el eje Z (debido a que interesa asegurar que las barras no fleten ante las cargas más significativas), además que la reacción de las guías huecas (móviles) es única y está ubicada en el centro de su longitud, esta última suposición se hace debido a las cortas distancias existentes entre los varios elementos del carro del eje X, creándose momentos de fuerza muy pequeños que dificultan el análisis.

Con estas consideraciones adicionales se determina la reacción en cada una de las barras guías del eje Y, ubicando el carro del eje X en su posición más importante (a un extremo). Para esto se utiliza la ecuación 2 y 4

$$\sum FY = 0 \tag{2}$$

$$Ra + Rb - 13,96 N - 117,6 N - 124,8 N - 13,96 N = 0$$

$$Ra + Rb = 270,32 N$$

$$\sum Mom_a F = 0 \tag{4}$$

$$(13,96 N \cdot 5,75 cm) + (R_b \cdot 71cm) - (117,6 N \cdot 2,75 cm) - (124,8 N \cdot 35,5 cm) - (13,96 N \cdot 76,75 cm) = 0$$

$$R_b = 80,915 N$$

Remplazando el valor anterior en la ecuación 2, se tiene:

$$80,95 N + R_a = 270,32 N$$

$$R_a = 189,4 N$$

De acuerdo a lo calculado, se puede decir que bajo ciertas condiciones las barras guías soportarán un valor máximo de 189.4N en dirección del eje Z, y que este valor podrá ser desplazado a lo largo de toda la barra guía del eje Y (76cm), generando reacciones variables en los puntos de soporte.

La carga antes calculada y las reacciones se representan de la forma siguiente, (figura 57):

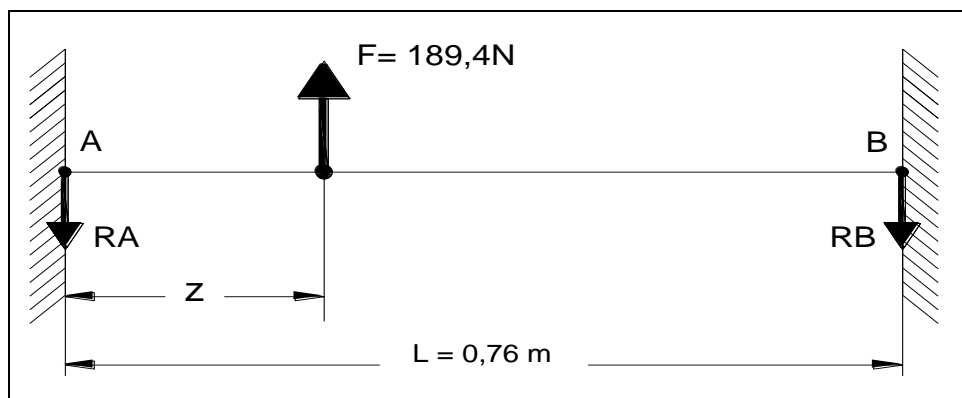


Figura 57. Fuerza resultante en la guías de desplazamiento en el eje Y.

Fuente: Los Autores.

Al igual que en el caso de las guías en el eje X, se puede comparar cada guía con una viga cargada radialmente, para establecer el máximo momento flector en la misma y consecuentemente el esfuerzo máximo de tracción y/o compresión, para la posterior selección del diámetro adecuado.

Para realizar lo mencionado nos basamos en las características mecánicas del eje AISI 4140 (tabla 12), en donde se muestra las características del material de las guías, (detallado anteriormente).

Las ecuaciones que permiten hallar las reacciones y los momentos en cada apoyo son:

$$RA = F \frac{(L-y)^2[3y+(L-y)]}{L^3} \quad (27)$$

$$RB = F \frac{y^2[3(L-y)+y]}{L^3} \quad (28)$$

$$MA = F \frac{y(L-y)^2}{L^2} \quad (29)$$

$$MB = F \frac{(L-y)y^2}{L^2} \quad (30)$$

A continuación se detalla la variación de las reacciones en los extremos de acuerdo a la posición del carro del eje Y, (tabla 16):

- ✓ Reacciones A y B, desde  $y = 0$  hasta  $y = 0,76$  m.

*Tabla 16. Momentos resultantes en los extremos de las barras guías de acuerdo al avance del carro del eje X.*

<b>F</b> (N)	<b>y</b> (m)	<b>L</b> (m)	<b>RA</b> (N)	<b>RB</b> (N)
189,4	0,00	0,76	189,4	0
189,4	0,04	0,76	187,881265	1,518734
189,4	0,08	0,76	183,545968	5,854031
189,4	0,12	0,76	176,725470	12,674529
189,4	0,16	0,76	167,751129	21,648871
189,4	0,20	0,76	156,954308	32,445691
189,4	0,24	0,76	144,666365	44,733634
189,4	0,28	0,76	131,218661	58,181338
189,4	0,32	0,76	116,942557	72,457442
189,4	0,36	0,76	102,169412	87,230587
189,4	0,40	0,76	87,230587	102,169412
189,4	0,44	0,76	72,457442	116,942557
189,4	0,48	0,76	58,181338	131,218661
189,4	0,52	0,76	44,733634	144,666365
189,4	0,56	0,76	32,445691	156,9543082
189,4	0,60	0,76	21,648871	167,751129
189,4	0,64	0,76	12,674529	176,725470
189,4	0,68	0,76	5,854031	183,545968
189,4	0,72	0,76	1,518734	187,881265
189,4	0,76	0,76	0	189,4

Fuente: Los Autores.

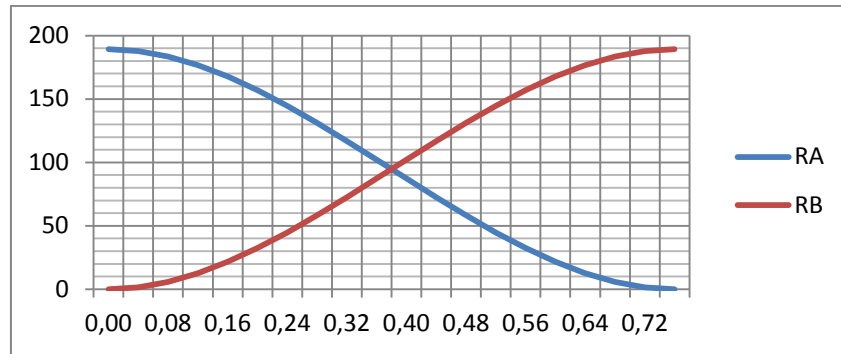


Figura. 58. Diagrama de las reacciones en los puntos A y B de acuerdo al recorrido del carro del eje Y.

Fuente: Los Autores.

De la gráfica anterior (figura 58), se puede concluir que la mayor reacción se da cuando el carro se encuentra en alguno de los extremos (189,4 N) y su valor en el punto medio es aproximadamente 95 N.

Seguidamente, se detalla la variación de los momentos flectores respecto a los extremos, esto basado a la posición del carro del eje Y:

- ✓ Momentos en los extremos A y B, desde  $z = 0$  hasta  $z = 0,76$  m.

Tabla 17. Momentos resultantes en los extremos de las barras guías de acuerdo al avance del carro del eje Z.

<b>F</b> (N)	<b>z</b> (m)	<b>L</b> (m)	<b>MA</b> (Nm)	<b>MB</b> (Nm)
189,4	0,00	0,76	0	0
189,4	0,04	0,76	6,799 512	0,377 751
189,4	0,08	0,76	12,129 994	1,427 058
189,4	0,12	0,76	16,117 362	3,022 006
189,4	0,16	0,76	18,887 534	5,036 676
189,4	0,20	0,76	20,566 426	7,345 152
189,4	0,24	0,76	21,279 955	9,821 518
189,4	0,28	0,76	21,154 038	12,339 856
189,4	0,32	0,76	20,314 592	14,774 249
189,4	0,36	0,76	18,887 534	16,998 781
189,4	0,40	0,76	16,998 781	18,887 534
189,4	0,44	0,76	14,774 249	20,314 592
189,4	0,48	0,76	12,339 855	21,154 038
189,4	0,52	0,76	9,821 518	21,279 955
189,4	0,56	0,76	7,345 152	20,566 426
189,4	0,60	0,76	5,036 675	18,887 534
189,4	0,64	0,76	3,022 005	16,117 362
189,4	0,68	0,76	1,427 058	12,129 994
189,4	0,72	0,76	0,377 750	6,799 512
189,4	0,76	0,76	0	0

Fuente: Los Autores.

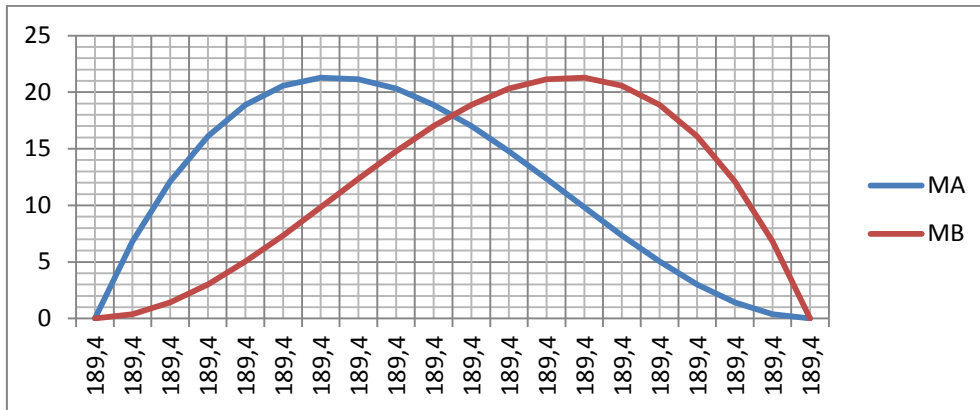


Figura 59.- Diagrama de momentos en los puntos A y B de acuerdo al recorrido del carro del eje Y.

Fuente: Los Autores.

De la gráfica anterior (figura 59), se puede concluir que el mayor momento tiene un valor aproximado de 21,32 Nm, y su punto de ubicación es 0,2533 m ó 0,5067 m.

El esfuerzo normal producido en cualquier punto de la guía se calcula con la ecuación 10, es igual a:

$$\sigma_t = \frac{M_{max} \cdot C}{I} \quad (10)$$

Siendo:

C= Punto más alejado de la guía al plano neutro. Para un eje circular el radio  $\left(\frac{\phi}{2}\right)$

(11)

$$I = \text{Momento de inercia } I = \frac{\pi \phi^4}{64} \quad (12)$$

Para hallar el diámetro de la guía el esfuerzo normal  $\sigma_t$  tiene que ser menor o igual al esfuerzo de diseño  $\sigma_s$ . El esfuerzo de diseño es igual a:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_y}{\mu_s} \quad (13)$$

$\sigma_y = 8085 \text{ kg/cm}^2$ . Esfuerzo a la fluencia para el acero 705 (SAE 4140)

$\mu_p$  = Coeficiente de seguridad del diseño, igual a 4.

$$\sigma_s = \frac{792\,330\,000 \frac{N}{m^2}}{4} = 198\,082\,500 \frac{N}{m^2}$$

Con lo anterior determinamos el diámetro necesario:



$$\sigma_t = \frac{M_{max} \cdot C}{I} \leq \sigma_s \quad (10)$$

$$\sigma_s \geq \frac{M_{max} \cdot \phi}{2I} = \frac{21,32 \text{ Nm} \cdot \phi}{2 \cdot \frac{\pi \phi^4}{64}} = \frac{682,24 \text{ Nm}}{\pi \times \phi^3}$$

$$\phi^3 = \frac{682,24 \text{ Nm}}{\pi \times \sigma_s} \rightarrow \phi = \sqrt[3]{\frac{682,24 \text{ Nm}}{\pi \times \sigma_s}}$$

$$\phi = 0,0103 \text{ m} = 10,3 \text{ mm}$$

Al igual que las guías anteriores, se comprueba la flecha producida por el momento flector en la guía. La ecuación 25 se utiliza para este caso:

$$f = \frac{2}{3} \times \frac{F}{E \cdot I} \times \frac{z^2(l-z)^3}{[3(l-z)+z]^2} \quad (25)$$

De donde:

$E$  = Módulo de elasticidad para el acero ( $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ )

$M_o$  = Momento producido en el punto de análisis de la guía (21,32 Nm). Fijarse en tabla de datos.

$y$  = Coordenada en donde se analiza la deformación (0,2533 m)

$L$  = Longitud de la barra guía (0,76 m)

Se realiza el análisis cuando el carro del eje Y se encuentra en el punto más crítico, (máximo de la ecuación del momento, se obtiene derivando dicha ecuación e igualando a cero).

$$f = \frac{2}{3} \times \frac{189,4 \text{ N}}{\left(2,058 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \cdot (1,096 \times 10^{-9} \text{ m}^4)} \times \frac{0,008346 \text{ m}^5}{5,1988 \text{ m}^2} \quad (25)$$

$$f = 8,987 \times 10^{-4} \text{ m} \approx 0,9 \text{ mm}$$

Según las condiciones iniciales la flecha no debe ser mayor a  $1/300L$ , lo cual es igual a:

$$f_{max} = \frac{0,76 \text{ m}}{300} = 2,533 \times 10^{-3} \text{ m} = 2,533 \text{ mm} \quad (26)$$

Como se puede observar, el diámetro de las guías calculado satisface las condiciones de diseño propuestas.

Al igual que en caso anterior, no se consideró el peso de las propias guías y a que en el mercado local el diámetro mínimo de eje de transmisión 705 (SAE 4340) es el de 20mm, en el montaje se optará por este diámetro un poco mayor.

## ***f.2 SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS ACTUADORES, TARJETAS, ELEMENTOS DE MANDO Y PROTECCIÓN.***

En esta sección se especifican todos los elementos que se implementarán en la parte eléctrica y electrónica del Cortador por Plasma CNC.

### **f.2.1 Selección de actuadores.**

Los actuadores comúnmente utilizados en sistemas CNC, son motores paso a paso y servomotores.

En nuestro caso, utilizaremos motores paso a paso ya que tienen una gran precisión de movimiento (en pasos completos, medio paso y micropasos), son más económicos y fáciles de manejar. Su única desventaja es que el torque disminuye considerablemente cuando se alcanzan velocidades cercanas a la máxima permisible.

Por lo mencionado anteriormente, se suscita el problema de acoplamiento con mecanismos de desplazamiento mediante tornillo, que por su corto paso diametral y al nivel de precisión que brindan, requieren de varias revoluciones para traslados pequeños.

La alternativa se resuelve con el uso de una transmisión rotativa – lineal de acople directo, como lo es el mecanismo piñón-cremallera.

El mecanismo piñón-cremallera antes mencionado, tiene las siguientes características:

- Módulo: 4.
- Piñon:  $Z=12$ .
- Longitud comercial de la cremallera: 1m.
- Material: Fundición Gris.
- Sistema de sujeción: Empernado.

La figura siguiente (figura 60), muestra las cremalleras seleccionadas:



*Figura 60. Trasmisión por piñón – cremallera.*

*Fuente: Los Autores.*

Otro aspecto importante es la potencia requerida por los actuadores o a su vez determinar los parámetros de esta (Torque y velocidad angular), ya que los motores requeridos deben brindar seguridad a la hora de desplazar los diversos mecanismos.

#### **f.2.1.1 Potencia de los Actuadores.**

Como es conocido los actuadores seleccionados para la máquina de corte por plasma son del tipo paso a paso y cumplen exclusivamente la función de traslado de los mecanismos, venciendo únicamente el rozamiento existente de los mismos. (No existe fuerza de corte por extracción de viruta).

Cuando la máquina se encuentra en la condición funcional de corte, la velocidad máxima es de 1m/mim, mientras que, cuando la máquina se encuentra en condición de posicionamiento, los mecanismos se trasladan a una velocidad promedio de 6 m/mim. Siendo así, se considera a la velocidad de posicionamiento como parámetro de diseño para el dimensionamiento de los motores paso a paso.

De acuerdo a la bibliografía consultada la selección de los motores paso a paso se la realiza basado en el torque requerido, más no en la potencia motriz. De ello, a continuación se calcula el torque requerido para desplazar el carro que posee mayor masa (carro X) a la velocidad de posicionamiento antes mencionada.

El esquema (figura 61), mostrado a continuación resume las características del proceso de cálculo.

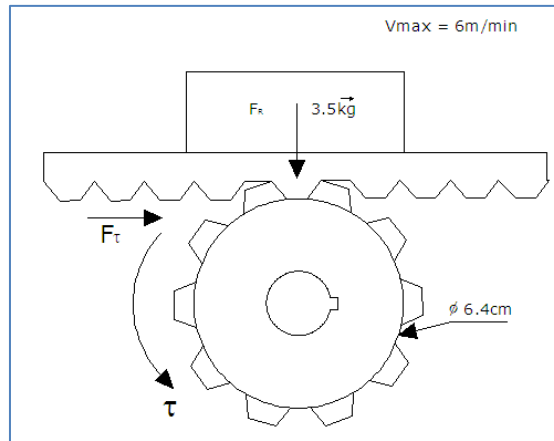


Figura 61. Características del proceso de cálculo.

Fuente: Los Autores.

En resumen, el carro mayor traslada una masa total equivalente a 35 kg. Cuyo movimiento lineal se obtiene de la transmisión piñón-cremallera, siendo el diámetro del piñón 6,4 cm.

Los motores paso a paso desarrollan su velocidad nominal en un tiempo aproximado de 2 segundos, por lo que este tiempo sería el lapso en que se acelera desde el reposo las masas del carro X.

