



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA  
INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:**

---

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC CORTADORA  
POR PLASMA PARA EL CORTE DE PLANCHAS METÁLICAS EN EL  
TALLER MECÁNICO INDUSTRIAL ROBALINO DE LA CIUDAD DE  
RIOBAMBA.**

---

TRABAJO DE TITULACIÓN BAJO LA MODALIDAD DE PROPUESTA  
METODOLÓGICA, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL.

**Autor:**

Robalino Cáceres Alexis Israel

**Tutor:**

Ing. Saá Tapia Fernando David; M.Sc.

AMBATO – ECUADOR  
2018

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA  
CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TÍTULACIÓN**

Yo Robalino Cáceres Alexis Israel, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC CORTADORA POR PLASMA PARA EL CORTE DE PLANCHAS METÁLICAS EN EL TALLER MECÁNICO INDUSTRIAL ROBALINO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 09 días del mes de septiembre de 2018, firmo conforme:

Autor: Robalino Cáceres Alexis Israel  
Firma: .....  
Número de Cédula: 0603970922  
Dirección: Tungurahua, Ambato, Parroquia, Barrio.  
Correo Electrónico: alexoes1988@gmail.com  
Teléfono: 0995029346

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC CORTADORA POR PLASMA PARA EL CORTE DE PLANCHAS METÁLICAS EN EL TALLER MECÁNICO INDUSTRIAL ROBALINO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA.” presentado por Robalino Cáceres Alexis Israel, para optar por el Título Ingeniero Industrial,

### **CERTIFICO**

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Ambato, 30 de septiembre del 2018

.....  
Ing. Saá Tapia Fernando David; M.Sc.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Ambato, 30 de Octubre 2018

.....  
Robalino Cáceres Alexis Israel  
0603970922

## **APROBACIÓN TRIBUNAL**

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC CORTADORA POR PLASMA PARA EL CORTE DE PLANCHAS METÁLICAS EN EL TALLER MECÁNICO INDUSTRIAL ROBALINO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Ambato, 30 de octubre de 2018

.....  
Ing. Muzo Villacís Segundo Pedro, M.Sc. MBA  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

.....  
Ing. Cumbajín Alferez Myriam Emperatriz, M.Sc  
VOCAL

.....  
Ing. Varela Aldas José Luis, M.Sc  
VOCAL

## **DEDICATORIA**

Dedico esta Tesis a mi padre, ya que siempre tuvo fe en mí y a jóvenes emprendedores que buscan implementar ideas tecnológicas para el desarrollo del país.

Alexis

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios A mis padres por apoyarme incondicionalmente, en especial a mi madre que siempre confió en mí, me motivo a seguir adelante y alcanzar mis metas.

Gracias.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR .....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN TRIBUNAL .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

## CAPÍTULO I

Introducción .....	1
Tema.....	1
Antecedentes .....	2
Justificación.....	4
Objetivos .....	5
Objetivo General .....	5
Objetivos específicos .....	5



## **CAPÍTULO II**

Ingeniería del proyecto.....	6
Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	6
Área de Estudio.....	11
Modelo operativo.....	13
Desarrollo del modelo operativo.....	14
Recolectar información.....	15
Casa de la calidad QFD.....	16

## **CAPÍTULO III**

Propuesta y Resultados esperados.....	17
Presentación de la propuesta.....	17
Análisis de la información mediante el QFD sobre las necesidades del cliente.....	18
Diseño de la estructura metálica.....	19
Selección de componentes electrónicos y eléctricos.....	52
Configuración con el software Mach3 de la máquina.....	56
Resultados Esperados.....	64
Cronograma de actividades.....	66
Costos del Proyecto.....	68

## **CAPÍTULO IV**

Conclusiones y Recomendaciones.....	75
Conclusiones:.....	75
Recomendaciones:.....	76

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información del tipo de corte en plancha metálica .....	7
Tabla 2: Requerimiento del cliente .....	8
Tabla 3: Requerimientos técnicos .....	9
Tabla 4: Puntuación de los requerimientos del cliente en el QFD.....	10
Tabla 5: Ponderación de requerimientos técnicos.....	19
Tabla 6: Valores de masa y peso de los componentes del soporte.....	21
Tabla 7: Masa y peso de los componentes de la guía eje X.....	24
Tabla 8: Datos de fuerza Cortante y Momento flector.....	31
Tabla 9: Información sobre la masa y peso que actúan en la riel eje Y.....	33
Tabla 10: Lista de materiales para la máquina CNC cortadora plasma .....	39
Tabla 11: Datos Técnicos para la selección del cortador plasma.....	41
Tabla 12: Tipos de motores eléctricos y su calificación por criterio .....	44
Tabla 13: Secuencia de conmutación para un motor PAP bipolar.....	46
Tabla 14: Tipos de guías y sus calificaciones por criterio .....	47
Tabla 15: Tipos de transmisiones y sus calificaciones por criterio.....	49
Tabla 16: Datos recolectados para ingresar al software.....	61
Tabla 17: Comparación de tiempos de corte y diferentes formas, de cada proceso .....	65
Tabla 18: Cronograma del proyecto.....	67
Tabla 19: Costos de la parte mecánica del proyecto.....	68
Tabla 20: Costos de la parte electrónica y eléctrica del proyecto .....	70
Tabla 21: Costo de mano de obra directa e indirecta del proyecto.....	71
Tabla 22: Costo del equipo plasma y cálculo de costos de operación.....	72
Tabla 23: Costos comparativos en una hora de operación del corte con amoladora y corte plasma.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de corte de una plancha metálica .....	7
Figura 2: Taller mecánico Industrial Robalino. ....	12
Figura 3: Modelo Operativo.....	13
Figura 4: Partes de una mesa cortadora por plasma.....	15
Figura 5: Máquina CNC, cortadora plasma. ....	18
Figura 6: Soporte de la antorcha plasma .....	20
Figura 7: Tensión de Von Mises .....	21
Figura 8: Desplazamiento del soporte de la antorcha .....	22
Figura 9: Factor de seguridad del soporte de la antorcha.....	23
Figura 10: Guía del eje X.....	24
Figura 11: Simulación del desplazamiento en el ángulo de la guía eje X.....	25
Figura 12: Factor de seguridad para el ángulo de la guía eje X.....	25
Figura 13: Fuerzas en el rodamiento .....	27
Figura 14: Riel eje X tubo cuadrado. ....	29
Figura 15: Simulación del desplazamiento del tubo eje X.....	30
Figura 16: Factor de seguridad en la riel eje X. ....	30
Figura 17: Diagrama de fuerzas cortantes para el eje X. ....	31
Figura18: Diagrama del momento flector de la riel eje x. ....	32
Figura 19: Riel eje Y soportando las cargas de los componente eje X.....	32
Figura 20: Simulación del desplazamiento de la riel del eje Y .....	34
Figura 21: Tensión Max de la riel eje Y .....	34
Figura 22: Factor de seguridad para la barra de acero de la riel eje Y.....	35
Figura 23: Bastidor de la máquina CNC cortadora por plasma. ....	35
Figura 24: Estructura sometida a simulación para la tensión de Von Mises. ....	36
Figura 25: Bastidor sometido a simulación de Desplazamiento. ....	36
Figura 26: Bastidor sometido a simulación para cálculo del Factor de Seguridad	37
Figura 27: Máquina CNC cortadora por plasma. ....	38
Figura 28: terminología del proceso PAC.....	43
Figura 29: Diagrama de un motor bipolar.....	45