Con lo expuesto, el torque necesario del motor paso a paso es la suma de la fuerza necesaria para acelerar las masas y vencer la fuerza de rozamiento provocado por el peso de los mecanismos en sus guías, todo esto multiplicado por el radio del piñón. Así tenemos:

$$m = 35 \text{ kg}$$

$$t_0 = 1 \text{ seg}$$

$$V_0 = 0$$

$$V_f = 0,1 \text{ m/seg}$$

$$\eta_{\text{transmisión}} = 0,9$$

$$\mu_{\text{roz}} = 0,05 \text{ (Coeficiente de fricción de las guías con rodamientos interiores)}$$

Las especificaciones de las guías con rodamientos interiores se detallan en el anexo 9.

$$F = m \cdot a \tag{27}$$

$$F = 35 \text{ kg} \cdot \frac{(V_f - V_0)}{t} \tag{28}$$

$$F = \frac{35 \text{ kg} \cdot 0,1 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}{2 \text{ seg}}$$

$$F = 17,5 \text{ N}$$

$$\tau = (F + F_{roz}) \frac{\phi}{2} \quad (29)$$

$$\tau = (F + m \cdot g \cdot \mu_r) \frac{\phi}{2} \quad (30)$$

$$\tau = [17,5 \text{ N} + \left(35 \text{ kg} \cdot 9,8 \cdot \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \cdot 0,05\right) 0,032 \text{ m}]$$

$$\tau = (17,5 \text{ N} + 17,15 \text{ N})(0,032 \text{ m})$$

$$\tau = (34,65 \text{ N})(0,032 \text{ m})$$

$$\tau = 1,108 \text{ Nm}$$

### f.2.1.2 Selección de Actuadores.

Del motor paso a paso se conoce el torque necesario, pero falta determinar la velocidad angular máxima necesaria. Esta es igual a:

$$V = \omega \cdot R \quad (31)$$

$$\omega = \frac{V}{R} = \frac{0,1 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}{0,032 \text{ m}} \quad (32)$$

$$\omega = 3,125 \text{ rad/seg}$$

$$\text{rpm} = \frac{\omega}{2\pi} (60) = \frac{30\omega}{\pi}$$

$$\text{rpm} = 29,843$$

Conocida la velocidad angular y las rpm, se selecciona el siguiente motor, (figura 62):



Figura 62. Hybrid Stepper Motor KL23H276-30-8A.

Fuente: (KELING, 2013)

Las Características de los Motores Paso a Paso se muestran en el anexo 6.

Cabe mencionar que este tipo de motor se los encuentra con mucha dificultad en el mercado nacional, razón por la que se los adquirirá en el mercado internacional. Además se los encuentra en kits de tres o más motores de iguales características, por lo que también los tres motores necesarios (uno para cada eje de traslado) serán de la misma potencia.

### **f.3 SELECCIÓN DE LAS TARJETAS ELECTRÓNICAS DE CONTROL.**

El control electrónico en Cortadoras por plasma CNC consta de las siguientes tarjetas:

- ✓ Tarjeta de interface principal (Breakoutboard)
- ✓ Tarjetas controladoras para motores paso a paso (Stepper Drive)

En el caso de la tarjeta de control de la herramienta, hay que especificar que la máquina CNC es para corte con arco de plasma. Esta tarjeta controlará el funcionamiento de la herramienta de corte de la máquina, para el cortador por arco de plasma CNC, el sistema de control de la herramienta viene incluido en la tarjeta principal, este control consta de un relé, utilizado para la activación automática del cortador por plasma.

#### **f.3.1 Selección de la tarjeta interface (Breakout board).**

Se utilizará una tarjeta interface con optoacopladores por el nivel de protección que brinda. Las marcas más comercializadas para tarjetas interface son:

- ✓ CAMPBELL DESINGS
- ✓ KELING TECHNOLOGY
- ✓ CANDCNC
- ✓ CNC4PC

Estas tarjetas utilizan el puerto paralelo DB25 de la PC para su conexión, el puerto serial se utiliza para tarjetas adicionales.

Hay que tomar en cuenta que esta tarjeta debe ser compatible a la vez con los drivers y con los programas CAM, entonces seleccionamos la tarjeta de interface KL-DB25

Breakout Board, por su nivel de compatibilidad, confiabilidad, fácil manejo y por su disponibilidad en el mercado, su apariencia se indica en la figura 63.

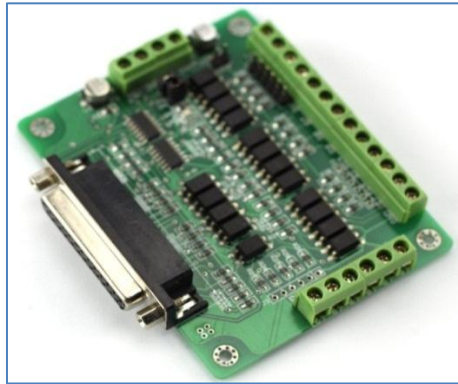


Figura 63. Tarjeta interface KL-DB25 Breakout Board.

Fuente: (KELING, 2013)

Los detalles de las características y conexiones de la tarjeta seleccionada se indican en el anexo 7.

### **f.3.2 Selección de la Tarjeta Controladora para motores paso a paso (Stepper drive).**

De igual forma, existen en el mercado una gran variedad de tarjetas controladoras para motores a pasos, la de estos drivers dependerá de la corriente de consumo del motor y su compatibilidad con la tarjeta interface.

Las marcas de driver para motores a pasos más comercializadas son las siguientes:

- ✓ Gecko Drives
- ✓ Vemaco Drives
- ✓ Keling Technology

Todas estas marcas funcionan mediante un control de corriente, con el cual se varía la velocidad de funcionamiento del motor; de estas marcas se selecciona la Keling Techonology, por su compatibilidad con la tarjeta interface seleccionada, por su fácil manejo y disponibilidad en el mercado.

En la marca Keling Techonology existen varias versiones de tarjetas, de las cuales se escoge la versión KL-8060, por el margen de corriente que controla y por su

funcionamiento con una gran variedad en micropasos, sus especificaciones se detallan en la anexo 8, y su apariencia física se indica en la figura 64.

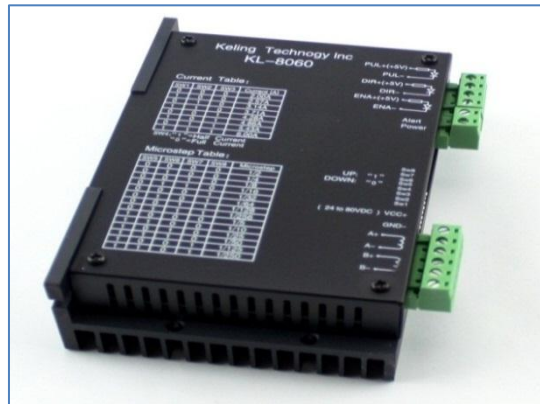


Figura 64. Stepper drive KL-8060.

Fuente: (KELING, 2013)

## f.4 ELEMENTOS DE MANDO Y PROTECCIÓN.

### f.4.1 Selección de Sensores.

Los sensores utilizados en la Cortadora de Plasma CNC se configuran como finales de carrera (Limit Switch) y como Referencia (Home Switch), y son independientes para cada eje.

Estos sensores pueden ser mecánicos como pulsadores, microswitch, estos últimos se seleccionan y se acoplan como Limit Switch y Home Switch; en la figura 65 se indica un microswitch, utilizado como Limit Switch.

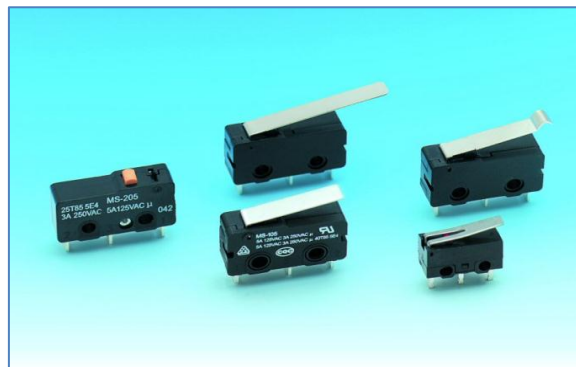


Figura 65. Microswitch utilizado como Limit Switch.

Fuente: (KELING, 2013)



#### f.4.2 Selección de Elementos de Mando.

Los elementos de mando serán los pulsadores de encendido y paro de emergencia, que son comúnmente utilizados en máquinas industriales, estos elementos de mando se indican en la figura 66.



Figura 66. Elementos de Mando para la Cortadora por Plasma CNC.

Fuente: (KELING, 2013) (SCHNEIDER ELECTRIC, 2010)

#### f.4.3 Selección de Elementos de Protección.

Puesto que la Cortadora por Plasma CNC se alimenta con un nivel de potencia bajo, se seleccionan fusibles ultrarrápidos, uno para cada driver y un interruptor termomagnético (Figura 67), para la protección general.

Características eléctricas:

- ✓ Corriente nominal: 0,5 a 63 A.
- ✓ Temperatura de referencia: 30°C
- ✓ Máxima tensión operacional: 240 V CA.
- ✓ Tensión de impulso  $U_{imp}$ : 4 kV.
- ✓ Tensión de aislación  $U_i$ : 400 V.
- ✓ Poder de corte: según IEC 60898.



Figura 67. Interruptor T termomagnético.

Fuente: (SCHNEIDER ELECTRIC, 2010)

## **f.5 SELECCIÓN Y ESTUDIO DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL.**

Los programas para el control de la Cortadora de Plasma CNC son los programas CAD/CAM (Diseño Asistido por Computador/Manufactura Asistida por Computador). La función CAD/CAM es importante en operaciones de corte por medio de plasma, brinda la posibilidad de describir la trayectoria de la herramienta para diversas operaciones. Las instrucciones o programas se generan en un computador, pueden ser modificadas por el programador para optimizar la trayectoria de la herramienta y mejorar la productividad.

### **f.5.1 Selección de los Programas CAD.**

Estos programas se utilizan como una herramienta para poder diseñar y visualizar los modelos de cortes antes de ser llevados a la manufactura; estos programas CAD se encuentran a disposición general y son de fácil acceso y utilización; los más buscados son:

- 1.- Autodesk (Inventor AutoCAD, Mechanical)
- 2.- Eagle (Para ruteados PCB)
- 3.- SolidWorks
- 4.-Proteus Ares (Ruteados PCB)

De los programas mencionados se selecciona el programa Autocad de la firma Autodesk por ser uno de los más versátiles en el diseño CAD, por su fácil adquisición y porque es uno de los programas de conocimiento general en Ingeniería.

### **f.5.2 Estudio del Programa AutoCAD.**

Puesto que este es un programa de uso general en Carreras de Ingeniería, se puede obviar detalles de utilización, excepto por la siguiente característica relacionada con procesos CAD/CAM.

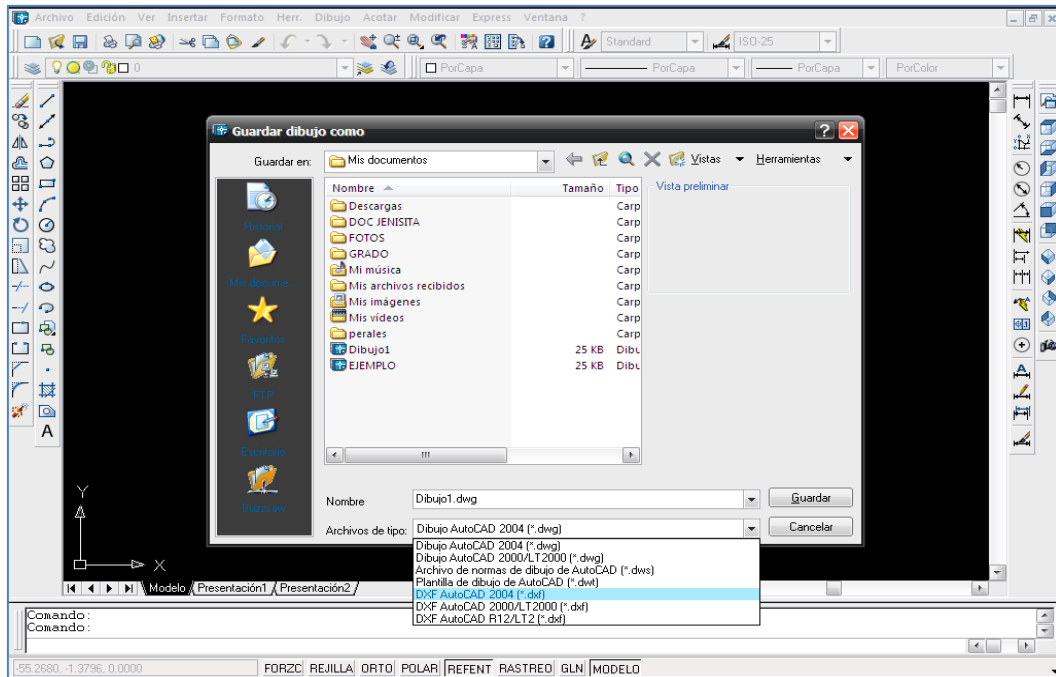


Figura 68. AutoCAD; Guardar Como, extensión DXF.

Fuente: (AutoCAD 2012)

Los diseños de procesos de corte elaborados en este programa deberán ser guardados con la extensión DXF, la misma que contiene todas las características del dibujo; en el menú Archivo/Guardar Como, buscando una extensión en el cuadro de dialogo como se indica en la figura 68.

### f.5.3 Selección de los programas CAM.

Estos programas llevan el dibujo a la etapa final, pues se encargan de generar en conjunto de instrucciones ejecutables de movimiento a partir de un diseño realizado en los programas CAD. Los programas CAM más utilizados en sistemas CNC son:

- 1.- Artsoft ( mach3)
- 2.- SolidCam (Para SolidWorks)
- 3.- Mastercam
- 4.- KCam
- 5.- Bob CAD/CAM

Todos los programas CAM tienen una interface amigable para el usuario, contiene modos de edición para modificar los programas de manufactura, etapas de visualización para la simulación en tiempo real del desarrollo del trabajo. Modos de selección para configuraciones locales, selección de la herramienta, secciones para el ingreso de códigos G para el control manual del Cortador de Plasma, entre otros. La desventaja es el nivel de compatibilidad con la variedad de tarjetas electrónicas utilizadas en máquinas CNC, y su costo de adquisición. Con estas consideraciones, se selecciona el programa Mach3 de la firma Artsoft, por ser compatible con la mayoría de tarjetas electrónicas de uso en CNC.

#### **f.5.4. Estudio del Programa Mach3 Plasma.**

En la figura 69, se indica el entorno de visualización principal del programa Mach3 Plasma, el cual dispone de una etapa de visualización de códigos G para ver el avance del programa; una etapa para el control y visualización del movimiento de los ejes; una etapa de simulación y visualización en tiempo real del proceso de manufactura; una etapa de control, edición, encendido/apagado del proceso, carga y rebobinamiento del programa; una etapa de visualización del tipo de herramienta o “ Tool Information”; una etapa de control de velocidad de avance rápido o “ FeedRate”; y una etapa de control de la herramienta del Cortador por plasma.

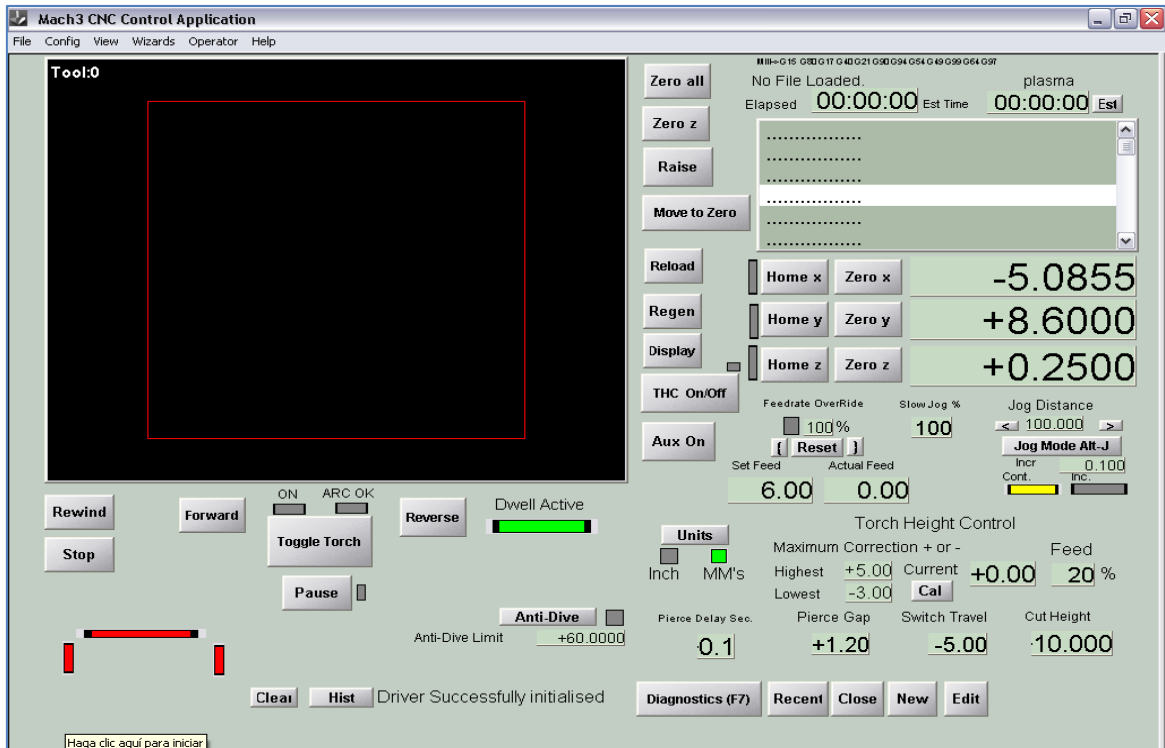


Figura 69. Entorno del programa Mach3 Plasma.