Figura 30: Rodamiento lineal de bolas recirculante abierto.....	48
Figura 31: Guía hecha con rodamientos.....	49
Figura 32: Transmisión abierta por banda dentada .....	51
Figura 33: Esquema de control electrónico del CNC.....	52
Figura 34: Sistema de control electrónico de la máquina CNC cortador plasma. 53	
Figura 35: Conexión de finales de carrera eje X.....	56
Figura 36: Partes principales de la pantalla del control numérico .....	57
Figura 37: Definición de dirección de los puertos .....	58
Figura 38: Pestaña para la configuración de los puertos de salida.....	59
Figura 39: Pestaña de configuración para la entrada de datos .....	60
Figura 40: Configuración de los motores paso a paso .....	60
Figura 41: Panel de comandos del Mach3, parte superior. ....	61
Figura 42: Panel del Mach3 con sus herramientas.....	62
Figura 43: Cuadro comparativo de los tiempos de corte lineal.....	65
Figura 44: Cuadro comparativo de los tiempos de corte de un cuadrado .....	66

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA**  
**INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:** “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNAMÁQUINA CNC CORTADORA POR PLASMA PARA EL CORTE DE PLANCHAS METÁLICAS EN EL TALLER MECÁNICO INDUSTRIAL ROBALINO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”.

**AUTOR:** Robalino Cáceres Alexis Israel

**TUTOR:** Ing. Saá Tapia Fernando David;  
M.Sc.

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente proyecto, trata del diseño y construcción de una máquina de control numérico computarizado (CNC) cortadora por plasma. Debido a que el proceso de corte de las planchas metálicas se realizaba con una amoladora, este método de corte toma más tiempo y no se puede realizar corte de figuras de mediana complejidad. Por tal motivo, se propone el diseño de una máquina que ayude a solventar estas necesidades; para ello se utilizó el despliegue de la función de calidad (QFD), el cual ayudó a determinar las necesidades del cliente y los requerimientos técnicos que debe tener la máquina CNC cortadora por plasma. Determinado los requerimientos se procede a realizar el diseño de la máquina con la ayuda del software Solidworks, después se seleccionó los actuadores que fueron los motores paso a paso, los cuales realizan los movimientos de traslación de cada eje, también se eligió el tipo de transmisión y la cortadora plasma, en base a la ponderación con mayor peso, determinada en el QFD. Posteriormente, se determinó los componentes eléctricos y electrónicos necesarios para el control del movimiento de los mecanismos que realizaran el corte, luego se procede a la construcción de la estructura y montaje e instalación de los componentes. Se realizó la calibración de la máquina y pruebas de funcionamiento utilizando el software Mach3. Comparando los resultados de las tablas, se obtuvo mejores resultados en tiempo y calidad del corte con la máquina CNC. En conclusión, el proceso de corte de planchas metálicas fue mejorado tanto en tiempo y cortes con formas de mediana complejidad. Se recomienda implementar en la máquina un control de altura de la antorcha (THC) el cual ayuda a prolongar la vida útil de los consumibles.

**DESCRIPTORES:** CNC, diseño, Mach3, plasma, Solidworks.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA**  
**INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**THEME:** "DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CNC PLASMA CUTTING MACHINE FOR METALLIC PLATES AT ROBALINO INDUSTRIAL MECHANICS WORKSHOP OF THE CITY OF RIOBAMBA".

**AUTHOR:** Robalino Cáceres Alexis Israel

**TUTOR:** Ing. Saá Tapia Fernando David;  
M.Sc.

**ABSTRACT**

This project deals with the design and construction of a computerized numerical control machine (CNC) plasma cutter. Because the process of cutting the metal plates was done with a grinder, this method of cutting takes longer and figures of medium complexity cannot be cut. For this reason, the design of a machine is proposed to help solve these needs; to this end, deployment of the quality function (QFD) was used, which helped to determine the needs of the client and the technical requirements that the CNC machine plasma cutter must have. After determining the requirements, we proceeded to elaborate the design of the machine, with the help of Solidworks software, then the actuators – that were the stepper motors – were selected; these carry out the translation movements of each axis, also the type of transmission and the plasma cutter were chosen, based on the weighting with greater weight, determined in the QFD. Subsequently, the electrical and electronic components, necessary for the control of the movement of the mechanisms that made the cut were determined and, then, the construction of the structure and assembly and installation of the components took place. Machine calibration and performance tests were performed using Mach3 software. Compared to the results of the tables, better results were obtained in time and cutting quality with the CNC machine. In conclusion, the process of cutting metal plates was improved in both time and cuts with forms of medium complexity. It is recommended to implement a height control for the torch (THC) of the machine, which helps to prolong the lifespan of consumables.

**KEYWORDS:** CNC, design, Mach3, plasma, Solidworks.

## **CAPÍTULO I**

### **Introducción**

**Tema:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA POR PLASMA PARA EL CORTE DE PLANCHAS METÁLICAS EN EL TALLER MECÁNICO INDUSTRIAL ROBALINO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA.

### **Introducción**

Las máquinas CNC cortadora por plasma son utilizadas por empresas a nivel industrial, por la potencia del plasma, el control y precisión de la tecnología CNC; requeridos y utilizados principalmente en el corte de planchas de acero o de cualquier material metálico conductor. La ventaja de este sistema es que el plasma corta con precisión materiales delgados (de 1 milímetros) y gruesos (de hasta 32 milímetros). (Suntaxi Alava, 2017).

La Mesa de plasma CNC usualmente se la compara con un router CNC. Las notables excepciones en apariencia son en que la tabla con rendijas, se reemplaza con una rejilla metálica y en vez de la cabeza del husillo, tiene una Antorcha de plasma instalada. (OVERBY, 2011 pág. 14)

En la industria metalmecánica nacionales era poco conocido el uso de procesos de corte por plasma mediante control numérico, debido a la demanda de corte más rápidos y figuras complejas por parte de la industria, está comenzado a incrementar la demanda de este tipo de máquinas. En la actualidad la flexibilidad

de cortes permite expenderse a otras aplicaciones, como por ejemplo, en publicidad, en la construcción de anuncios, etc.

El taller denominado “Mecánico Industrial Robalino”, que tiene una trayectoria de 36 años en el campo de la metalmecánica, se encuentra en la ciudad de Riobamba y ha participado en grandes proyectos como la construcción de una plaza de toros desmontable, mantenimiento de calderas en reconocidos hoteles de la ciudad, montaje de cubiertas en la empresa “Ecuatoriana de Prefabricados”, construcción de estructuras metálicas, mecánica cerrajería, rótulos etc. En la actualidad el corte de planchas se lo realiza con una amoladora, los limitantes de este proceso son, la duración y la falta de precisión en la forma del corte (en el Anexo 1 se indica la dirección exacta de la ubicación del taller mecánico industrial).

### **Antecedentes**

En la industria se busca mejorar los tiempos y la calidad en los procesos de fabricación a un costo razonable, una de las mejores opciones es la automatización. Esta utiliza componentes electrónicos, es decir, utiliza una fusión electromecánica que permite mejorar la producción mediante la reducción de tiempo, mejora la precisión y calidad de las operaciones.

Según Calupiña, en su obra titulada, “MEJORAMINETO DE LOS PARÁMETROS DE TRABAJO PARA MÁQUINA DE CORTE POR PLASMA Y OXIXETILENICATIPO CNC-4000 MARCA HUGONGO WELDER”. Indica que, los procesos más usados en la industria por su costo y calidad son el corte por plasma y el oxiacetilénico. En general, en lo que a las tecnologías de corte se refiere, el sector metalmecánico sufre una serie de carencias como son, el bajo nivel de información; referente a los mismos, en donde además se establece parámetros de corte, los cuales ayudan a mejorar la calidad, producción y reducción de costos operativos (Calupiña, y otros, 2012).



Según Kevin Mirallas y Pedro Portes, en pequeños y medianos talleres de metalmecánica existe la necesidad de cortar piezas con geometrías complejas, obteniendo un buen acabado en el corte. A pesar de ello, actualmente el corte por plasma es el método de corte comúnmente empleado de manera manual, lo que contribuye directamente en el incremento de los ciclos de fabricación y la dependencia entre hombre/máquina al momento de obtener un acabado de corte. A nivel nacional las industrias que se dedican a la producción de este tipo de máquinas está en desarrollo. (Mirallas Secaira, y otros, 2015)

En base al trabajo, “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, PROGRAMACIÓN DE SOFTWARE Y PROTOCOLO DE TRANSFERENCIA DE DATOS DE UNA MESA DE CORTE CNC POR PLASMA A SER USADA EN EL CORTE DE PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE”, una CNC es básicamente una impresora, que interpreta mediante un programa en el computador información de parámetros de mecanizado y la trasmite a algún elemento externo. Y, una mesa CNC, es un soporte el cual se mueve a una velocidad dada y en una dirección a cualquier herramienta que se desee utilizar, usualmente en los ejes X, Y y Z. Todos estos procesos se describen ya que fácilmente pueden ser adaptados a una mesa de corte CNC. Desde el método más antiguo, hasta el más moderno pueden ser utilizados en metales. Es muy probable que muchos métodos de corte del futuro se puedan acoplar fácilmente a una CNC. (Reinoso Naranjo, 2012).

De esta manera, el corte de planchas metálicas de espesores de 1 a 10 mm, en talleres industriales se lo hace de diferentes maneras, como es el caso del corte por disco con amoladora o por oxiacetilénica entre las más usadas. Actualmente, con el avance de la tecnología en el campo de la automatización de procesos entre ellos la CNC, se puede realizar máquinas que ayudan a solventar estos problemas.

En el mercado existen muchas marcas que ofertan máquinas de este tipo, el inconveniente es su elevado costo por aranceles de importación y la adquisición de repuestos que no existen en el mercado.

## **Justificación**

La presente propuesta es **importante** debido a la necesidad de realizar cortes en planchas metálicas con menor tiempo y corte de figuras de mediana complejidad. Por ello, en este estudio se propone diseñar y construir una máquina CNC cortadora por plasma, en base a una interfaz electrónica y actuadores, que permite el control eficiente del corte de planchas metálicas. Dando como resultado, un corte de mejor calidad, comparado con otros cortes tradicionales, la economía del tiempo, lo cual permite una amplia aplicación en la construcción de máquinas de diversas formas y una mejora en la producción.

En términos de **utilidad**, con esta tecnología es posible realizar cortes de precisión con formas de mediana complejidad, de mejor calidad en el corte de piezas de similares dimensiones y en menor tiempo. Se puede realizar este corte de diferentes formas, como lanas (laminas metálicas) para alineación de máquinas, tolvas, carcasa para ventiladores, rótulos, partes de máquinas. Además, se realiza cortes de diferentes tipos de metales entre los principales, acero inoxidable, aluminio, cobre y acero al carbón.

El **impacto** con la implementación de este proyecto, es que puede ser en ciertos casos negativo, pero mayormente es positivo, ya que produce más piezas en menor tiempo, aumenta el número de máquinas con un solo programador. En cambio, los factores negativos están ligados al costo elevado de la máquina CNC corte por plasma y se debe contar con personal capacitado para operar la máquina.

Sin embargo, cualquier Taller Industrial se **beneficia** de su uso, puesto a que tendrá un aumento de calidad del producto terminado, siendo esto un plus para el incremento de clientes por los acabados y tiempos de entrega. Además, las empresas y microempresarios se **benefician** debido a que en la ciudad es el único taller que cuenta con esta tecnología, ahorrando tiempo y costos de transporte, al no tener que llevar afuera de la ciudad para realizar los cortes.

El presente proyecto es **factible**, ya que, actualmente existe en el mercado empresas que venden componentes electrónicos para la automatización de máquinas. Con la ayuda de un software CAD se puede realizar diseño de los componentes mecánicos de la máquina.

## **Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Elaborar una máquina CNC cortadora por plasma para el corte de planchas metálicas en el taller Mecánico Industrial Robalino de la ciudad de Riobamba.

### **Objetivos específicos**

- Analizar los requerimientos del cliente utilizando un QFD para el diseño de la máquina CNC cortadora por plasma.
- Diseñar la estructura mecánica de la máquina CNC, mediante un software CAD para el efecto, para determinar las características idóneas de los materiales.
- Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos, mediante el criterio de mayor peso obtenido en el QFD, para el control de la máquina CNC.
- Construir la máquina CNC, en base a los componentes seleccionados, para el funcionamiento adecuado de la máquina CNC.

## **CAPÍTULO II**

### **Ingeniería del proyecto**

#### **Diagnóstico de la situación actual de la empresa.**

El taller Mecánico Industrial Robalino se encuentra en la ciudad de Riobamba, cuenta con maquinaria y equipos para la construcción de estructuras metálicas, mecánica cerrajería y construcción de guardas para máquinas. El taller cuenta con un maestro mecánico, un ayudante mecánico, y un soldador, (en el Anexo 2 se indica el organigrama propuesto).

En esta Mecánica el área de corte es donde más tiempo lleva el proceso, ya que, los cortes se los realiza con una amoladora que únicamente los hace rectos, toma tiempo en cambiar el disco cuando este se desgasta aumentando la demora en el proceso, el corte varía según la máquina u objeto a fabricar.

Debido a la necesidad de cortar planchas metálicas de diferentes formas y espesores para los distintos trabajos que allí se realizan, existe la necesidad de adquirir una máquina que satisfaga los requerimientos en el área de corte y con acabados de calidad. Esto ayuda también a evitar posturas forzadas en los trabajadores al momento de cortar planchas ya que para mayores espesores debe permanecer durante mucho tiempo en una sola posición.

Según requerimiento del cliente el área de corte debe ser de 1220 X 1800 mm y poder cortar planchas de 1mm hasta 10 mm. Entre los principales materiales que

puede cortar, son: planchas metálicas de acero inoxidable, acero dulce y aluminio. (en el Anexo 3 se indica el Layout propuesto del taller).