Fuente: (Mach3, 2012)

Varias de las opciones se detallan minuciosamente en las pantallas de control que posee el Mach3 Plasma, y para acceder a estas se puede dar clic en la barra que se indica en la figura 70, y que se encuentra en la parte inferior del entorno del Mach3 Plasma.



Figura 70. Control del entorno del programa Mach3 Plasma.

Fuente: (Mach3, 2012)

La segunda pantalla que utiliza el programa se indica el diagnostico, a la que se puede acceder al dar un clic en la opción Diagnostics en el cuadro de opciones que se muestra en la figura 71, en esta pantalla se puede ver el estado del programa, también se puede visualizar el corte en tiempo real, así como también el estado de las entradas Limit, Home, EStop, etc, controlar el avance del programa, ingresar códigos G manualmente, entre otros. (ARTSOF, 2009)

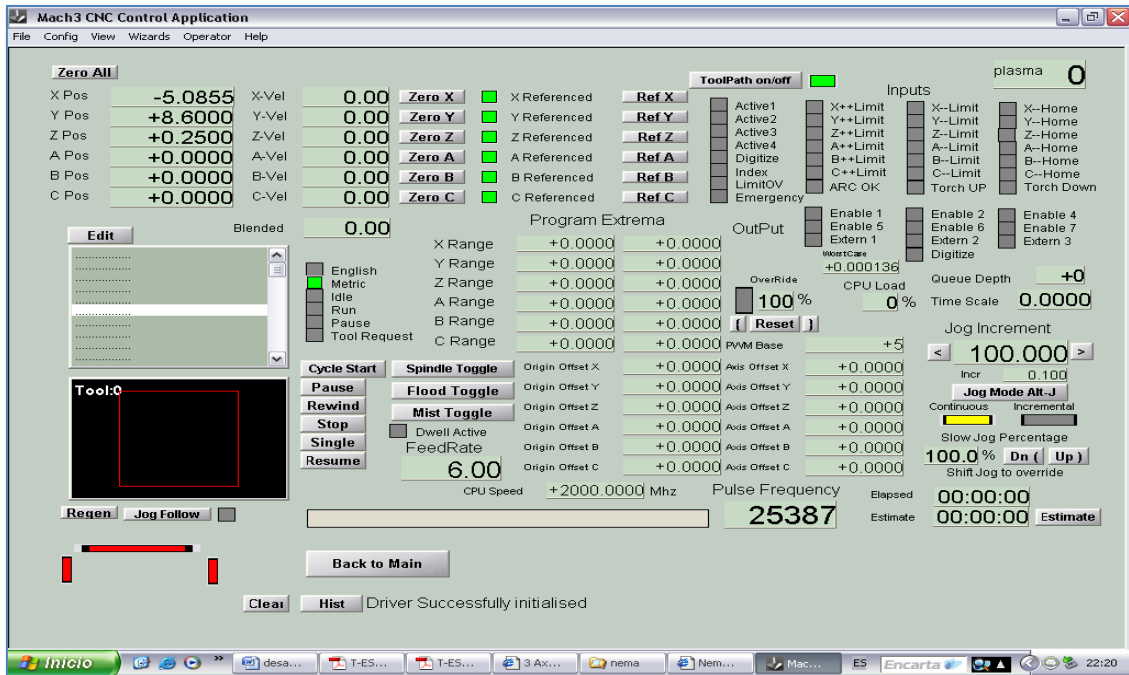


Figura 71. Cuadro de Diagnostico del programa Mach3 Plasma.

Fuente: (Mach3, 2012)

## f.6 PRUEBAS Y AJUSTES.

### f.6.1 Calibración de Parámetros del Sistema.

Las pruebas de calibración de la Cortadora por Plasma CNC, son netamente prácticas y son realizadas una vez que la máquina ha sido construida; la correcta calibración de estos parámetros permitirá que la máquina pueda realizar el proceso de manufactura de manera correcta y reproducir exactamente el diseño realizado en el programa AutoCAD, y estos son:

- ✓ Pasos por unidad.
- ✓ Velocidad para el movimiento rápido G0.
- ✓ Aceleración.

En el caso del parámetro Pasos por unidad, la calibración de este parámetro le permite al Mach3 Plasma enviar el número de pulsos necesarios para un eje se mueva una unidad de longitud exacta, ya sea la medida en milímetros o en pulgadas, para el caso del Cortador por Plasma CNC será en mm, la *velocidad* para el movimiento rápido G0, medida en unidades por min. (mm/min o pulg/min) le permitirá al Cortador por Plasma CNC desplazarse rápidamente desde el origen o punto Home (0, 0, 0,) hasta el inicio del

proceso de manufactura. Se puede decir que este es el valor de velocidad máximo al que puede llegar la máquina; finalmente el parámetro de *aceleración* será un factor fundamental que afectara directamente a la velocidad que obtenga la máquina durante el proceso de manufactura, de tal manera que si esta es de un valor muy bajo, la máquina tardara en acelerar y desacelerar, lo cual aumentara el tiempo del proceso; por el contrario si el valor de la aceleración es muy alto, la máquina puede acelerar y desacelerar bruscamente y afectar a la estructura mecánica a tal punto de perder pasos de su recorrido y distorsionar los resultados del proceso de corte. Cada uno de estos parámetros es calibrado en forma independiente para cada eje de la máquina.

## **f.6.2 Pruebas del Sistema Mecánico, Eléctrico Electrónico y Software.**

### **f.6.2.1 Pruebas en el Sistema Mecánico.**

Estas pruebas fueron hechas en las estructuras móviles que conforman el Cortador por Plasma CNC, conforme esta máquina era construida, siguiendo los lineamientos detallados en nuestro informe.

En primer lugar se verificó que la boquilla de corte esté fuertemente acoplado a la placa soporte del mismo, una vez logrado esto se verificó que se deslice suavemente en los ejes guías por medio de los bocines, éste procedimiento se realiza sin acoplar todavía el tornillo; entonces al realizar esta prueba se pudo verificar que este movimiento es completamente suave y estable.

A continuación se realizan pruebas en el movimiento del carro del eje Y las cuales se las realizo manualmente, éstas están encaminadas a su calibración y puesta a punto; en éstas se verificó que el carro Z se deslice suavemente en los ejes guías por medio de los rodamientos lineales, dando como resultado un movimiento suave y constante lo cual beneficiara el al proceso de corte. De igual manera se realizó la prueba en el eje X dándonos los mismos resultados.

### **f.6.2.2 Pruebas en el Sistema Eléctrico, Electrónico y Software.**

Las siguientes pruebas se realizan luego de que el sistema mecánico que conforma el Cortador por Plasma CNC está completamente implementado, y listo para interactuarse con el equipo electrónico adquirido para el efecto.

### **f.6.2.3 Pruebas en el Sistema Eléctrico.**

El sistema eléctrico del Cortador por Plasma CNC lo conforma los elementos de protección implementados, como son los fusibles ultrarrápidos y el interruptor magnetotérmico; los elementos de mando y paro general; y las líneas de potencia de alimentación a los actuadores.

Los elementos de protección tienen la función de desconectar y parar el Cortador CNC en el caso de producirse algún cortocircuito en el suministro general de energía o en las líneas de alimentación de los motores acoplados en los carros X, Y y Z; puesto que cada uno de éstos elementos de protección fue correctamente seleccionado, se optó por realizar estas pruebas simplemente al energizar el control y se verificó su correcto funcionamiento; el resultado es un excelente funcionamiento del mismo; de lo cual se puede concluir que inicialmente no hay problemas en su arranque, sin embargo es necesario prestar mucha atención en el funcionamiento de la parte eléctrica del Cortador CNC durante los periodos de manufactura para evitar daños posteriores en el funcionamiento del mismo.

En el caso de los elementos de mando como los de encendido y apagado del Cortador por Plasma CNC y el paro de emergencia EStop, simplemente es necesario detallar que estos elementos deben estar en buen estado para que su funcionamiento pueda ser óptimo.

El paro de emergencia sin embargo debe ser probado de manera minuciosa y continua, pues este elemento de control permitirá el paro inmediato del funcionamiento del Cortador CNC en el caso de producirse algún accidente de trabajo que pueda poner en peligro la integridad física del operador y causar daños en la máquina; como parte del sistema eléctrico el paro de emergencia EStop es tomado en cuenta como tal, sin embargo sus pruebas de funcionamiento pueden realizarse de mejor manera al interactuar con el programa CAM destinado para el efecto.

### **f.6.2.4 Pruebas en el Sistema Electrónico.**

El sistema electrónico lo conforma la tarjeta interface Breakout Board KL-DB25 implementada para el acople de la etapa de control ubicada en la PC y la etapa de potencia formada por los actuadores encargados de la generación del movimiento de los carros X, Y y Z, los mismos que son controlados por medio de los drives KL-8060 y la



PC seleccionada para el efecto; básicamente en esta sección solo se realizan pruebas para la verificación de las conexiones hechas y para probar que cada uno de estos elementos estén energizándose correctamente; las pruebas de funcionamiento se hacen conjuntamente con el programa CAM seleccionado.

En primer lugar se prueba de funcionamiento en la tarjeta interface Breakout Board KL-DB25, para el efecto solo es necesario energizarla, al hacerlo el LED de color verde incorporado en la tarjeta se enciende. Afirmando de esta manera que la tarjeta está funcionando correctamente.

En los drives KL-8060 se prueba su estado de funcionamiento mediante la medición de sus salidas de fuerza las cuales son conectadas a los motores, tomamos un multímetro y comprobamos que las salidas están energizadas, entonces los drives están listos para operar

Ya que de no ser así tendríamos que revisar una vez más la conexión hasta determinar el problema.

## **f.7 VALORACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL.**

### **f.7.1 Valoración técnica.**

El sistema diseñado cumplirá la función importante como el proceso automático corte por plasma, de cualquier material metálico conductor, y más especialmente en acero estructural, inoxidable y metales no férricos.

Los materiales a utilizar en este diseño son de reconocidas marcas a nivel mundial, por este motivo tiene un costo considerable.

### **f.7.2 Evaluación Económica.**

La finalidad de esta valoración económica es la de conocer el presupuesto necesario para la construcción de una cortadora de plasma CNC, los gastos que conlleva la adquisición de los materiales y equipos detallados para la construcción, mano de obra y mantenimiento de la misma.

Los precios y tipos de materiales para la construcción de nuestra maquina se los recopiló de diferentes distribuidores locales, nacionales y de empresas internacionales tales como: Dipac, Electricerc, entre otras.

En lo referente a los equipos de automatización se realizó la determinación de precios con empresas internacionales ya que en nuestro país casi no existen empresas dedicadas a la comercialización de esta tecnología lo cual trae como consecuencia un sobreprecio de los equipos, en el mercado internacional se logró contactar con empresas comercializadoras de estos equipos entre las cuales tenemos: motiontek, kellinginc, entre otras.

Mientras:

El costo total de la cortadora por plasma CNC se halla compuesto de:

Costos Directos:

- ✓ Materiales Directos
- ✓ Elementos Normalizados
- ✓ Costos de Montaje

Costos indirectos:

- ✓ Materiales Indirectos
- ✓ Gastos Indirectos

#### **f.7.2.1 Análisis de Costos Directos.**

Son definidos en las tablas 18 y 19:

*Tabla 18. Materiales utilizados en la construcción de la cortadora de plasma*

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Tubo cuadrado estructural de 2 x2" x 2mm	1	27, 00	27, 00
Tubo rectangular estructural de 4x2"x2mm	2m	8, 00	16, 00
Platina de 11/2 x 1/8	1	12, 00	12, 00
Caja doble fondo de 30 x 30cm	1	40, 00	40, 00
Barra redonda Sae 4340	3.2m	17, 00	54, 40
Tubo cuadrado de 1x1" x 1mm	1	8, 00	8, 00
Tubo cuadrado de 11/2 x 11/2 " x 2mm	2m	6, 00	12, 00
Angulo de 1 1/2 x 3/16	1m	5, 00	5, 00

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Angulo de 3 x ¼	1m	15, 00	15, 00
Pernos de ¼ x 2"	20	0, 40	8, 00
Pernos M6 x ¾"	24	0, 20	4, 80
Pernos de 5/16 x 2"	16	0, 60	9, 60
Pernos M5 x 3"	4	0, 45	1, 80
Plancha de metal de ¼ de espesor	40x40cm	15, 00	15, 00
Acople pequeño para motor	1	11, 00	11, 00
Barra roscada de ½	35cm	5, 00	5, 00
Rodamientos denom. 6000	2	1, 00	2, 00
Barra de bronce de 30 mm	20cm	14, 00	14, 00
Barra perforada de 40mm	10cm	6, 00	6, 00
Rodamientos lineales de bloque de 20mm	6	35, 00	210, 00
Manguera anillada de 1"	3m	3, 00	9, 00
Lamina de acero inoxidable de 2mm	120x120cm	35, 00	35, 00
Cremallera Modulo 4	2m	20, 00	40, 00
Piñón de 14 dientes	2	55, 00	110, 00
MDF de 3mm	120x60cm	6, 00	6, 00
MDF de 12mm	60x80cm	10, 00	10, 00
Suelda AGA 6011	2 lb	2, 00	4, 00
Pintura	2 lt	12, 00	24, 00
Diluyente	4 lt	1, 50	6, 00
		<b>TOTAL USD</b>	720, 60

Fuente: Los Autores.

Tabla 19. Equipos utilizados en la automatización de la cortadora de plasma.

ÍTEM	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Motor paso a paso 380 0z-in	3	190, 00	225, 00
2	Interfaz y Driver para 3 ejes	1	320, 00	320, 00
3	Fuente de alimentación 24 V	1	135, 00	135, 00
4	Interruptores de rodillo	6	1, 80	10, 8
5	Parada de emergencia	1	12, 00	12, 00
6	Cable paralelo	1	25, 00	25, 00
7	Ventilador de 110V	2	8, 00	16, 00
8	Conectores de 4 pines	6	1, 00	6, 00

9	Cable awg # 18	70 m	0, 20	14, 00
10	Luces de Señalización	1	3, 00	3, 00
10	Botón de marcha	1	2, 50	2, 50
11	Computador	1	500, 00	500, 00
TOTAL USD:				1269, 30

*Fuente: Los Autores.*

#### **f.7.2.2 Costos de Montaje.**

Están relacionados con la mano de obra necesaria para el montaje y construcción de la parte física de la cortadora de plasma se considera el trabajo de 1 persona en un tiempo de 25 días a un costo de 30 USD diarios, con una jornada de trabajo de 8 horas; este costo diario se debe a que la persona encargada de la construcción debe tener amplios conocimientos en mecánica e instalación de equipos electrónicos, por lo que resulta un costo total de 750 USD.

#### **f.7.2.3 Costo Directo Total.**

En la Tabla 20, se considera el Costo directo total.

*Tabla 20. Costo Directo Total*

<b>COMPONENTES</b>	<b>VALOR (USD)</b>
Materiales	720, 60
Equipos	1269, 30
Costo de Construcción	750, 00
Subtotal	2739, 90

*Fuente: Los Autores.*

#### **f.7.2.4 Análisis de Costos Indirectos**

#### **f.7.2.5 Gastos Indirectos.**

Los gastos indirectos corresponden al mantenimiento que se debe realizar una vez implementada y puesta en funcionamiento de la cortadora CNC principalmente en lo referente al equipos de plasma, mesa de corte, sistema de guías, por lo que se ha creído conveniente realizar este mantenimiento tres veces por año o dependiendo de la

cantidad de trabajo realizado para que el proceso continúe normalmente y de esta forma darle un mayor tiempo de vida útil a los equipos. Otro aspecto a considerar dentro de este factor es el cambio o calibración de los equipos que debe ser realizado por personal calificado, principalmente se debe realizar a los interruptores de inicio para asegurar una mejor precisión en el proceso de corte ya que estos se encuentran expuestos a cualquier tipo de roce esta calibración se la debe hacer mínimo cuatro veces por año.

*Tabla 21. Costo Indirecto Total.*

COMPONENTES	VALOR (USD)
Mantenimiento	80, 00
Calibración de Equipos	20, 00
Total	100, 00

*Fuente: Los Autores.*

#### **f.7.2.6 Costo Total dela Cortadora de Plasma CNC.**

Resulta de la adición de costos directos y los costos indirectos, esto se indica en la tabla 22.

*Tabla 22. Costo Total.*

COMPONENTES	VALOR (USD)
Costo Directo	2739, 90
Costo Indirecto	100, 00
TOTAL	2839, 90

*Fuente: Los Autores.*

#### **f.7.3 Valoración ambiental.**

La preservación del medio ambiente representa uno de los mayores desafíos de la humanidad hoy en día, afectando seriamente las condiciones de vida, junto al acelerado crecimiento de la población, producen una enorme presión sobre nuestro ambiente, que se traduce en niveles cada vez mayores de contaminación.

Los problemas más críticos que enfrenta el mundo es el manejo inadecuado de los gases emitidos por las industrias. Estos gases tóxicos se eliminan habitualmente sin ningún tratamiento previo, por lo que pueden constituirse en agentes de considerable

contaminación; afectando a los ecosistemas los cuales a su vez alteran el equilibrio ecológico y la calidad de vida de los seres vivos.

La necesidad de alternativas de tecnología para la industria moderna, mediante la implementación de prácticas amigables con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos disponibles, crea un clima favorable para la promoción e implementación de la tecnología de cortadores de plasma accionados por control numérico computarizado, obteniendo de esta forma como beneficio un adelanto en el sector industrial. Por lo tanto, se debe aprovechar de manera eficiente este tipo de tecnología para sustituir los tradicionales procesos de producción, los cuales son ineficientes y de altos índices de contaminación.

Con la propuesta de este diseño se aporta significativamente en la reducción de la contaminación ambiental al realizar los procesos de corte de una forma más rápida reduciendo de esta manera los gases causantes de la contaminación, convirtiéndose en una tecnología que puede suplantar los procesos de corte actuales existentes en nuestro medio sin alterar el medio circundante.