En la Tabla 1, se muestra el tiempo que tarda en cortar un operador una plancha metálica linealmente utilizando una amoladora y en la otra cuadrícula, está el corte de una plancha metálica con forma de un cuadrado. Debido a la variedad de cortes realizados, se toma como referencia estos dos procesos, como ejemplo, para medir el tiempo.

**Tabla 1:** Información del tipo de corte en plancha metálica

Longitud(mm)	Tiempo(seg)	Espesor(mm)	Corte
1600	480	4	lineal
200X200	80	1	cuadrado

Elaborado por: Robalino, 2018

En la Figura 1, se muestra al técnico realizando el proceso de corte por disco abrasivo de una plancha metálica de espesor 4 mm con una amoladora, este proceso es utilizado actualmente, el corte a realizar es de longitud de 1600mm, utilizada para la fabricación de un contenedor.



**Figura 1:** Proceso de corte de una plancha metálica

Fuente: Taller mecánico Industrial Robalino.

## Despliegue de la función de calidad (QFD).

La Casa de la Calidad (QFD) es una herramienta de planeación que introduce la voz del cliente en el desarrollo de un producto o un proyecto. Para implementar QFD se utilizan varias matrices, cuyo propósito es establecer una manera sistemática de asignar responsabilidades para desplegar la voz del cliente, a fin de trasladar esos requerimientos en parámetros de diseño y fabricación (o en actividades específicas). Así, el papel de QFD es ayudar a entender las necesidades del cliente y transformarlas en acciones específicas. (Gutierrez, y otros, 2013 pág. 160).

El QFD empieza con una lista de objetivos en el contexto del desarrollo de un nuevo producto o en general, de un proyecto. Se trata de una lista de requerimientos del cliente o prioridades de primer nivel, que es conocida como la voz del cliente y se indica en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Requerimiento del cliente

N°	REQUERIMIENTOS
1	Precisión
2	Velocidad de operación
3	Versatilidad de corte espesores 1 a 10mm
4	Variedad de formas para el corte de planchas
5	Posicionamiento manual
6	Repuestos en el mercado o bajo costo
7	Facilidad de mantenimiento
8	Facilidad de Limpieza
9	Buen acabado de la pieza cortada.
10	Bajo consumo de energía.
11	Bajo costo de la máquina.
12	Seguridad del operario.
13	Calidad del corte de las planchas metálicas.
14	Fácil de operar o manual de operaciones.

Elaborado por: Robalino, 2018

A continuación, se describe en la Tabla 3 los requisitos técnicos que debe tener la máquina CNC cortadora por plasma para su funcionamiento.

**Tabla 3:** Requerimientos técnicos

SISTEMA	VARIBLES DEL SISTEMA		
Mecánico	1	Rigidez de la estructura	Análisis mecánico, análisis de esfuerzos, deformaciones.
	2	Acabado superficial de la estructura	Estética de la estructura
	3	Sistemas de Transmisión	Análisis mecánico. Catálogo
	4	Rieles	Análisis mecánico
	5	Guías	Análisis mecánico
Transmisión de Potencia	6	Motores Eléctricos	Características eléctricas y mecánicas
Control de motores	7	Tarjetas o drivers para el control de los motores	Características de control
Interfaz CNC	8	Tarjeta que comunica, desde el computador a los drivers	Características técnicas de la señal, alimentación, puertos
Software	9	Requerimiento del computador para su instalación	Tipo de procesador, espacio en la memoria, velocidad del procesador.
		Estructura del interfaz	Interfaz amigable y de fácil manejo para el usuario
Medición de variables	10	Finales de Carrera eje X y eje Y	Características técnicas
	11	Tipo de antorcha, por distancia o arrastre	Si la plancha metálica presenta deformaciones
	12	Sistemas de Seguridad	Paros de emergencia, catalogo
Otros	13	Capacidad de corte de diferentes espesores y su velocidad	Datos técnicos , mayor a 12mm
	14	Precio	Requerimientos del sistema

Elaborado por: Robalino, 2018

Después se asigna un valor (peso) la cual, otorga el cliente según el grado de importancia, será mayor estos valores, esto se indican en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Puntuación de los requerimientos del cliente en el QFD.

N	DEMANDA DEL CLIENTE (QUE)	PESO	M. propuesta	Competencia 1	Competencia 2
1	Precisión	5	4	3	4
2	Velocidad de operación	5	3	3	4
3	Corte de diferentes espesores	10	4	4	4
4	Corte diferentes formas	5	4	4	4
5	Posicionamiento manual	5	4	2	3
6	Bajo costo de repuestos y fácil adquisición	10	4	2	3
7	Fácil mantenimiento	5	4	3	3
8	Facilidad al limpiar	5	5	3	4
9	Buen aspecto de la máquina	5	4	4	4
10	Bajo consumo de energía	5	4	4	4
11	Bajo costo de la máquina	20	5	3	3
12	Seguridad del operario	5	4	4	4
13	buen acabado del corte	10	5	4	4
14	Fácil de operar	5	4	3	4

Elaborado por: Robalino, 2018

### Estudio de tiempos y movimientos

En base a datos de tiempos y movimientos, se determina el tiempo y recursos que demanda el proceso de corte por disco que se realiza en el taller mecánico industrial Robalino (Anexo 4).

Se analiza la información se verifica la existencia de demoras en el proceso de corte cuando los cortes son más largos y aumenta el espesor de la plancha metálica(Tabla1). Uno de estos retrasos es el desgaste prematuro del disco antes



de terminar el corte, por lo que obliga al cambio del disco de corte en la amoladora, sumando tiempo en el proceso de corte.

Otro inconveniente al utilizar la amoladora, es el sobrecalentamiento y vibración que produce al momento del corte, después de un tiempo, se debe esperar a que la máquina se enfriar para continuar con la operación del corte.

A continuación, se enumera los problemas que presenta el proceso de corte por disco.

- No se puede cortar figuras redondas.
- En tramos de corte lineal a grandes distancias, se cambia el disco de corte, produciendo un retraso en el proceso.
- En cortes continuos, la amoladora se calienta por lo que se espera un tiempo para continuar cortando.
- Presenta vibración y se debe sostener fuerte debido a las altas revoluciones de giro (12000rpm).
- El operador presenta quemaduras en la ropa de trabajo, debió a las chispas que saltan al momento del corte de la plancha.

### **Área de Estudio.**

#### **Delimitación del objetivo de investigación.**

Dominio: tecnología

Línea de Investigación: Mecánica y electrónica.

Campo: Ingeniería

Área: CNC

Aspecto: Construcción metal mecánica

Objetivo de estudio: Diseño y construcción.

**Ubicación:**

El taller mecánico Industrial Robalino se encuentra ubicado en la ciudad de Riobamba, en las calles 12 de octubre y Bolivia. En el Anexo 1 se indica la ubicación mediante google map. En la Figura 2, se indica las afueras del taller mecánico industrial Robalino.

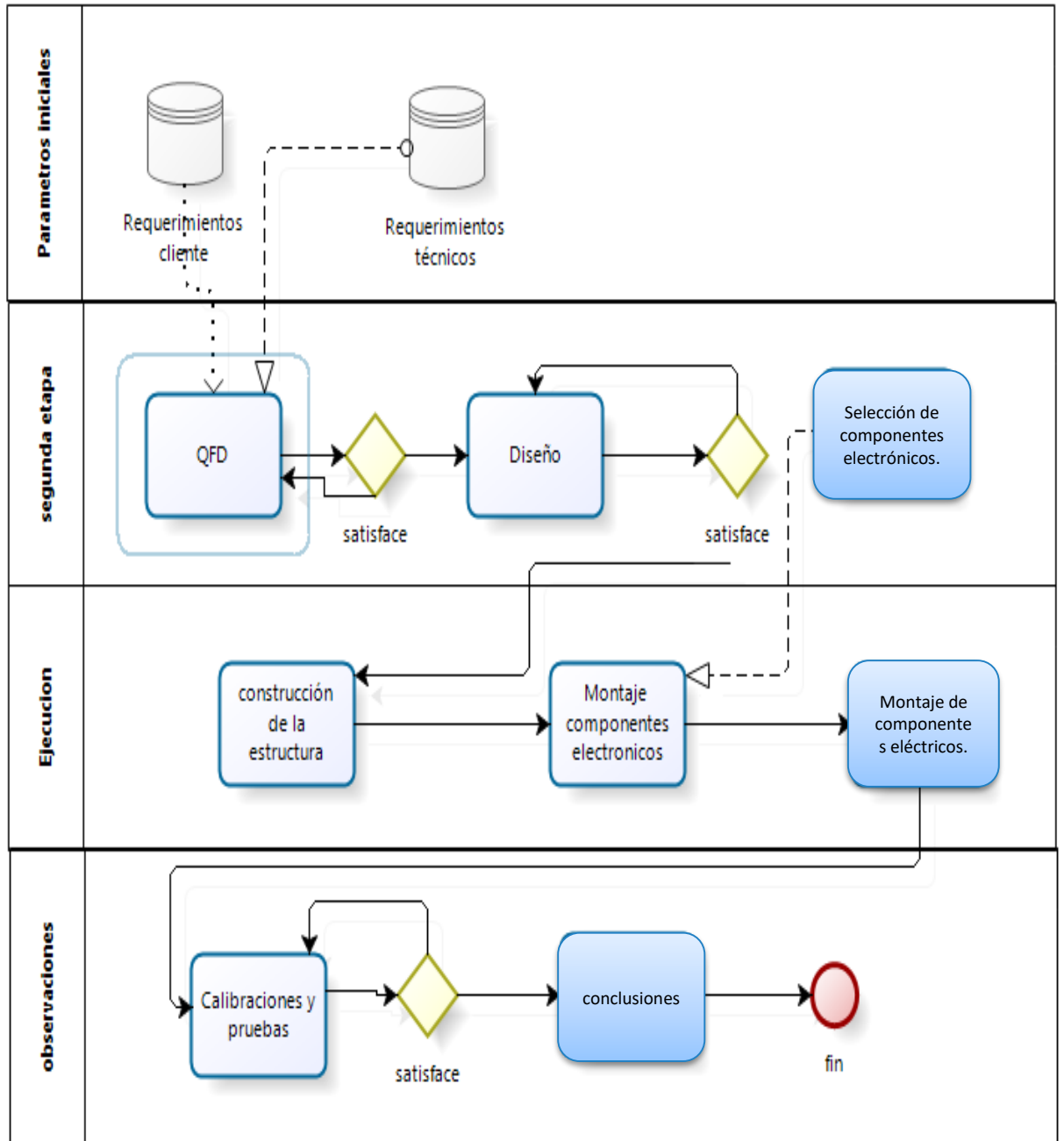


**Figura 2:** Taller mecánico Industrial Robalino.  
Fuente: GOOGLE MAP,2018

## Modelo operativo

### Proceso

El método propuesto está estructurado se muestra en la Figura 3.



**Figura 3:** Modelo Operativo.  
Elaborado por: Robalino, 2018.

## **Desarrollo del modelo operativo**

Para el desarrollo del modelo operativo según la Figura 3, a continuación, se describe las etapas que sigue la implementación del presente estudio para el desarrollo del proyecto.

-Se determina los requerimientos del cliente y técnicos, realizando una encuesta sobre las características deseada en la máquina. Además, se recolecta información sobre los componentes que conforma una CNC. Con la información recabada se procede a realizar el QFD el cual nos ayudará a determinar cuál de los componentes de la máquina tiene más relevancia o peso para el diseño de la máquina

Mediante la ayuda de un software Solidworks se plasma el diseño de los componentes de la máquina y las medidas necesarias para el corte de las planchas metálicas. Con la ayuda del mismo software, se realiza la simulación con las cargas que soporta la estructura metálica y así determinar el espesor de los materiales.

-Seleccionar los componentes eléctricos y electrónicos para el control de la máquina CNC. Se determina mediante cálculo el torque necesario que debe tener cada motor para el accionamiento de los mecanismos de traslación de la máquina CNC. Paralelamente se elige controladores para el comando de los motores. Se analiza la interfaz idónea para la comunicación entre la computadora y los controladores de los motores. Selección de la fuente de alimentación que suministre la energía necesaria para todos los componentes eléctricos de la máquina. Se utiliza el software Mach3 el cual ayuda a transformar los códigos G&M de programación a códigos de máquina para posteriormente ser enviado a la interfaz y controladores de los motores.

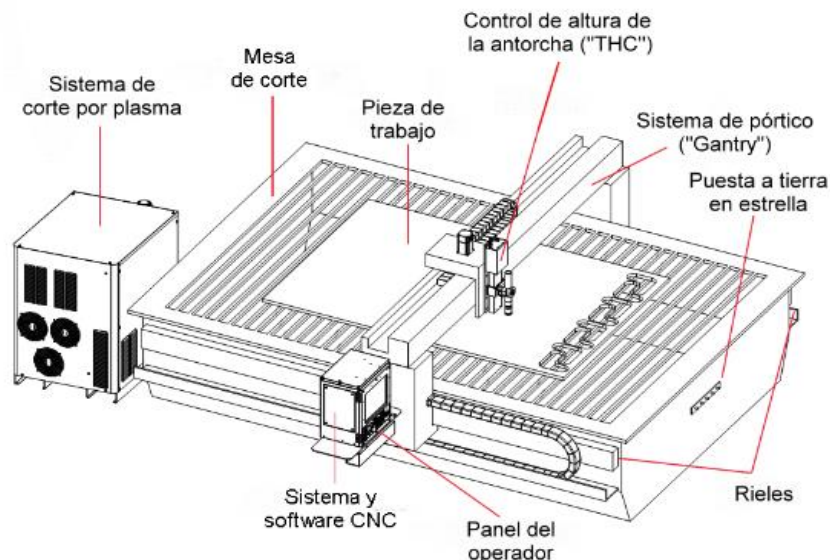
-Con los componentes ya seleccionados, se procede al ensamble de la máquina, primero la parte mecánica, guías, sistema de transmisión, montaje de los actuadores, posteriormente se realiza la conexión eléctrica de los motores con los

drivers y el módulo de la interfaz CNC. A continuación, se monta los sistemas de seguridad finales de carrera y la antorcha de la cortadora por plasma en su respectivo habitáculo.