## **g.- DISCUSIÓN.**

La máquina de corte por plasma CNC desarrollada, cumple de manera satisfactoria los objetivos planteados en el proceso investigativo. Se ha logrado implementar un equipo con tecnología local, lo que reduce significativamente el costo del prototipo, sin dejar de lado el aspecto más importante de este tipo de máquinas que es la precisión y la flexibilidad funcional como máquina herramienta.

Los accionamientos especiales (motores paso a paso), las tarjetas de control y mando y el software de intercomunicación pc-máquina seleccionados son de fácil manejo y adaptación para cualquier tipo de aprovechamiento CNC (fresadora, plasma y torno), lo que significó un gran aporte en la fase de implementación de nuestro proyecto. Los elementos antes mencionados poseen alta calidad y pueden ser acondicionados para cualquier aplicación industrial sin ningún impedimento.

Por último, la etapa de pruebas se logró evidenciar la gran aplicación y eficacia de la máquina propuesta.

A continuación se muestra la aplicación de la máquina mediante un ejemplo:

Primeramente se debe crear una pieza patrón mediante un software de diseño asistido por computador, para esto se utilizará el AutoCAD, como se muestra en la figura 72, la misma que debe ser guardada en extensión \*.dxf.

Cabe mencionar que al momento de guardar el diseño, este debe estar colocado lo más cercano posible al punto de origen X y Y, que se muestra en la pantalla del AutoCAD, para que al momento de importar dicho archivo al Mach3 este tome las coordenadas correctas y se centre en la pantalla del mismo.

Luego ejecutamos el software Mach3, y procedemos a importar el archivo \*.dxf, siguiendo los pasos que a continuación se detallan.

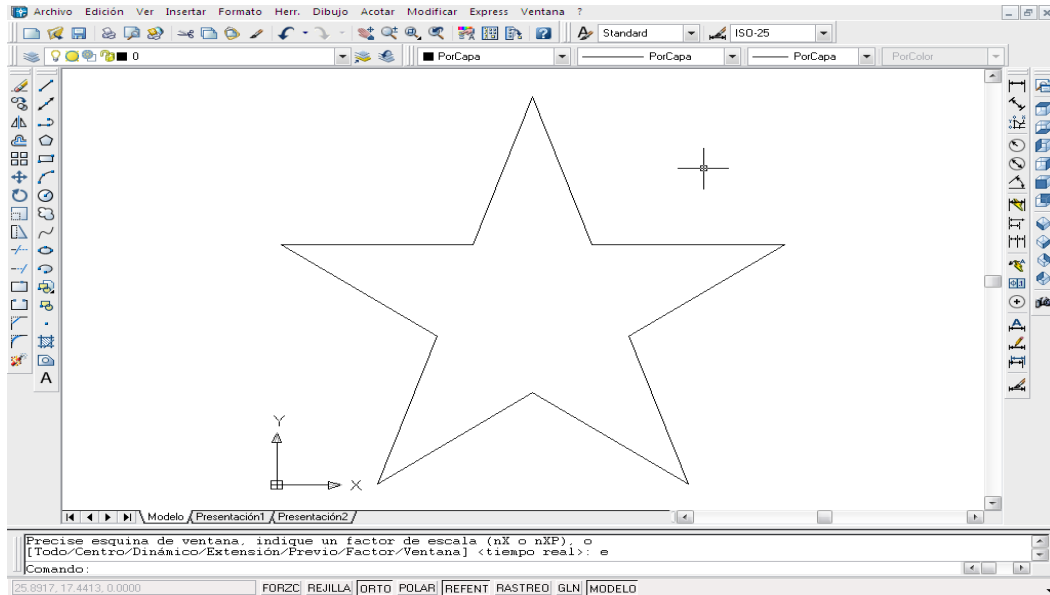


Figura 72. Diseño de la pieza patrón en AutoCAD.

Fuente: (AutoCAD 2012)

En la parte superior de la ventana del Mach3, damos un clic en el menú **File**, ► **Import DXF's**. (Figura 73), se nos desplegara la ventana **DXF Import**, ejecutamos **Load File** ► **Abrir**, aquí seleccionamos el archivo \*.dxf, figura 74 y figura 75.

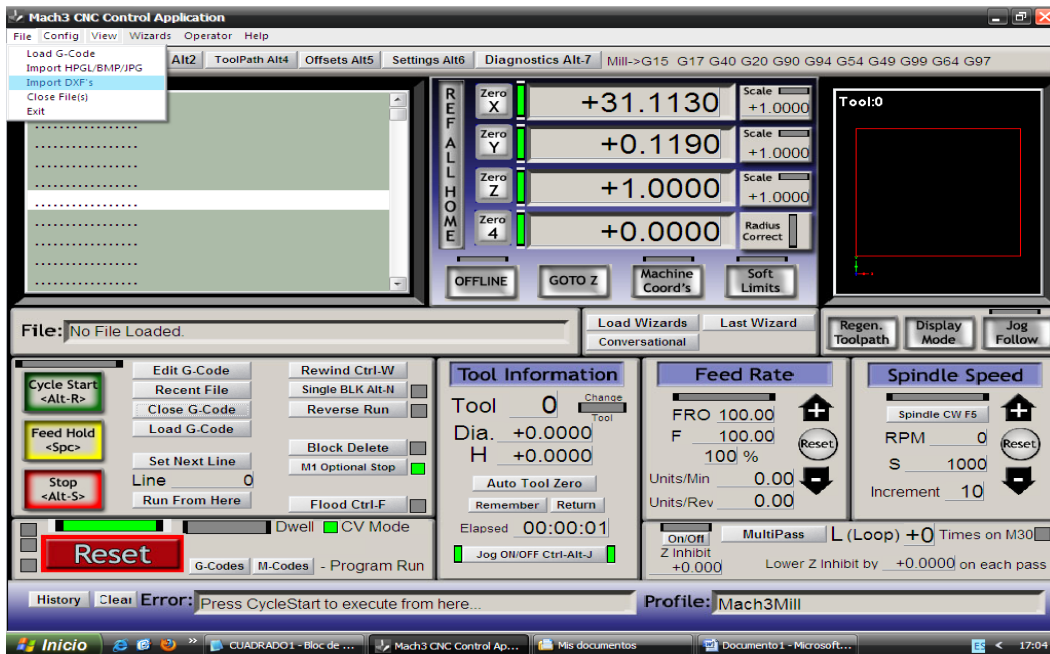


Figura 73. Proceso import DXF's.

Fuente: (Mach3, 2012)



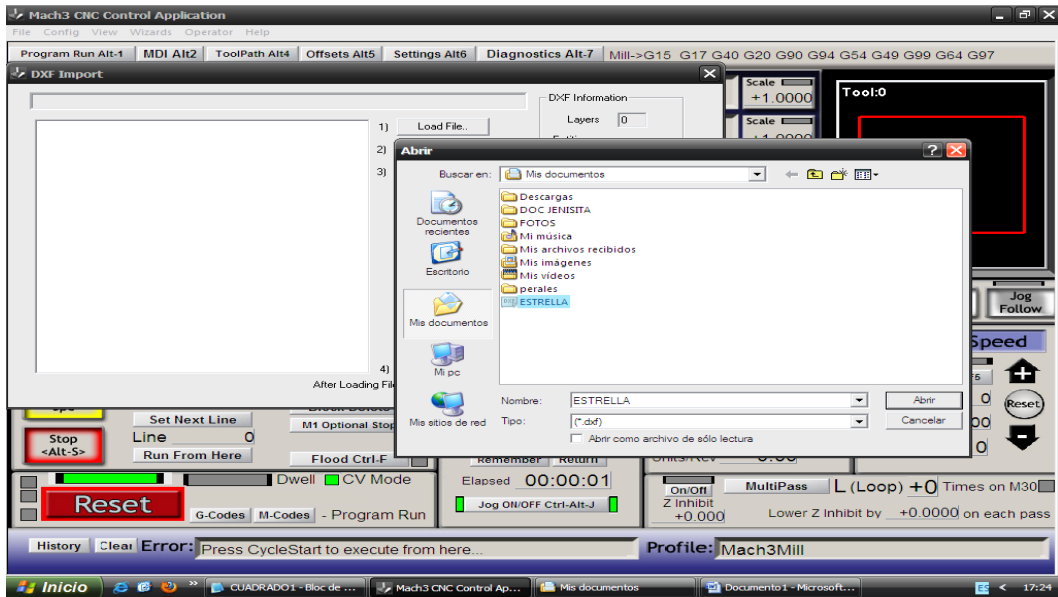


Figura 74. Selección del archivo DXF.

Fuente: (Mach3, 2012)

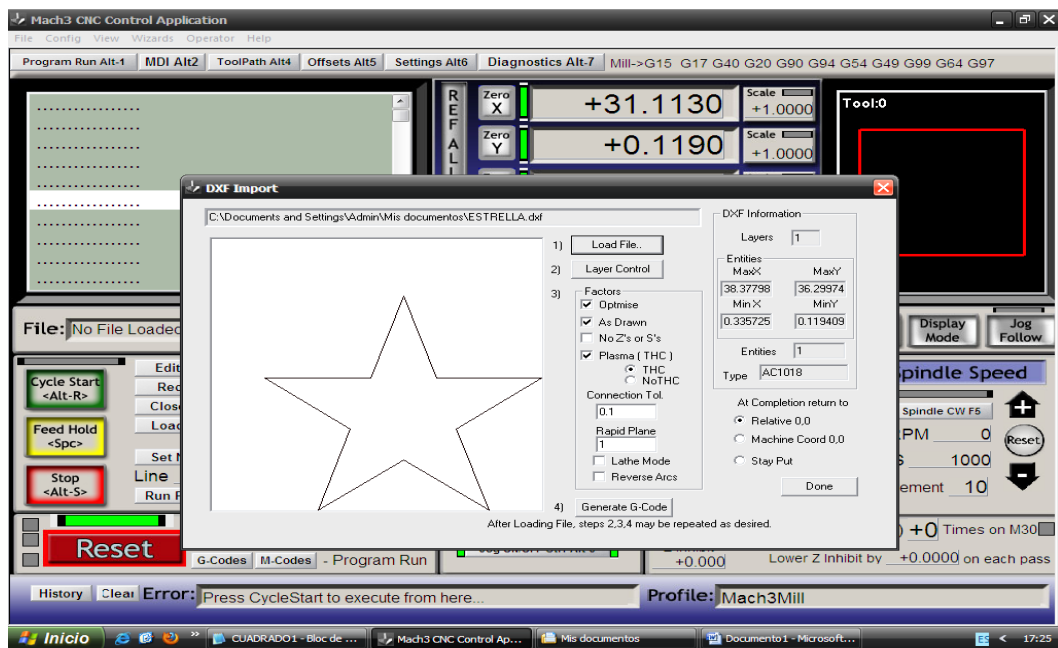


Figura 75. Importación del archivo DXF.

Fuente: (Mach3, 2012)

Seguidamente ejecutamos la opción **Generate G- Code** y luego **Done**, una vez concluida la importación de la superficie a mecanizar, el Mach3 debe generar automáticamente los códigos que servirán como instrucciones para el mecanizado (figura 76).

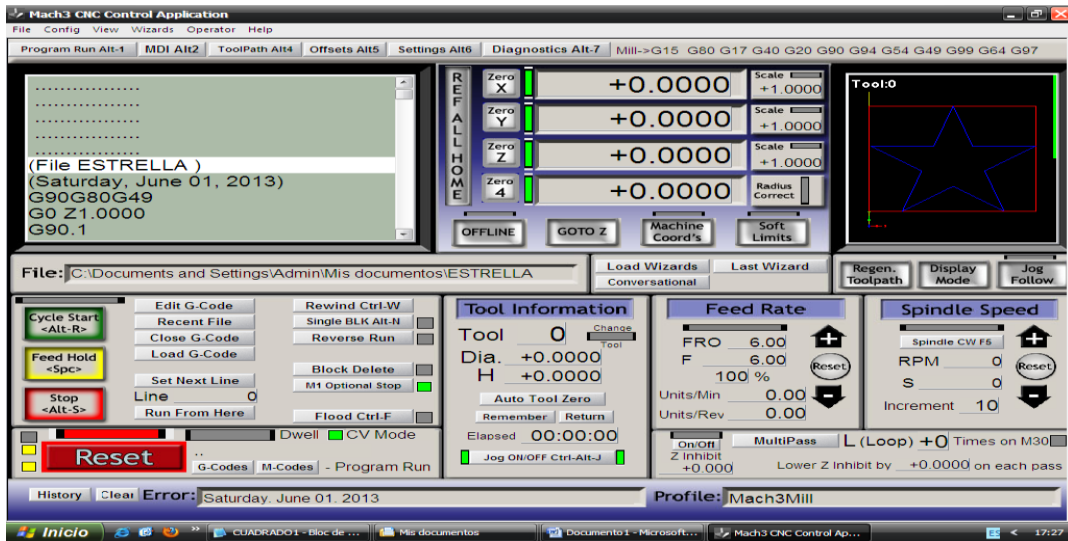


Figura 76. Generación de Códigos G.

Fuente: (Mach3, 2012)

Dentro de estos códigos podemos destacar los del tipo G para órdenes directas, los del tipo M para operaciones especiales, S para habilitación de la antorcha y F para configurar la velocidad de avance en el corte.

Finalmente en la pantalla principal del Mach3 pulsamos el botón **Cycle Start**, y el programa mandara la orden para que se corte la pieza diseñada. (Figura 77).

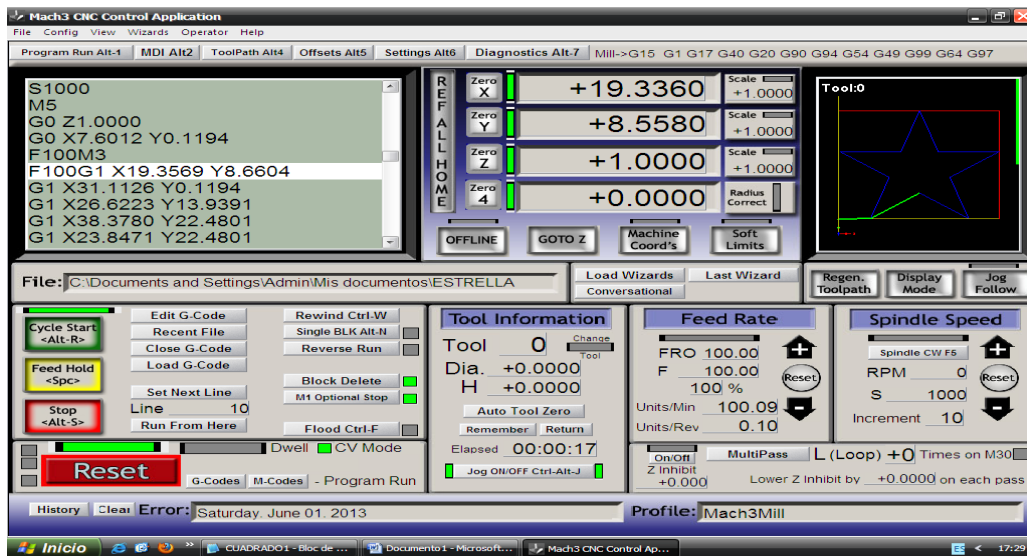


Figura 77. Mach3 en proceso de mecanizado.

Fuente: (Mach3, 2012)

## **h.- CONCLUSIONES.**

- ✓ Las diferentes fuentes consultadas, permitieron definir satisfactoriamente el conjunto de características técnicas y físicas que debería tener un prototipo C.N.C., obteniendo de esta manera una herramienta de Control Numérico de gran utilidad y sencillez operacional.
- ✓ El sistema mecánico diseñado y posteriormente implementado, permite de forma eficaz el desplazamiento de la antorcha de corte en los ejes X, Y y Z con una precisión aceptable, pudiendo ser mejorado si se utilizan componentes de mayor precisión existentes solamente en el mercado exterior.
- ✓ Los dispositivos de control seleccionados (Interface, y Stepper Driver), cumplen con las características de mando, comunicación y demás parámetros funcionales para los motores paso a paso, logrando de esta manera desarrollar el conjunto de maniobras de corte requeridas en una máquina C.N.C.
- ✓ La herramienta CAM seleccionada (Mach3), es una aplicación exclusiva para máquinas C.N.C. (Plasma, Torno y Fresadora), de fácil implementación y uso, que garantiza el funcionamiento correcto del prototipo.
- ✓ Luego de la fase de pruebas funcionales del prototipo, se establece los siguientes parámetros técnicos de operación, relacionando la velocidad de corte y el espesor de la lámina sometida al proceso de corte por plasma:

*Parámetros de corte en función del espesor de la lámina.*

<i>Acero dulce</i>	
<i>Velocidades máximas para cortar a salida de 27 amps.</i>	
<i>Grosor</i>	<i>Velocidad aproximada de avance</i>
16 calibre (1,5 mm)	188 pulgs/min (4775 mm/min)
3/16 pulg. (4,8 mm)	40 pulgs/min (1016 mm/min)
1/4 pulg. (6,4 mm)	24 pulgs/min (610 mm/min)
3/8 pulg. (9,5 mm)	14 pulgs/min (256 mm/min)
1/2 pulg. (12,7 mm)	6 pulgs/min (152 mm/min)
<i>Velocidades máximas para cortar a salida de 20 amps.</i>	
<i>Grosor</i>	<i>Velocidad aproximada de avance</i>
16 calibre (1,5 mm)	162 pulgs/min (4115 mm/min)
3/16 pulg. (4,8 mm)	26 pulgs/min (660 mm/min)
1/4 pulg. (6,4 mm)	18 pulgs/min (457 mm/min)
3/8 pulg. (9,5 mm)	7 pulgs/min (178 mm/min)

Las velocidades de avance son aproximadamente 80% del máximo

## **i.- RECOMENDACIONES**

- ✓ Cumplir con todas las normas de seguridad vigentes; antes, durante y después del proceso de corte por plasma, tanto para el equipo como para el personal que opere la máquina, así de esta manera evitar accidentes de cualquier índole.
- ✓ Verificar de forma regular los parámetros de configuración y calibración del cortador por plasma dentro del software Mach3, con el fin de arreglar algún tipo de desconfiguración que se haya dado, además para obtener los mejores resultados y precisión en los cortes que se va a realizar.
- ✓ Conocer antes de operar la máquina sus características técnicas, tales como: recorridos de los ejes y velocidades mínimas y máximas de avance para el corte por plasma.
- ✓ Manipular correctamente: conexiones eléctricas, electrónicas y dispositivos de control, para evitar posibles malas instalaciones que pongan en riesgo el funcionamiento del cortador por plasma CNC.
- ✓ Conocer perfectamente el funcionamiento del cortador por plasma CNC y del software Mach3, para poder operarlo y obtener el mayor rendimiento del mismo durante el proceso de corte.
- ✓ Verificar en forma regular los parámetros de calibración del cortador por plasma (pasos por unidad de tiempo, velocidad y aceleración), utilizando los procedimientos preestablecidos para mantener los mejores resultados en el proceso de corte.
- ✓ Mantener las tarjetas electrónicas siempre protegidas de la humedad y el polvo, para evitar daños por corrosión y alargar la vida útil de las mismas.
- ✓ Supervisar continuamente el estado de fusibles y del interruptor termomagnético para mantener todas las seguridades disponibles en el caso de presentarse un acto inseguro o de mala maniobra.