-Por último, se realiza la calibración del equipo mediante el software Mach 3, realizado la calibración se procede al corte de planchas metálicas para comprobar el buen funcionamiento de la máquina, se indica e instruye al personal a cargo de la máquina.

### Recolectar información.

Para realizar el QFD es necesario recolectar información sobre los requerimientos del cliente y requerimiento técnicos que debe cumplir la máquina para su funcionamiento. También se debe recaudar información sobre el tiempo y recursos que demanda el proceso actual, así como el propuesto en la Tabla 1, se ilustra la información del proceso corte de planchas metálicas por disco. En la Figura 4, se aprecia un modelo de una máquina CNC cortadora por plasma con sus respectivos componentes.



**Figura 4:** Partes de una mesa cortadora por plasma  
Fuente: (HYPERTHERM, 2016)

### **Casa de la calidad QFD.**

Con la información necesaria, se procede a construir el QFD, para poder determinar los componentes idóneos para el diseño y construcción de una máquina CNC cortadora por plasma. En el Anexo 5, se muestra los competidores y sus características técnicas, que cada uno tiene y se compara con la máquina que se va a construir.

En el Anexo 6, se indica la relación que tiene los requerimientos del cliente con los requerimientos técnicos, siendo 9 la relación más fuerte, 3 moderada y 1 escasa. Se toma la primera columna que corresponde a las guías y con la información de las filas de los requerimientos se va comparando el grado de relación y así con cada uno de los requerimientos técnicos se va comparando para extraer la relación más fuerte que tiene cada componente.

Posteriormente se debe evaluar cada característica de los requerimientos técnicos entre cada uno de sus ítems (Anexo 7), si es positivo o negativo la correlación, por ejemplo, el primer ítem de los requerimientos es la rigidez de la estructura, esta se va a relacionar con el segundo ítem, que es el acabado de la estructura, en este caso, será negativo ya que el acabado de la estructura no afecta a la rigidez de la misma. Luego el primero con el tercero y se repite el proceso hasta el ítem 14.

## **CAPÍTULO III**

### **Propuesta y Resultados esperados**

#### **Presentación de la propuesta.**

En este proyecto, se propone el diseño y construcción de una máquina CNC cortadora por plasma para el corte de planchas metálicas en taller mecánico industrial Robalino de la ciudad de Riobamba.

La máquina realiza cortes de precisión y buena calidad en menor tiempo y corta espesores entre 1mm hasta máximo 10mm, el área de corte es de 1220mm ancho por 1800mm de largo.

El proceso propuesto evita tiempos muertos, ya que, mientras la máquina realiza el corte, el operador es aprovechado en otra actividad mejorando los recursos en el taller. Con la ayuda del software el Mach3 se puede programar mediante códigos G&M la trayectoria de corte, la computadora envía los datos a través del puerto paralelo a un módulo o interfaz que interpreta las señales del computador, para luego activar las tarjetas controladoras de los motores paso a paso, los cuales trasladan la antorcha de la cortado por plasma sobre la plancha metálica, así obtiene la forma del corte deseado.

Para reducir costos, se diseña la máquina para que trabaje en el eje X y Y la regulación de la altura de la antorcha, se lo hace manualmente ya, que, al subir y bajar la antorcha en el proceso de corte se pierde tiempo en el posicionamiento de la altura del mismo.

En la Figura 5, se muestra un prototipo de una máquina CNC cortadora por plasma. También se elabora un manual el cual contiene instrucciones para la operación de la máquina. Además, el respectivo mantenimiento que debe realizar para el buen funcionamiento y conservación de la máquina



**Figura 5:** Máquina CNC, cortadora plasma.  
Fuente: (Suntaxi Alava, 2017)

### **Análisis de la información mediante el QFD sobre las necesidades del cliente.**

En el Tabla 5, se muestra los resultados del QFD, en cada ítem se indica el peso en porcentajes de cada requerimiento técnico para una máquina CNC cortadora por plasma.



**Tabla 5:** Ponderación de requerimientos técnicos

N	DEMANDA DEL CLIENTE (QUE)	Valor. Máximo de relación	Peso de requerimientos	Importancia relativa
1	Rigidez de la estructura	9	239,83	6,39%
2	Acabado superficial de la estructura	9	133,90	3,57%
3	Sistemas de Transmisión	9	378,81	10,09%
4	Guías	9	400,85	10,68%
5	Motores Eléctricos	9	460,17	12,26%
6	Drivers	9	333,05	8,87%
7	Interfaz cnc	9	190,68	5,08%
8	Finales de carrera	9	122,03	3,25%
9	Soporte de la antorcha	9	176,27	4,70%
10	Sistemas de seguridad	9	183,05	4,88%
11	Capacidad de corte, 1mm a 10mm	9	469,49	12,51%
12	Rejilla con platinas divisoras	9	312,71	8,33%
13	Software	9	353,39	9,41%

Elaborado por: Robalino, 2018.

Con estos porcentajes dados por la matriz QFD, que se encuentra en el Anexo 8, se verifica cual es el de mayor relevancia basándose en el porcentaje de valor superior. En este sentido, se observa que la ponderación mayor es el motor eléctrico, la capacidad de corte, las guías y el sistema de transmisión. Tomando en cuenta estos cuatro ítems más importantes se realiza la selección de cada componente de la máquina, con preferencia al calidad y costo.

### **Diseño de la estructura metálica.**

Los componentes mecánicos en forma de vigas, barras simples, etc., se pueden analizar con bastante facilidad por medio de métodos básicos de la mecánica que proporcionan soluciones aproximadas.

Sin embargo, los componentes reales rara vez son tan sencillos, y el diseñador se ve forzado a realizar aproximaciones menos eficaces mediante soluciones cercanas, experimentación o métodos numéricos. Existe un gran número de

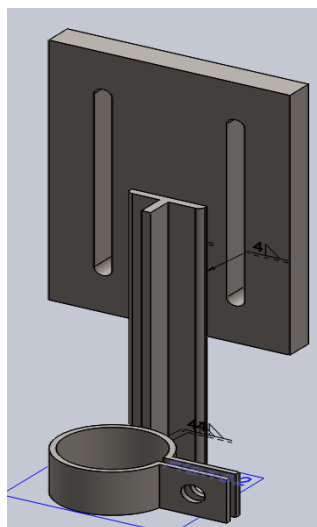
técnicas numéricas que se emplea en aplicaciones de ingeniería para las cuales la computadora digital es sumamente útil.

En diseño mecánico, donde el software para dibujar piezas o elementos se utiliza de manera considerable, el método de análisis que se integra perfectamente con el CAD es el Análisis de Elemento Finito (FEA, por sus siglas en inglés). La teoría y aplicaciones matemáticas del método son enormes. Existe una diversidad en paquetes de software comerciales de FEA que se encuentran disponibles, tal como ANSYS, NASTRAN, Algor, etcétera.

Existe una gran cantidad de aplicaciones del FEA tales como: análisis estático y dinámico, lineal y no lineal, de esfuerzo y de deflexión, vibraciones libres y forzadas, transferencia de calor (que se puede combinar con el análisis de esfuerzo y de deflexión para proporcionar esfuerzos y deflexiones térmicamente inducidos) inestabilidad elástica (pandeo), (G. Budynas, y otros, 2012 pág. 934).

Para el presente estudio se utiliza el software Solidworks 2018, para la simulación de esfuerzos y pandeo.

### **Diseño del Soporte de la antorcha plasma.**



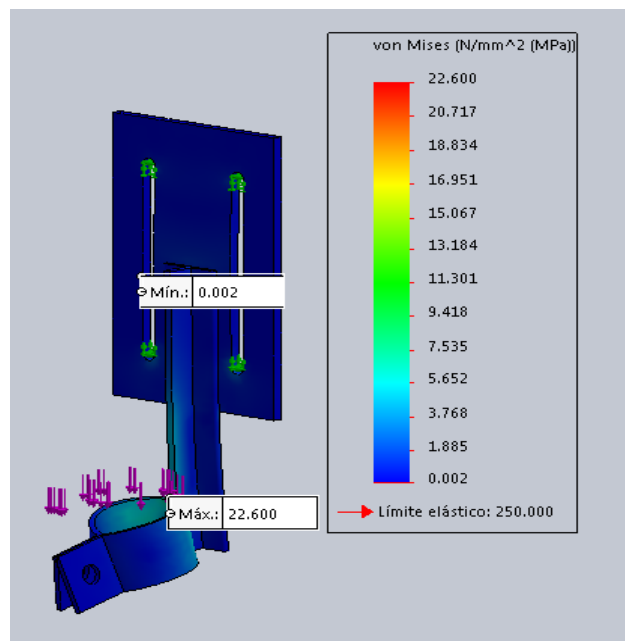
**Figura 6:** Soporte de la antorcha plasma  
Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Figura 6, se muestra el modelo planteado para la sujeción y regulación de altura de la antorcha plasma. Como primer paso se determina el peso que va a soportar, en este caso la antorcha y el cable. Además, la altura en que es regulada, la cual debe ser de unos 100mm, para ello se cuenta con una plancha metálica A36, con dos canales y una sujeción de la antorcha mediante una abrazadera y un perno, las dimensiones y componentes se muestran en el Anexo 9, la información del peso y masa de los componentes del soporte está dada en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Valores de masa y peso de los componentes del soporte

PIEZA	MASA(kg)	PESO(N)
ANTORCHA CABLE	1	9.8
SUJETADOR DE LA ANTORCHA	0,4	4,6
PLANCHA y T	0.36	3.92
Cable	0.9	8.82
Total	2.66	26.1

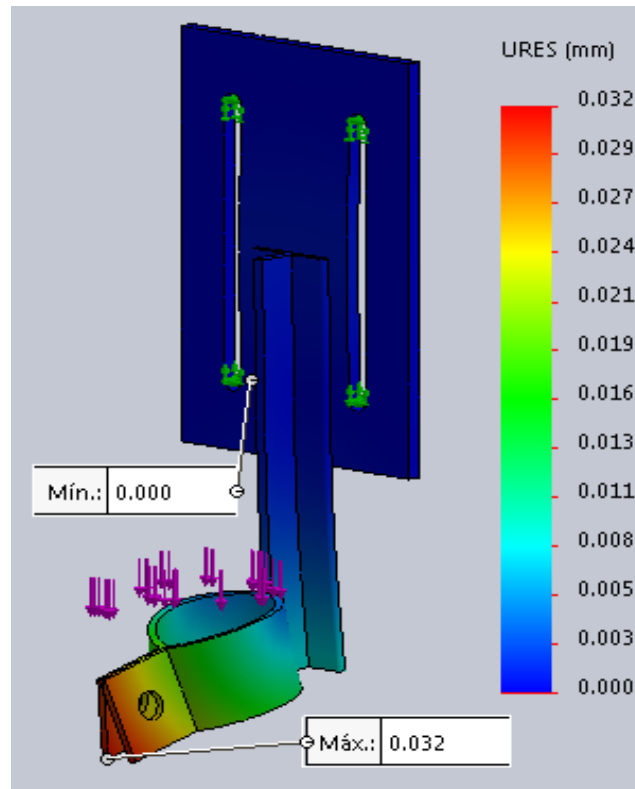
Elaborado por: Robalino, 2018.



**Figura 7:** Tensión de Von Mises

Elaborado por: Robalino, 2018.

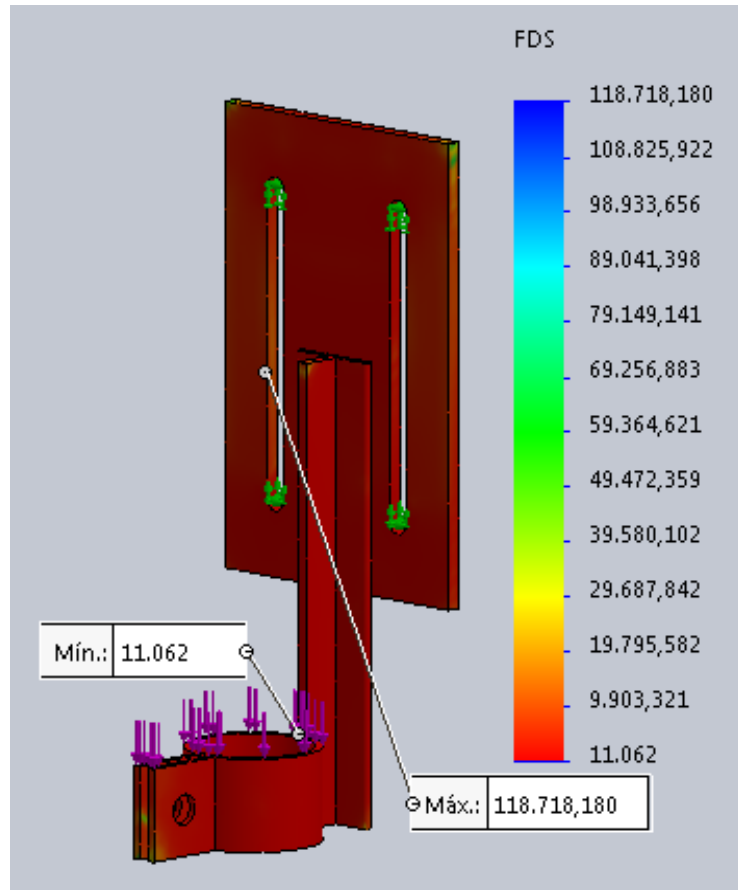
En la Figura 7, se muestra mediante la simulación la tensión aplicada en el área de la abrazadera que sujeta la antorcha, muestra un valor máximo de 22600 N/mm<sup>2</sup> que un valor aceptable ya que el valor máximo del límite elástico es de 250.000 N/mm<sup>2</sup>, dado por el fabricante.



**Figura 8:** Desplazamiento del soporte de la antorcha  
Elaborado por: Robalino, 2018.

Utilizando un ángulo T de 1/2 y un espesor de 2mm para la simulación, nos arroja un resultado de desplazamiento de 0.32 mm como máximo en la Figura 8.

Se coloca este espesor ya que tanto las fuerzas laterales y radiales, no deben afectar la precisión del corte por el movimiento de la antorcha por lo que el espesor del material garantizara la precisión del corte por plasma.