## **j.- BIBLIOGRAFÍA**

### **LIROS:**

- ✓ **FAIRES**, Virgil Moring. 1985. Diseño de Elementos de Máquinas. Barcelona: I Montaner y Simón S.A, 1985.
- ✓ **GIACHINO**, Joseph y **WEEKS**, William. 2007. Técnica y práctica de la Soldadura. Barcelona: Reveté, 2007.
- ✓ **PISARENKO, G.S, YAKOVLEV, A.P y MATVEEV, V. V.** 1979. Manual de Resistencia de Materiales. Rumania: MIR, 1979.
- ✓ **SITENORDESTE**, 2009. Clasificación de los Controles Numéricos. [En línea] 2009. [Citado el: 19 de Septiembre de 2012.]

### **SITIOS WEB:**

- ✓ **GODINEZ**, Claudia. 2009. Control Numérico CN. [En línea] Mayo de 2009. [Citado el: 03 de diciembre de 2011.] [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_mecanica/controlnumericocnc.com](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/controlnumericocnc.com)
- ✓ **CASTELL**, Esteban. 2007. [www.esteca55.com.ar](http://www.esteca55.com.ar). [En línea] Esteca55, 2007. <http://www.esteca55.com.ar/tuto-home&limit.html>.
- ✓ **WIKIPEDIA**, 2011. Plasma estado de la Materia. [En línea] 2011. [Citado el: 23 de Mayo de 2012.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Plasma\\_\(estado\\_de\\_la\\_materia\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Plasma_(estado_de_la_materia)).
- ✓ **IIMPI**. 2007. <http://www.fing.edu.uy>. [En línea] 2007. <http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/elemmaq/teorico/TornilloDePotencia2007.PDF>.
- ✓ **CUENCA**, Fernando. 2007. Motores paso a paso Híbridos. [En línea] Mayo de 2007. [Citado el: 12 de Marzo de 2010.] <http://www.ib.cnea.gov.ar/nmayer/monografias/pasoapaso.pdf>.


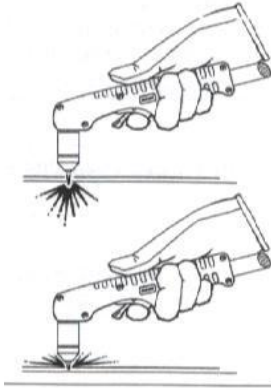
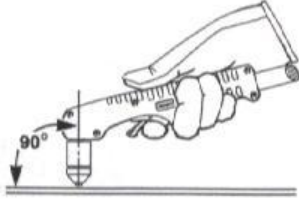
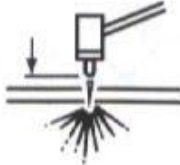
- ✓ **KELING**, 2013. www.kelinginc.net. [En línea] Enero de 2013. [Citado el: 19 de Mayo de 2013.] <http://kelinginc.net/productos/catalogos.htm>.
- ✓ **TORRES**, Hector. 2005. Sensores. [En línea] Enero de 2011. [Citado el: 06 de Enero de 2011.] [http://www.lihectortorres.files.wordpress.com/2011/01/unidad\\_1\\_interfaces.ppt](http://www.lihectortorres.files.wordpress.com/2011/01/unidad_1_interfaces.ppt).
- ✓ **ARTSOF**, 2009. Mach3 y LazyCam. [En línea] 2009. [Citado el: 13 de Diciembre de 2011.] <http://www.machsupport.com/downloads.php>.
- ✓ **MILLER**, 2007. Miller Spectrum 375 X-treme plasma cutter. [En línea] Miller, Julio de 2007. [Citado el: 21 de Enero de 2012.] <http://millerwelds.com/products/plasma/product.php?model=M13811/>.
- ✓ **COLMENARES**, Javier. 2008. Motores paso a paso. [En línea] Octubre de 2008. [Citado el: 10 de Febrero de 2010.] <http://www.monografias.com/trabajos17/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso.shtml>.
- ✓ **ZUIVI**, Joseph. 2010. Automatización. [En línea] Marzo de 2010. [Citado el: 02 de julio de 2011.] <http://html.rincondelvago.com/automatizacion.html>
- ✓ **CARLETTI**, Eduardo. 2009. Motores paso a paso, Características básicas. [En línea] Robots-Argentina, Junio de 2009. [Citado el: 28 de abril de 2010.] [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm).
- ✓ **SCHNEIDER ELECTRIC**, 2010. www.schneiderelectric.com. [En línea] julio de 2010. <http://www.schneiderelectric/productos/catalogos.htm>.
- ✓ **TECNOEDU**, 2008. <http://www.tecnoedu.com/Denford/GM.php>. [En línea] Tecnoedu, 2008. <http://www.tecnoedu.com/Denford/GM.php>.
- ✓ **TECNOFICIO**, 2009. Soldadura y corte con arco de plasma. [En línea] 2009. [Citado el: 09 de Mayo de 2010.] [http://www.tecnoficio.com/soldadura/soldadura\\_de\\_plasma.php](http://www.tecnoficio.com/soldadura/soldadura_de_plasma.php).

- ✓ **MECANESO**, 2006. <http://www.tecneweb.com.ar/Apuntes/mecanismos.htm>.  
[En línea] 2006. <http://www.tecneweb.com.ar/Apuntes/mecanismos.htm>.
- ✓ **TODOROBOT**, 2008. [www.todorobot.com.ar](http://www.todorobot.com.ar). [En línea] 2000.  
<http://www.todorobot.com.ar/proyectos/paralelo/paralelo.htm>.

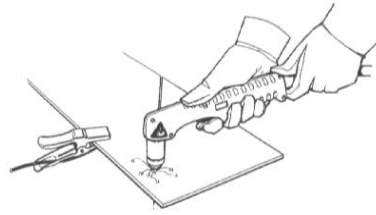


## k. ANEXOS

### Anexo 1. Técnicas y procedimientos para el corte con plasma

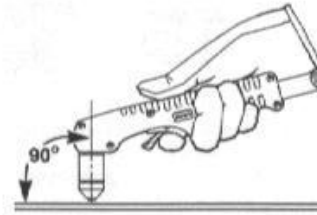
TÉCNICAS DE CORTE CON LA ANTORCHA MANUAL	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Disparando la antorcha innecesariamente reduce la vida de la boquilla y del electrodo.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Al cortar, asegúrese que las chispas están saliendo del fondo de la pieza de trabajo.</i></li><li>• <i>Si las chispas están rociando hacia arriba de la pieza de trabajo, usted está moviendo la antorcha demasiado rápido o sin el poder suficiente.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Sostenga la boquilla de la antorcha a una posición vertical y mire el arco como corta a lo largo de la línea.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Consumibles desprotegidos. Mantener la distancia de trabajo aproximadamente de 1/16 in. ó 1.5 mm desde la antorcha hasta la pieza de trabajo.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Consumibles protegidos. No empuje hacia abajo la antorcha al cortar. Ligeramente arrastre la antorcha por el pedazo de trabajo para mantener un corte firme.</i></li><li>• <i>Arrastrando la antorcha a través del corte es más fácil que empujándolo. Para cortar el material delgado, reduzca la corriente hasta que usted consiga el corte de calidad mejor.</i></li><li>• <i>Para los cortes de línea recta, use un borde recto como una guía. Para cortar los círculos, use una plantilla.</i></li><li>• <i>Sujete la abrazadera de trabajo firmemente a la pieza de trabajo. Elimine el óxido, pintura u otras capas para asegurar un contacto eléctrico bueno.</i></li></ul>	

- *Sujete la abrazadera de trabajo como cierre si es posible al área que está cortado, reduzca la exposición a los campos electromagnéticos (EMF). No sujete al pedazo que se caerá.*

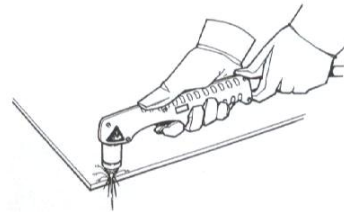


*Al empezar un corte al filo o borde de la pieza tenga en cuenta las siguientes condiciones:*

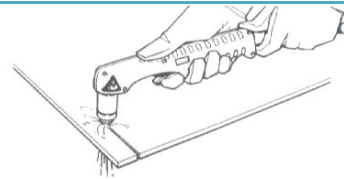
- *Sostenga la boquilla de la antorcha vertical al borde o filo de la pieza de trabajo.*



- *Empiece el corte del borde o filo de la pieza de trabajo.*

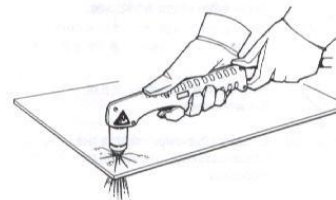
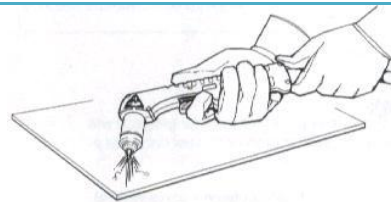


- *Haga una pausa al borde hasta que el arco haya cortado completamente a través de la pieza de trabajo. Luego, proceda con el corte.*

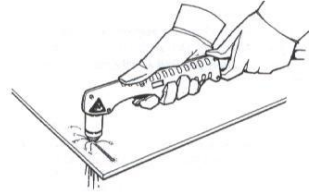


*Para el agujereado tenga en cuenta las siguientes condiciones:*

- *Sostenga la antorcha para que la boquilla esté dentro de 1/16 in. ó 1, 5mm. de la pieza de antes de disparar la antorcha.*
- *Dispare la antorcha a un ángulo de la pieza de trabajo, despacio gírelo a la posición correcta.*
- *Cuando las chispas están saliendo del fondo de la pieza de trabajo, el arco ha agujereado a través del material.*

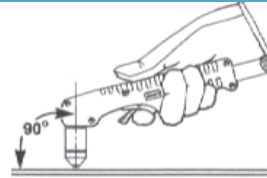


- **Cuando el agujero está completo, proceda con el corte.**

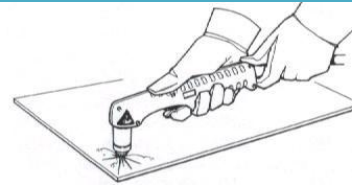


*Para el acanalado tenga en cuenta las siguientes condiciones:*

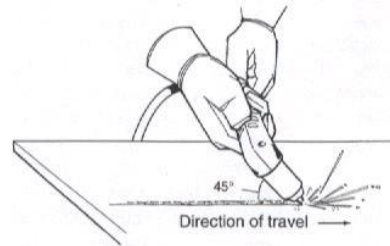
- **Sostenga la antorcha perpendicularmente a la pieza de trabajo.**



- **Apriete el gatillo para transferir el arco.**



- **Gire la antorcha a 45° de la pieza de trabajo. Realice el canal.**



## Anexo 2. Manual de funcionamiento Cortadora MILLER SPECTRUM 375 X-TREME.

# Spectrum® 375 X-TREME™

Emitido Julio 2007 • Índice No. PC/9.2S

Corte por plasma aire 

### Especificaciones rápidas

#### Aplicaciones Industriales

Mantenimiento  
Construcción liviana  
Haciendo prototipos  
Talleres de carrocerías  
Fabricación  
Conductos de calefacción y aire acondicionado

#### Proceso

Corte por plasma aire

#### Salida nominal

27 A al 92 VCD,  
35% Ciclo de trabajo

#### Capacidad de corte

Nominal: 3/8 pulg. (10 mm)  
De calidad: 1/2 pulg. (13 mm)  
De separación: 5/8 pulg. (16 mm)

#### Peso

Con antorcha: 18 lb. (8,2 kg)

#### Flujo de gas plasma / requisitos de presión

4,5 pies cúb./min. (128 L/min) a 90 lb./pulg. cuad. (621 kPa) mín  
120 lb./pulg. cuad. (828 kPa) máx

## La potencia del azul.®

**Versatilidad X-TREME, Auto Line™** da la versatilidad más moderna al usuario. Los circuitos Auto-Line se conectan automáticamente a 115–230 VCA monofásico, 50/60 Hz sin tener que quitar las tapas para reconectar la fuente de poder. Ya no existe la preocupación acerca de que si uno tiene la máquina correcta para el taller o lugar específico de trabajo.

#### X-TREME Protection — X-CASE™

(Estuche de protección extrema) da la protección máxima durante transporte y almacenamiento. Espacio adicional para enchufes MVP, caja de consumibles, al igual que guantes, protección para los ojos, etc.

**Portabilidad X-TREME** — Portátil en el taller o en el lugar de trabajo. Peso de sólo 18 lbs. Permite el uso de la correa de hombro para llevarla fácilmente de lugar a lugar.

**Puede ser impulsada por cualquier máquina de motor de Miller** con su generador de potencia (por ej. la Bobcat™) o equipo equivalente de la competencia. Vea la página 3 para detalles de la compatibilidad de máquinas a motor y las fijaciones recomendadas.

**Indicadores luminosos (LED) de presión, potencia, copa y temperatura** permiten encontrar averías más rápidamente, eliminando tiempo muerto innecesario.

Incluye **pinza de servicio pesado**.

**Diseño ergonómico de la antorcha ICE-27T** con comodidad incrementada, gatillo de seguridad y copa y difusor mejorados.

**Presión de aire prefijada en la fábrica** — no existe la necesidad de ajustar la presión de aire. La unidad automáticamente regula la presión de aire a la antorcha.

**¡Nueva!**

#### Viene completa con:

- ICE-27T, antorcha manual con 12 pies (3,7 m) de cable
- Pinza de trabajo de servicio pesado con cable de 12 pies (3,7 m)
- El estuche X-CASE™ da protección para el transporte y almacenaje
- De los enchufes MVP™ 5-15P (115V, 15A), 6-50P (230V, 50A)
- Caja de consumibles con 3 electrodos, 3 puntas y acople para aire
- Cordón de potencia MVP de 10 pies (3 m)
- Sistema de manejar cables (sólo el paquete X-CASE)



**LVC™ compensación de voltaje de línea** provee máximo rendimiento bajo condiciones variables (fluctuaciones hasta de ±15%) para cortes firmes y fines del corte más parejos.

**Regulador de Gas/filtro de aire dentro de la fuente de poder** da protección adicional durante transporte. Tiene conexión de aire estándar en el panel de atrás para fácil conexión de gas o aire.

**Arranca sin alta frecuencia** para no interferir con, ni dañar a controles ni a computadoras.



El enchufe exclusivo de Miller **multi-voltage plug (MVP™)** permite la conexión a receptáculos de 115 ó 230 voltios sin el uso de herramientas. Escoja el enchufe que se empareja con el receptáculo, y conéctelo al cordón de potencia.

**TRUE BLUE**  
3YR. WARRANTY

La fuente de poder está garantizada por 3 años, piezas y mano de obra.  
La antorcha ICE está garantizada por 1 año, piezas y mano de obra.

MADE IN **USA**  
APPLETON, WI



**Miller Electric Mfg. Co.**  
An Illinois Tool Works Company  
1635 West Spencer Street  
Appleton, WI 54914 USA

**Sede Internacional**  
Teléfono: 920-735-4505  
USA FAX: 920-735-4134  
Canadá FAX: 920-735-4169  
FAX Internacional: 920-735-4125

**Portal de Internet**  
www.MillerWelds.com





## Las especificaciones (pueden cambiar sin previo aviso.)

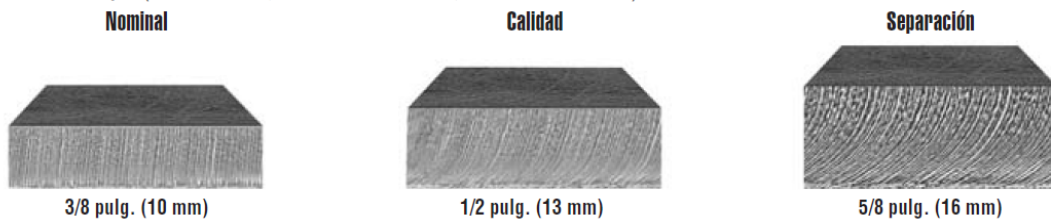


Potencia de entrada	Salida nominal	Entrada de Amps. a salida nominal, 50/60 Hz, monofásica	KVA	KW	Gas de plasma	Dimensiones	Peso con antorcha
240 V	27 A al 92 VCD, 35% ciclo de trabajo	13,9	3,4	3,2	Aire o nitrógeno solamente	Alt.: 9 pulg. (229 mm) Ancho: 5-1/2 pulg. (140 mm) Prof.: 13-1/4 pulg. (337 mm)	Neto: 18 lb. (8,2 kg) Embarque: 23 lb. (10,5 kg)
120 V (20 A)	27 A al 92 VCD, 20% ciclo de trabajo	28,8	3,4	3,2			
120 V (15 A)	20 A al 88 VCD, 35% ciclo de trabajo	20,6	2,5	2,3			

\*Circuito recomendado de 30 A para rendimiento máximo. El rendimiento en un circuito de 20 A puede ser limitado debido al disyuntor/fusible. Reduciendo la salida de amperaje de la unidad minimizará interrupciones molestosas del fusible/disyuntor.

## Capacidad de corte de acero dulce (El espesor está a escala.)

Cortando a 27 amps. (servicio 115 V, 20 A con 5-20P MVP, ó 230 V 6-50P MVP)



Nota: La capacidad de perforación máxima recomendada para las aplicaciones sostenidas a mano es de 3/16 pulg. (4,8 mm).

Cortando a 20 amps. (servicio de 115 V, 15 A con 5-15P MVP)



**Capacidad nominal de corte**  
10 pulgadas por minuto (la velocidad mínima a la cual el operador consigue un corte suave, constante usando una antorcha de mano).

**Capacidad máxima de corte de calidad**  
Corte de buena calidad obtenido a velocidades más bajas.

**Capacidad de corte de separación**  
Corte máximo conseguido en condiciones ideales.

Nota: La capacidad de perforación máxima recomendada para las aplicaciones sostenidas a mano es de 1/8 pulg. (3,2 mm). Para aluminio y otros metales con conducción termal alta, la capacidad de corte se reducirá hasta tanto como un 30%.

## Rendimiento de corte

### Acero dulce

Velocidades máximas para cortar a salida de 27 amps.

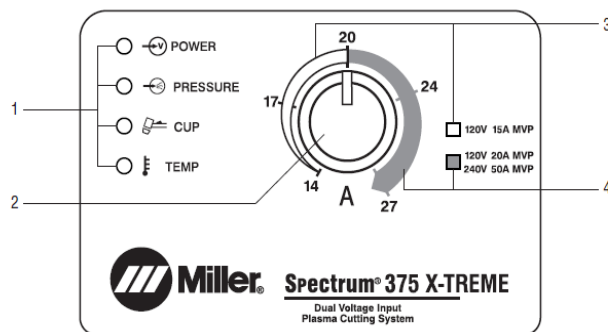
Grosor	Velocidad aproximada de avance*
16 calibre (1,5 mm)	188 pulgs./min. (4775 mm/min)
3/16 pulg. (4,8 mm)	40 pulgs./min. (1016 mm/min)
1/4 pulg. (6,4 mm)	24 pulgs./min. (610 mm/min)
3/8 pulg. (9,5 mm)	14 pulgs./min. (256 mm/min)
1/2 pulg. (12,7 mm)	6 pulgs./min. (152 mm/min)

Velocidades máximas para cortar a salida de 20 amps.

Grosor	Velocidad aproximada de avance*
16 calibre (1,5 mm)	162 pulgs./min. (4115 mm/min)
3/16 pulg. (4,8 mm)	26 pulgs./min. (660 mm/min)
1/4 pulg. (6,4 mm)	18 pulgs./min. (457 mm/min)
3/8 pulg. (9,5 mm)	7 pulgs./min. (178 mm/min)

\*Las velocidades de avance son aproximadamente 80% del máximo.

## Panel de control



1. Luces de estatus y de búsqueda de averías
2. Control de Salida
3. Gama para 120 V, 15 A, 5-15P MVP™
4. Gama para 120 V, 20 A, 5-20P, MVP™ ó 230 V, 50 A, 6-50P, MVP™

## Compatibilidad de máquinas impulsadas a motor

Equipo	Vatios de potencia de generador (continuo)	Corte de calidad para acero	Fijación de amperios de salida de la Spectrum
Bobcat™ 225	9500	3/8 pulg.	Enchufe de 27 A, 240 V, KVA completo
Bobcat™ 250	9500	3/8 pulg.	Enchufe de 27 A, 240 V, KVA completo
Trailblazer® 302	9500	3/8 pulg.	Enchufe de 27 A, 240 V, KVA completo
Trailblazer® Pro 350 D	12,000	3/8 pulg.	Enchufe de 27 A, 240 V, KVA completo
PRO 300	12,000	3/8 pulg.	Enchufe de 27 A, 240 V, KVA completo
Blue Star® 185	5500	3/8 pulg.	Enchufe de 27 A, 240 V, KVA completo

## Accesorios genuinos de Miller



**X-CASE™ #300 184**  
El fuerte estuche proporciona la máxima protección para transportar y almacenar.

También tiene una asa de agarrar encima, y lugares hundidos laterales para agarrar con las manos. Almacene la Spectrum® 375 X-TREME, accesorios y otros artículos en este amplio estuche para estar listo a salir a todo momento. Dimensiones 13 pulg. Al., x 10-1/2 pulg. de An., x 30-5/8 pulg. de Prof. (330 x 267 x 778 mm).



**Sistema para manejar cables #228 941**  
Controla los cables mientras viaja. Tiras tejidas de nilón con grapas de rápida liberación y tiras de Velcro® mantiene a los cables juntos. El sistema se atornilla en caja de la Spectrum® 375 X-TREME™. *Ordénelo de Miller Service Parts.*



**Juego de consumibles ICE-27T #222 939**

El juego de consumibles incluye 5 electrodos, 5 puntas, 1 difusor, 1 copa de retención,

1 junta tórica y grasa de silicona. *Ordénelo de Miller Service Parts.*



**Guía que rueda para alejar la punta #194 883**  
Ayuda a mantener la distancia recomendada para maximizar el

rendimiento de corte y mejorar la vida útil de la punta.



**Guía para cortar por plasma a círculos #195 981**

Corte líneas rectas o círculos de hasta un diámetro de 12 pulg. con facilidad.



**Base de succión giratoria/magnética #195 979**

Añada esto a su guía de corte para juntarla convenientemente a superficies planas. El brazo extendido acomoda huecos de hasta un diámetro de 30 pulgadas.



Receptáculo hembra

**Cordón adaptador, total kva #300 158**  
Campo. NEMA 14-50P a NEMA 6/50R. Adapta el enchufe de generadora a motor de 120/240 V al enchufe del Spectrum® 240 V.



**Juego de filtro de aire en línea #228 926**

Se hace montaje en la parte de atrás del Spectrum® 375 X-TREME™, 375, 625, 2050, 1000, 1251. Incluye acoples de conexión rápida machos y hembras de 1/4 pulg. en NPT y manguera para conexión fácil de conectar, desconectar. El elemento de filtro reemplazable filtra hasta 0,85 micrones. *Ordénelo de Miller Service Parts.*

**Elemento de reemplazo de filtro de aire en línea #228 928**

Incluye 1 filtro de reemplazo para el filtro en línea No. 228 926. *Ordénelo de Miller Service Parts.*



**Guantes MIG**

#227 821 Pequeño  
#227 822 Mediano  
#227 823 Grande  
#227 824 Extra grande  
*Para soldadura MIG de servicio mediano y tareas de trabajo de metal. Combinación de cuero de*

*res en la palma duradero y un reverso de cuero de cerdo resistente a la abrasión en la parte de atrás cosido con hilo de "Kevlar®."*



**Guantes del Trabajador de Metal**

#227 817 Pequeño  
#227 818 Mediano  
#227 819 Grande  
#227 820 Extra grande

*Diseñado para las demandas diarias del trabajador de metal y la persona que maneja materiales. Cuero de chivo, almohadillado en la palma con una porción para agarrar bien "G-Grip™." Muñeca de "Neoprene" con cerradura de "Velcro®" para que se ajuste mejor. NO es diseñado para usar mientras esté soldando.*

## Enchufes adaptadores MVP™

*Ordénelo de Miller Service Parts.*



**#219 258**  
Para cable de potencia 6-50P (230 V/50 A).  
Incluido con la máquina.

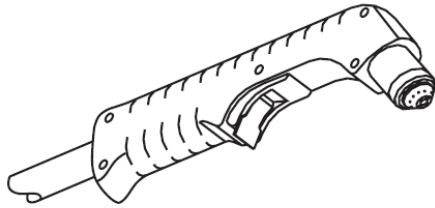


**#219 261**  
Para cable de potencia 5-15P (115 V/15 A).  
Incluido con la máquina.

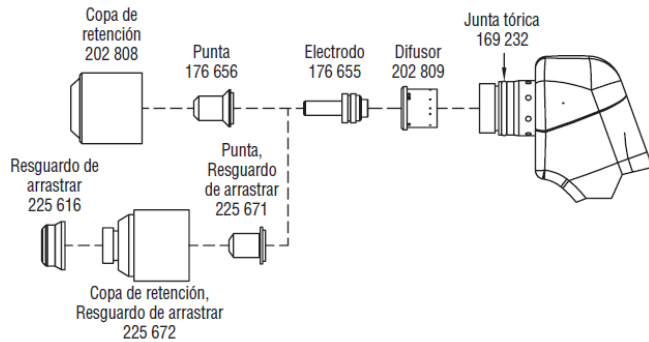


**#219 259**  
Para cable de potencia 5-20P (115 V/20 A). Opcional.

## Antorcha de reemplazo y consumibles



ICE-27T, Antorcha de mano de 12 pies (3,7 m)  
#225 615



## Información para pedidos

Fuente de poder y opciones	Número de catálogo	Descripción	Cant.	Precio
Spectrum® 375 X-TREME™ con X-CASE™	#907 339	De 115/230 VCA, 50/60 Hz, con antorcha de mano ICE-27T de 12 pies (3,7 m) y X-CASE™		
Spectrum® 375 X-TREME™ (solamente)	#907 303	De 115/230 VCA, 50/60 Hz, con antorcha de mano ICE-27T de 12 pies (3,7 m)		
X-CASE™ (solamente)	#300 184	Estuche de cargar para la Spectrum® 375 X-TREME™		
<b>Antorchas de reemplazo y Consumibles</b>				
ICE-27T Antorcha de mano	#225 615	12 pies (3,7 m). <i>Ordénela de Miller Service Parts</i>		
Consumibles		Vea página 3		
<b>Accesorios</b>				
Sistema de control de cables	#228 941	Campo. <i>Ordénela de Miller Service Parts</i>		
Juego de consumibles ICE-27T	#222 939	Incluye 5 electrodos, 5 puntas, 1 difusor, 1 copa de retención, 1 junta tórica y grasa de silicona. <i>Ordénela de Miller Service Parts</i>		
Grasa de silicona	#169 231			
Guía que rueda para alejar la punta del plasma	#194 883			
Guía para cortar círculos por plasma	#195 981			
Base giratoria de succión/magnética	#195 979			
Cordón adaptador, total kva	#300 158	Adapta el enchufe de generadora a motor de 120/240 V al enchufe del Spectrum® 240 V.		
Juego de filtro de aire en línea	#228 926	<i>Ordénela de Miller Service Parts</i>		
Elemento de reemplazo de filtro de aire en línea	#228 928	<i>Ordénela de Miller Service Parts</i>		
Guantes MIG		Vea página 3		
Guantes del Trabajador		Vea página 3		
Enchufes de adaptar MVP™		Vea página 3. <i>Ordénela de Miller Service Parts</i>		

Fecha:

Precio total cotizado:


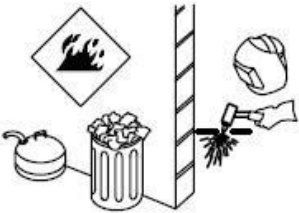


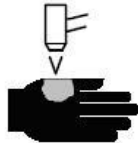
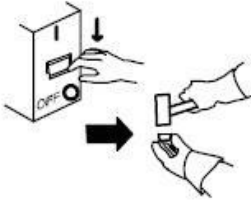
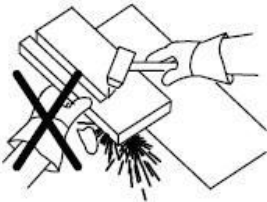
\*  Certificado ante normas del Canadá y EE.UU. para equipos de soldadura.



Distribuido por:

Lito. en E.E.U.U.

### Anexo 3. Las normas de seguridad para corte con Plasma.

NORMAS DE SEGURIDAD	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>El cortar puede causar fuego o explosión.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>No corte cerca de materiales inflamables. Mueva los materiales inflamables por lo menos a una distancia de 35 pies (11 metros) o protéjalos con cubiertas contra llamas.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Las chispas provenientes del corte pueden causar fuego. Tenga un extintor de fuego cercano y tenga una persona vigilando que esté lista a usarlo.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>No corte tambores, tanques, o cualquier recipiente cerrado a no ser que una persona capacitada les ha examinado y los ha declarado, o esté preparado a declararlos, seguros.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>El arco de plasma puede causar lesiones y quemaduras.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Apague la fuente de alimentación antes de desarmar la antorcha.</i></li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>No agarre material que esté cerca del área de cortadura. No toque las partes calientes con las manos sin protección.</i></li></ul>	



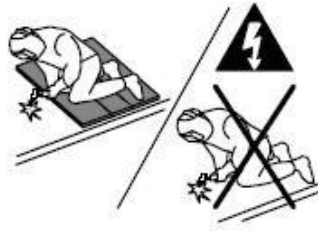
- *Una descarga eléctrica de la antorcha o del cableado, le puede matar.*



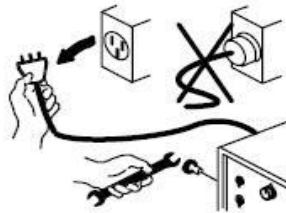
- *Use guantes aislantes secos. No use guantes mojados o deteriorados. No toque la antorcha con la mano desnuda.*



- *Protéjase del golpe eléctrico aislándose usted mismo del trabajo y la tierra. Use material para aislar seco y que no sea inflamable si es posible, o use felpudo seco hecho de hule, madera seca o madera contrachapada, u otro equipo aislante seco lo suficientemente grande para cubrir toda su área de contacto con el trabajo o la tierra, y luego asegúrese que no haya fuego.*



- *Desconecte el enchufe de entrada o la potencia de entrada antes de trabajar en la máquina. No haga conexiones de entrada si usted no puede distinguir los colores, o es daltoniano.*
- *Inspeccione con frecuencia el cordón de entrada para determinar que no haya alambres averiados o desnudos; repare o reemplace el cordón inmediatamente si tiene averías. Asegúrese que el alambre de tierra de entrada esté conectado apropiadamente a un terminal de tierra en la caja de desconexión o disyuntor.*



- *Instale el equipo y conecte a la tierra de acuerdo al manual del operador y los códigos nacionales estatales y locales.*

- *El humo y gases del corte pueden ser peligrosos a su salud si los respira.*



- *Mantenga su cabeza fuera del humo. No respire el humo. Use suficiente ventilación, ventile el arco, o ambos, para mantener el humo y los gases fuera de su zona de respiración y el área en general.*



- *Use ventilación forzada o ventile el área por succión forzada en el arco para quitar los gases y el humo de su área de respiración.*



- *Use un ventilador para quitar los gases y humo de su zona de respiración y área de soldar. Si no está convencido de cuan buena es la ventilación o escape de los gases, haga que se mida la exposición y se las compare a los valores límites de umbral (TLV en inglés).*



- *Los rayos del arco pueden quemar sus ojos y piel.*



- *Use protección para los oídos y abotónese el cuello de la camisa.*



- *Use una gorra de soldador y anteojos de seguridad con guardas laterales. Use protección para los oídos cuando esté soldando fuera de posición o en espacios limitados. Abotónese el cuello de la camisa.*



- *Use protección de cuerpo completo. Use ropa protectora que no tenga aceite tal como guantes de cuero (piel), una camisa pesada, pantalones sin bastas y botas altas.*

- *Utilizar Equipos de Protección Individual:*
- *Yelmo de soldador (casco + careta de protección), o pantalla de protección de sustentación manual según el caso*
- *Guantes de cuero*
- *Manguitos de cuero*

- *Polainas de cuero*
- *Mandil de cuero*
- *Ropa de trabajo*
- *Arnés de Trabajo en Altura según las necesidades y riesgos a prevenir.*
- *Casco de seguridad para obras según las necesidades a cubrir.*



- *Campos magnéticos puede afectar a marcadores de paso. Personas que usan marcadores de paso manténgase lejos de las operaciones de soldadura de arco y cortadura y del equipo.*

- *Las personas que usan Marcadores de Paso deben consultar su médico antes de acercarse a procesos de soldadura de arco, de punto, cortar por arco o de ranuración.*



***PARTES CALIENTES PUEDAN CAUSAR QUEMADURAS SEVERAS***

- *No toque partes y piezas que hayan sido soldadas o cortadas con la mano sin guante. Si tiene que manejarlas, use las herramientas apropiadas y use guantes aislados de soldadura para prevenir quemaduras.*
- *Permita un período de enfriamiento antes de manejar las piezas o trabajar en una antorcha o pistola de soldar.*



#### Anexo 4. Lista de Códigos G (generales).

Códigos G	
G00	Posición Transversal Rápido
G01	Movimiento lineal de la herramienta a una tasa de alimentación especificada.
G02	Movimiento Circular de la herramienta en el sentido de los punteros del reloj.
G03	Movimiento Circular de la herramienta en el sentido contrario de los punteros del reloj.
G04	Un retardo o detención temporal en el movimiento de la herramienta.
G05	Una detención permanente del movimiento de la herramienta. Es cancelado por el operador de la máquina.
G08	Aceleración suave hasta la tasa de alimentación especificada mientras continúan las otras funciones de la máquina (antes de que la herramienta entre en contacto con la pieza de trabajo).
G09	La detención exacta del movimiento de una herramienta antes de que la máquina vaya a la siguiente (no modal).
G17	Elección del plano X-Y (sobre centros de maquinado).
G18	Elección del plano X-Z (sobre centros de maquinado).
G19	Elección del plano Y-Z (sobre centros de maquinado).
G20	Datos de entrada en pulgadas.
G21	Datos de entrada en milímetros.
G22	Activación de los límites de viaje almacenados, usados para establecer una frontera segura.
G23	Desactivación de los límites de viaje almacenados.
G27	Regreso a la posición de inicio de la máquina mediante un punto intermedio programado (un punto en algún lugar entre la ubicación actual de la herramienta y la posición de inicio de la máquina.)
G29	Regreso a la pieza de trabajo o fijación desde la posición de inicio de la máquina a través del punto intermedio que fue programado en el bloque que contiene el código G28.
G32, G33	Cadena de corte con una punta constante. Si se hace una cadena de un punto con múltiples pasadas

G34	Cadena de corte con una punta creciente.
G35	Cadena de corte con una punta decreciente.
G40	Cancelación de cualquier compensación de radio de la herramienta previamente programado (mejor conocido como compensación del radio del cortador, o CRC).
G41	Aplicación de la compensación del radio del cortador a la izquierda de la pieza de trabajo con respecto a la dirección de viaje de la herramienta.
G42	Aplicación de la compensación del radio del cortador a la derecha de la pieza de trabajo con respecto a la dirección de viaje de la herramienta.
G43	Activación de la compensación de la longitud de la herramienta en la misma dirección del valor de desplazamiento (como está almacenado en la memoria del control.)
G44	Activación de la compensación de la longitud de la herramienta en la dirección opuesta del valor de desplazamiento (como está almacenado en la memoria del control.)
G50	Establecimiento del Punto Cero (cero absoluto) en referencia a la posición actual de la herramienta.
G53	Indicación de que todos los datos de posicionamiento están referidos a la posición de inicio de la máquina.
G54 a G57	Indicación de que todos los datos de posición están referidos a la posición del cero flotante sobre una fijación particular en una operación de maquinación.
G59	Reposicionamiento del cero flotante. La nueva ubicación es programada incrementalmente a partir de la actual posición de cero.
G60	Una detención exacta del movimiento de una herramienta antes de que la máquina pase al siguiente (Modal).
G63	Cancelación de la tasa de alimentación preestablecida.
G64	Cancelación de G60
G70	Datos de entrada en pulgadas (máquinas americanas).
G70	Ciclo grabado para la terminación de un giro en un torno (máquinas no americanas).
G71	Datos de entrada métricos (en máquinas americanas.)
G71	Ciclo grabado para múltiples pasadas de giros en un torno (máquinas no

	americanas).
G72	Ciclo grabado para múltiples pasadas de frontales en un torno (máquinas no americanas).
G73	Ciclo grabado para la repetición de un patrón en múltiples pasadas sobre un torno (máquinas no americanas.)
G74	Ciclo grabado para picar en el eje Z en un torno (máquina no americana).
G75	Ciclo grabado para picar en el eje X en un torno (máquina no americana.)
G76	Ciclo grabado para el punteado simple (un punto) en múltiples pasadas en un torno (máquinas no americanas).
G80	Cancelación de ciclos grabados sobre un centro de maquinado.
G81	Ciclo grabado para taladrado básico en un centro de maquinado. Provoca la alimentación de entrada automática y una salida rápida
G82	Ciclo grabado para taladrar con una marca permanente sobre un centro de maquinado.
G83	Ciclo grabado para taladrar a golpes sobre un centro de maquinado.
G84	Ciclo grabado para punteado básico en un centro de maquinado.
G85	Ciclo grabado para la ampliación básica (de un agujero) en un centro de maquinado
G86 a G89	Ciclo grabado para la ampliación alternada en un centro de maquinado.
G90	Ciclo grabado para un giro de una pasada en un torno (máquina no americana).
G91	Posicionamiento incremental. Todos los datos de posicionamiento estarán referidos a la actual posición de la herramienta (modal).
G92	Ciclo grabado para el encadenado en una pasada en un torno (máquina no americana).
G94	Programación de la tasa de alimentación en pulgadas por minuto.
G95	Programación de la tasa de alimentación en pulgadas por vuelta del mandril.
G96	Programación de velocidad de superficie constante.
G97	Programación de vueltas por minuto.

G98	Programación de la tasa de alimentación en pulgadas por minuto (máquinas no americanas.)
G99	Indicación de que todos los datos de posicionamiento en ese bloque están referidos a la posición de inicio (home) de la máquina.

**Anexo 5. Lista de Códigos M (misceláneos).**

Códigos M	
M00	<b>Alto al programa.</b>
M01	Alto opcional del programa.
M02	Alto al programa y rebobinado.
M03	Inicio de la rotación del mandril en la dirección de los punteros del reloj
M04	Inicio de la rotación del mandril en la dirección contraria a la de los punteros del reloj
M05	Detención de la rotación del mandril.
M06	Cambio a la siguiente herramienta en la línea.
M07	Conexión del aporte de rocío del enfriador.
M08	Conexión del aporte de fluido del enfriador.
M09	Desconexión del enfriador.
M10	Activación de toma automática (de cortes de la máquina, fijación de la pieza de trabajo, giro, etc.)
M11	Desactivación de toma automática (de cortes de la máquina, fijación de la pieza de trabajo, giro, etc.)
M12	Indexación de la torreta para que apunte a un punto intermedio entre una estación de herramientas y la siguiente.
M13	Rotación del mandril iniciada en dirección de los punteros del reloj y conexión del enfriador (ambos al mismo tiempo.)
M14	Rotación del mandril iniciada en dirección contraria a la de los punteros del reloj y conexión del enfriador (ambos al mismo tiempo.)
M19	Detención de la rotación del mandril en una posición angular predeterminada (orientada).
M30	Detención y rebobinado del programa. Esta palabra de código es similar a M02. Se usa en máquinas en donde M02 no posee la habilidad de rebobinar el programa.
M31	Desvío del acoplamiento ( <i>Interlock bypass</i> ).

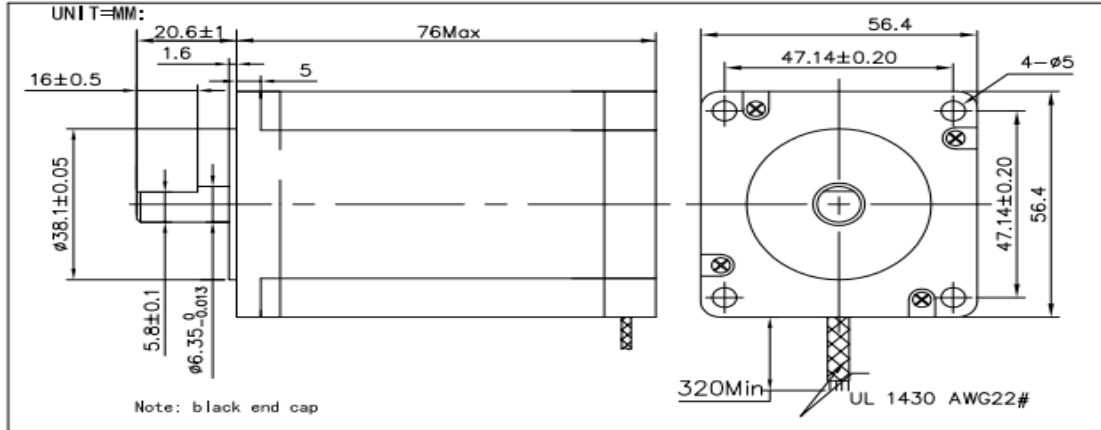


M40 a M45	Selección del rango de engranajes. Por ejemplo, M40 podría causar el que la máquina se desplace a un rango de engranajes pequeño, M41 podría causar que la máquina se desplace a un rango de engranajes medio o alto, etcétera.
M98	Conmutación desde el programa principal a la subrutina.
M99	Retorno desde la subrutina al programa principal

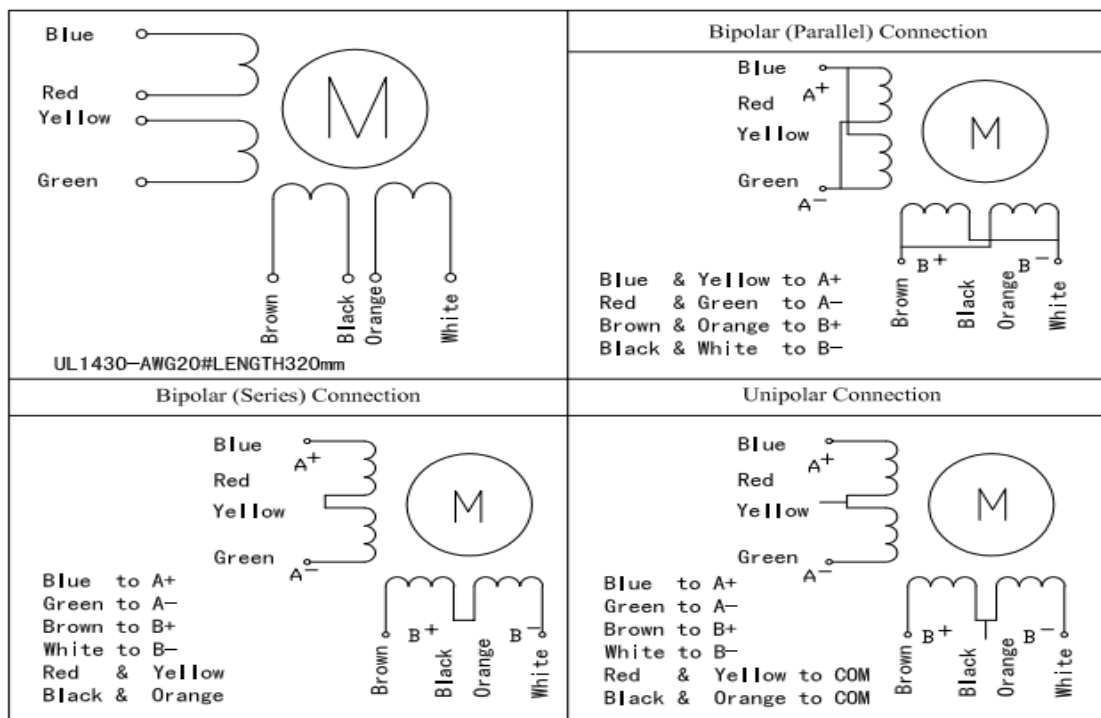
Anexo 6. Características de los Motores Paso a Paso (PaP).

# Hybrid Stepper Motor

## KL23H276-30-8A



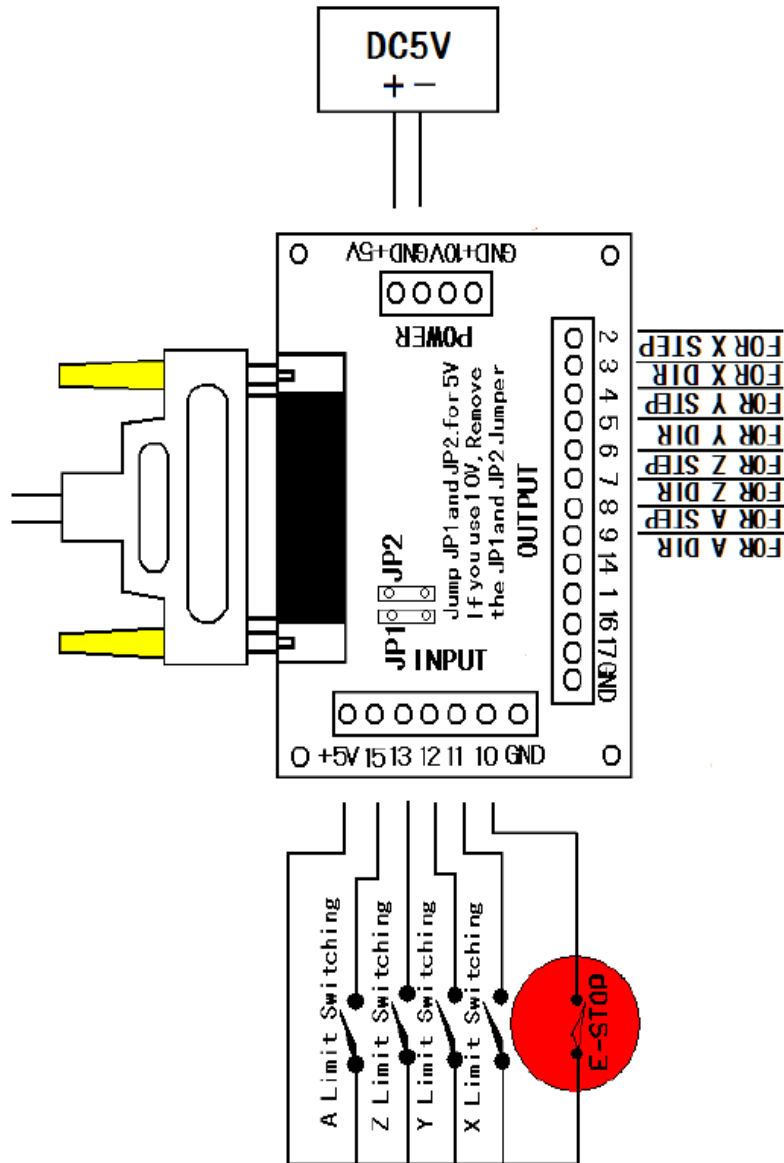
	STEP PHASE	RATED VOLTAGE	CURRENT /PHASE	RESISTANCE /PHASE	INDUCTANCE /PHASE	HOLDING TORQUE	ROTOR INERTIA	WEIGHT
	DEG/STEP	V	A	ohms	mH	OZ-IN	gcm <sup>2</sup>	Kg
Unipolar	1.8	2.76	3.0	0.92	2.2	200	480	1.0
Bipolar (Series)		3.86	2.1	1.84	8.8	282		
Bipolar (Parallel)		1.93	4.2	0.46	2.2	282		



Gráfica: Torque - Curva de velocidad



**Anexo7. Conexiones de la Tarjeta interface KL-DB25 Breakout Board.**



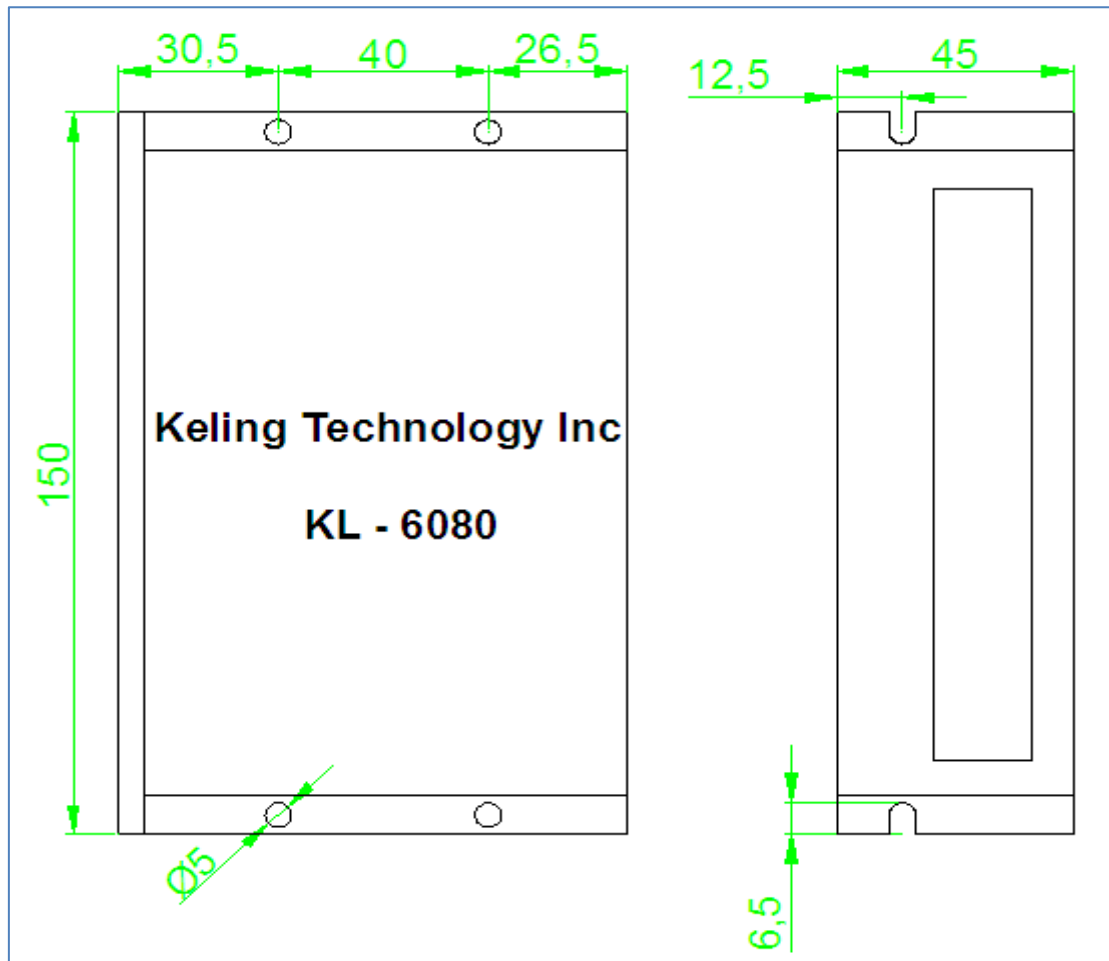
- 6 axis Breakout board, Built in C-class Optical-coupler for any CNC stepper Motor driver**
- 1: DB25 male connector.
  - 2: Output Pin: P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P14, P16, P17.
  - 3: Input Pin: P10, P11, P12, P13, P15.
  - 4: GND Pin: P18-P25.

**Anexo 8. Especificaciones de la Tarjeta Controladora para motores Paso a Paso.  
(Stepper drive KL-8060)**

***Electric Specifications (Tj = 25°C)***

Parameters	KL 8060			
	Min	Typical	Max	Unit
Output Current	2		6	A
Supply Voltage	20	48	80	VDC
Logic Signal Current	7	10	16	mA
Pulse Input Frequency	0		100	KHz
Isolation Resistance	500			MΩ

***Mechanical Specifications (Unit: mm, 1 inch=25.4 mm)***



***Pin Assignment and Description***

### Control Signal Connector P1 pins

Pin Function	Details
PUL + (+5V)	<p><b>Pulse Signal:</b> In single pulse (pulse/direction) mode, this represents pulse signal, effective for each rising or falling edge (set by inside R13 &amp; R14): 4 - 5V when PUL-HIGH, 0 - 0,5V when PUL-LOW. In double pulse mode (pulse/pulse), this input represents clockwise (CV) pulse, effective for high level or low level (set by inside R13 &amp; R14). For reliable response, pulse width should be longer than 1, 2μs. Series connect resistors for current-limiting when +12V or 24v used.</p>
PUL - (PUL)	
DIR + (+5V)	<p><b>DIR Signal:</b> In single-pulse mode, this signal has low/high voltage levels, representing two directions or motor rotation: in double-pulse mode (set by inside R13 &amp; R14), this signal is counter-clock (CCW) pulse, effective for high level or low level (set by inside R13 &amp; R14). For reliable motion response, Dir signal should be ahead of PUL signal by 5μs at leads, 4 - 5V when DIR-HIGH, 0 - 0,5V when DIR-LOW. Please note that motion direction is also related to motor-drive wiring match. Exchanging the connection of two wires for a coil to the driver will reverse motion direction.</p>
DIR - (DIR)	
ENA + (+5V)	<p><b>Enable Signal:</b> This signal is used for enabling/disabling the driver. High level (NPN control signal, PNP and Differential control signals are on the contrary, namely Low level for enabling.) for enabling the driver and low level for disabling the driver, Usually left UNCONNECTED (ENABLED)</p>
ENA - (ENA)	

### Power Connector P2 pins.

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

### Microstep Resolution Selection

Microstep resolution is specified by 5,6,7,8 DIP switches as shown in the following table:

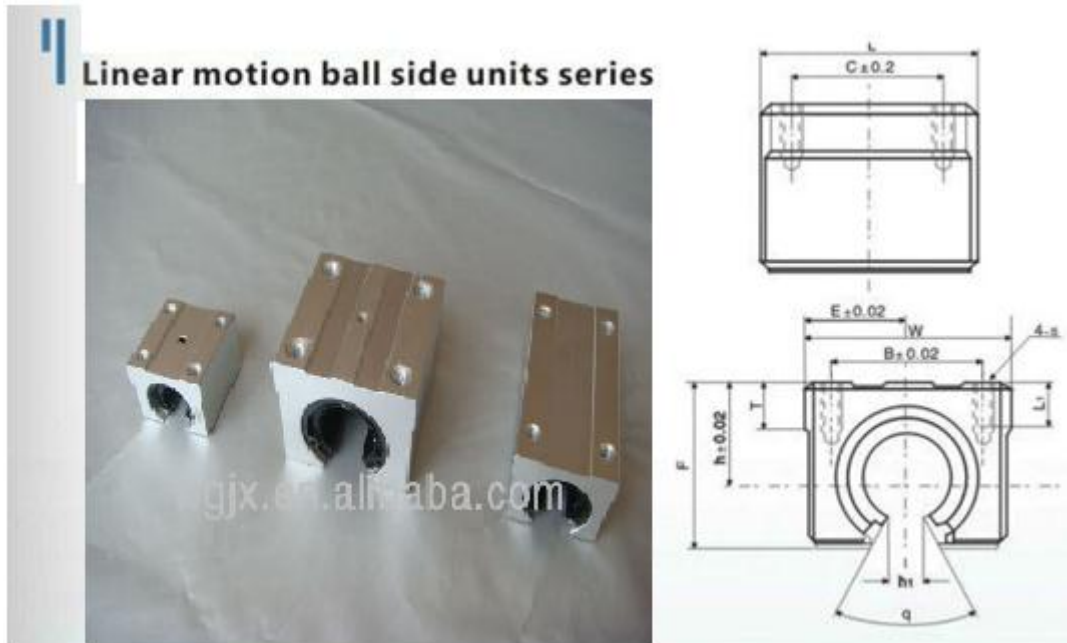
Microstep	SW5	SW6	SW7	SW8
1/2	0	0	0	0
1/4	0	1	0	0
1/8	0	0	1	0
1/16	0	1	1	0
1/32	0	0	0	1
1/64	0	1	0	1
1/128	0	0	1	1
1/256	0	1	1	1
1/5	1	0	0	0
1/10	1	1	0	0
1/25	1	0	1	0
1/50	1	1	1	0
1/125	1	0	0	1
1/250	1	1	0	1

### Current Setting

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

**Note:** Due to motor inductance, the actual current in the coil may be smaller than the dynamic current settings, particularly under high speed condition.

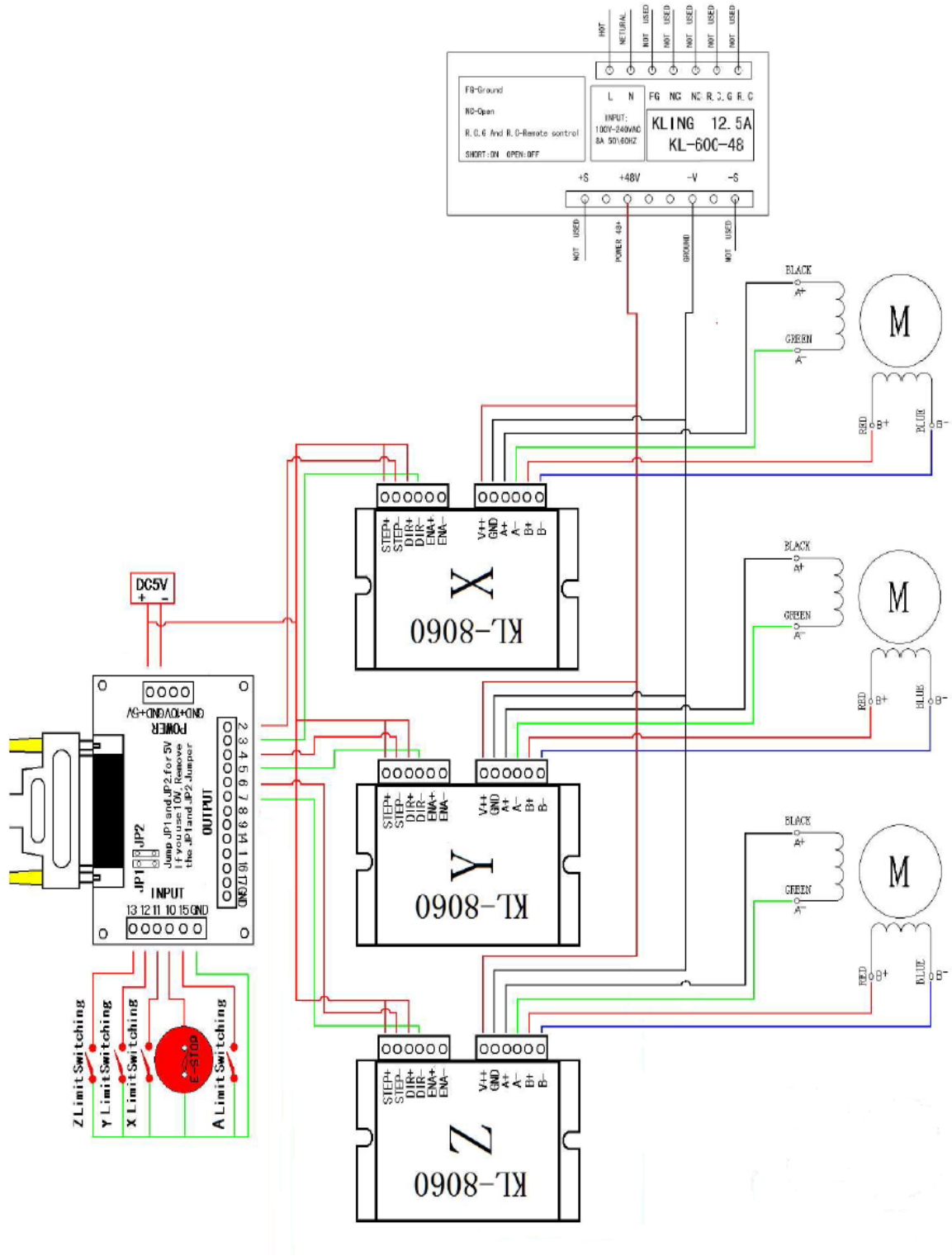
## Anexo 9. Especificaciones técnicas de las guías con rodamientos interiores.



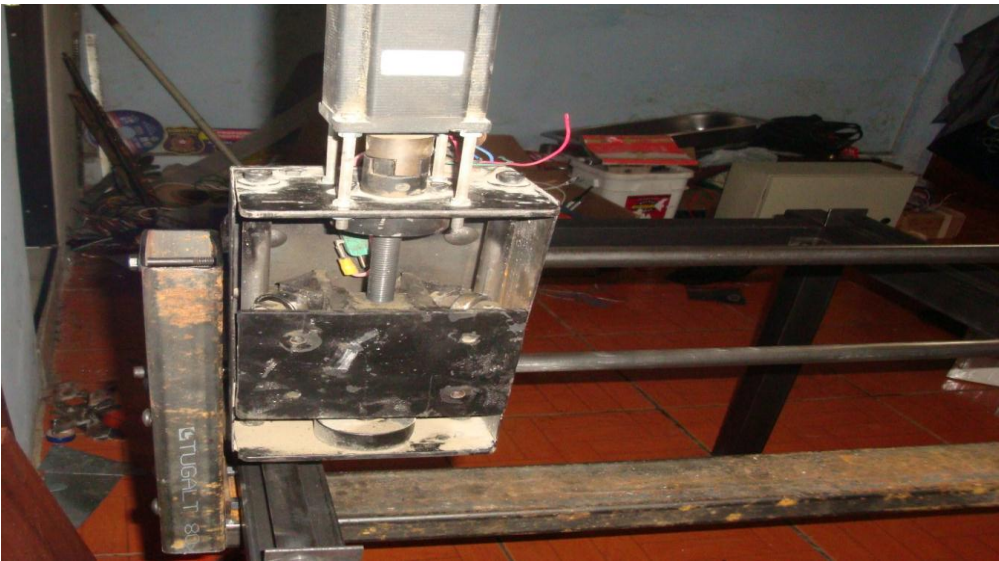
Unit Designation	Dimensions ( mm )												Slide bush			weight ( g )
	h	E	W	L	F	h <sub>1</sub>	q	B	C	S	L <sub>1</sub>	T	Designation	基本额定动载荷 Basic load rating C <sub>10</sub> (N)	基本额定静载荷 Basic static load rating C <sub>0</sub> (N)	
SBR 10UU	15	18	36	32	24	6	80°	25	20	M5	10	7	LM10UU-OP	372	549	65
SBR 12UU	17.5	20.5	41	39	28	7.5	80°	28	26	M5	10	9	LM12UU-OP	420	610	100
SBR 13UU	17	20	40	39	27.6	8.5	80°	28	28	M5	10	8	LM13UU-OP	510	784	100
SBR 16UU	20	22.5	45	45	33	10	80°	32	30	M5	12	9	LM16UU-OP	774	1180	150
SBR 20UU	23	24	48	50	39	10	60°	35	35	M6	12	11	LM20UU-OP	882	1370	200
SBR 25UU	27	30	60	65	47	11.5	50°	40	40	M6	12	14	LM25UU-OP	980	1570	450
SBR 30UU	33	35	70	70	56	14	50°	50	50	M8	18	15	LM30UU-OP	1570	2740	630
SBR 35UU	37	40	80	80	63	16	50°	55	55	M8	18	18	LM35UU-OP	1670	3140	925
SBR 40UU	42	45	90	90	72	19	50°	65	65	M10	20	20	LM40UU-OP	2160	4020	1330
SBR 50UU	53	60	120	110	92	23	50°	94	80	M10	20	25	LM50UU-OP	3820	7940	3000
SBR 16LUU	20	22.5	45	85	33	10	80°	32	60	M5	12	9	LM16LUU-OP	1548	2360	300
SBR 20LUU	23	24	48	96	39	10	60°	35	70	M6	12	11	LM20LUU-OP	1764	2740	400
SBR 25LUU	27	30	60	130	47	11.5	50°	40	100	M6	12	14	LM25LUU-OP	1960	3140	900
SBR 30LUU	33	35	70	140	56	14	50°	50	110	M8	18	15	LM30LUU-OP	3140	5480	1260
SBR 40LUU	42	45	90	175	72	19	50°	65	140	M10	20	20	LM40LUU-OP	4320	8040	2660
SBR 50LUU	53	60	120	215	92	23	50°	94	160	M10	20	20	LM50LUU-OP	7640	15880	6000

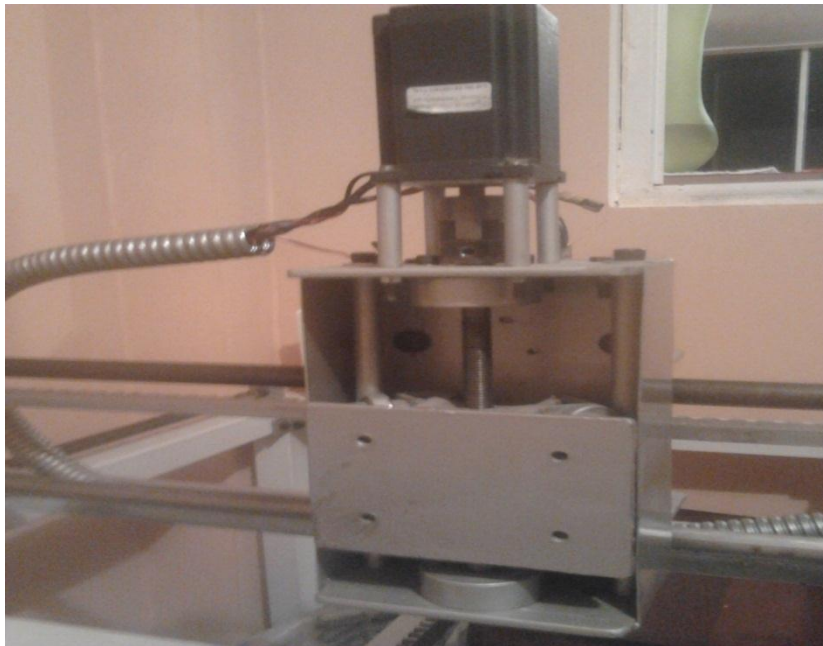
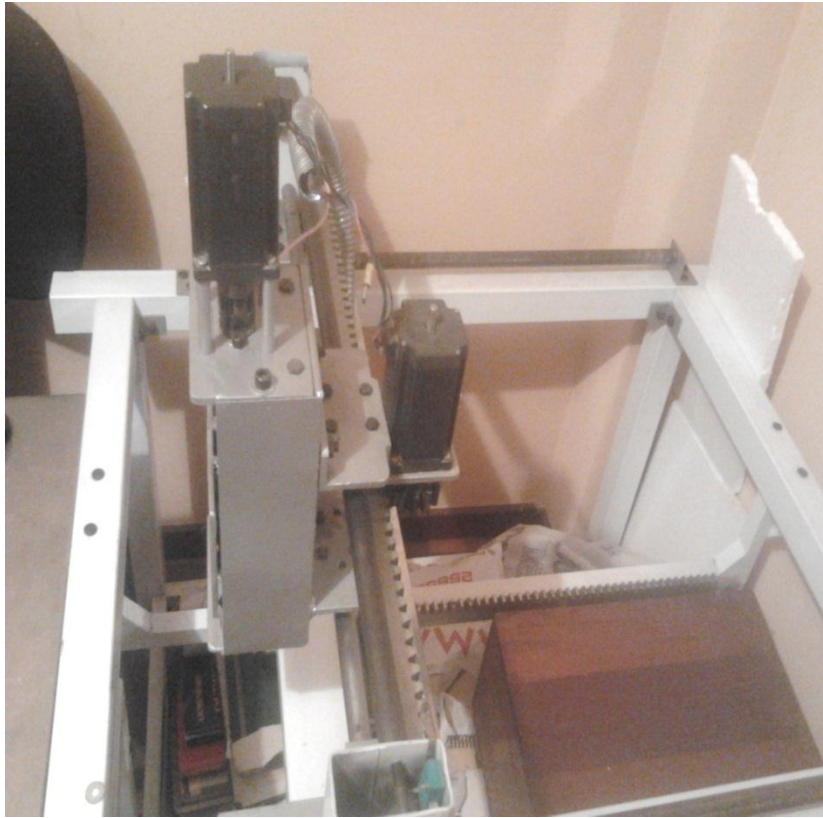


# Anexo 10. Esquema de Conexión.



**Anexo 12. Fotos del Prototipo.**





### **Anexo 13. Planos del Prototipo**

A continuación se presenta los planos de la máquina Cortadora por Plasma CNC.