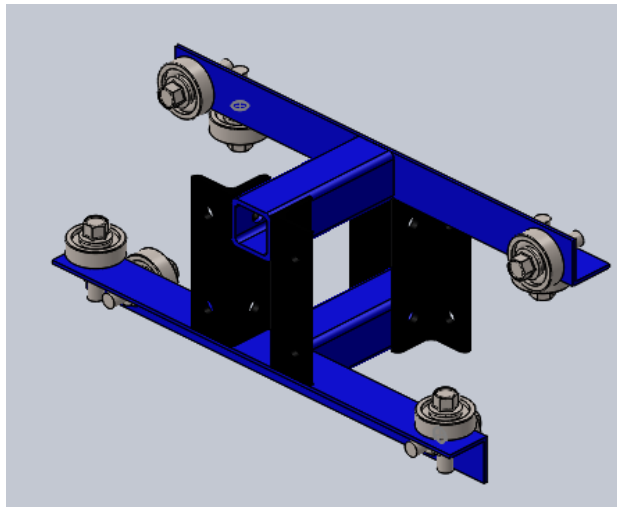


**Figura 9:** Factor de seguridad del soporte de la antorcha  
 Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Figura 9 se muestra el factor de seguridad, que es de 11 debido a que el desplazamiento debe ser mínimo, el soporte en este caso se coloca a un ángulo T, para evitar los desplazamientos en todas las direcciones. Sin embargo, el límite de ruptura es mayor por lo que el FDS tiene valores altos, este valor no afecta al diseño.

### Diseño de las guías eje X.

El diseño de las guías para el eje x como se muestra en la Figura10, consta de 8 rodamientos 628-RS. Soportados por un ángulo de ¾ pulgada, de acero A36 y unidos por 2 tubos de igual dimensión, en la cual rueda por un turbo cuadrado de dimensiones 40X40X1300mm y espesor de 1,5 mm. Las medidas de la guía se indican en el Anexo 10.



**Figura 10:** Guía del eje X  
Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Tabla 7, se muestra los valores de la masa y peso de los componentes que conforman la guía del eje X, además del peso del soporte de la antorcha. Con estos valores se puede ingresar los datos para la simulación de esfuerzos que va a estar sometido la estructura.

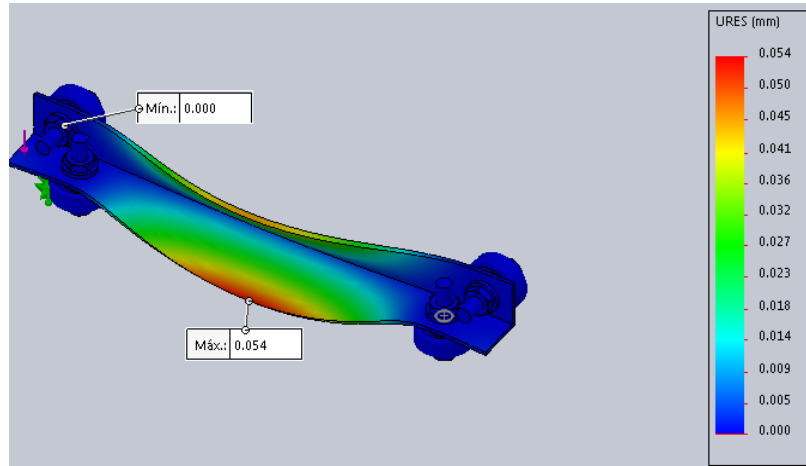
**Tabla 7:** Masa y peso de los componentes de la guía eje X.

PIEZA	MASA(kg)	PESO(N)
SOPORTE DE LA ANTORCHA	2.66	26.1
MOTOR	1	9.8
RUEDAS y pernos	0.16	1.6
Estructura	0.16	1.6
Total	3.98	39

Elaborado por: Robalino, 2018.

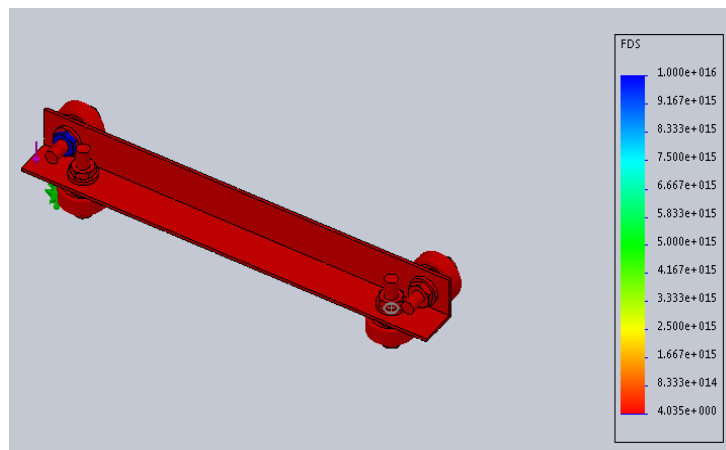
En la Figura 11 se muestra la máxima y mínima deformación que sufrirá a causa del peso de los componentes sobre el ángulo de  $\frac{3}{4}$ " con un espesor de 1,5mm, y una escala de deformación en la simulación de 300 veces. Se puede apreciar que el máximo desplazamiento rodea los 0.054mm, los cuales garantizan una excelente precisión a la máquina. La distancia entre los 2 rodillos es de 150mm,

los rodamientos son de agujero interior de 8mm, al igual que los pernos. Los rodamientos 628-RC son los de menor costo en el mercado, colocar rodamientos más pequeños incrementaría el costo de las guías.



**Figura 11:** Simulación del desplazamiento en el ángulo de la guía eje X  
Elaborado por: Robalino, 2018.

Se aprecia en la Figura 12 el factor mínimo es de 4, es un excelente valor el cual ayuda a que la guía sea robusta y soporte ciclos de trabajo extensos.



**Figura 12:** Factor de seguridad para el ángulo de la guía eje X  
Elaborado por: Robalino, 2018.

Para los rodamientos el peso total se divide para los rodamientos superiores que soportaran la mayor cantidad de peso, por lo cual el enfoque se centra en estos 2 puntos de apoyo.

Se obtiene así que cada rodamiento soporta la mitad del peso total (tabla7) es decir la mitad de 39 N que es 19.5N. Pero se analiza los esfuerzos que está sometido los pernos de sujeción.

**Análisis del cortante puro en los pernos.** (G. Budynas, y otros, 2012)

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau} ; S_{sy} = \frac{S_y}{2} ; \tau = \frac{F_c / \text{perno}}{A} ; A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [\text{Ec. 1}]$$

$\eta$  = Factor de seguridad

$S_{sy}$  = Resistencia a la fluencia

$F_c$  = Fuerza cortante

$\tau$  = Esfuerzo cortante

$S_y$  = límite elástico

Para esfuerzo cortante puro se recomienda un factor de 2 o más, la resistencia a la fluencia del perno es de  $262 \text{ N/mm}^2$ . (Norton y Murrieta 2009)

$$\tau = \frac{S_{sy}}{\eta} ; \tau = \frac{262 \text{ N/mm}^2}{2} = 131 \text{ N/mm}^2 \quad [\text{Ec. 1}]$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_c / \text{perno}}{\pi \cdot \tau}}$$

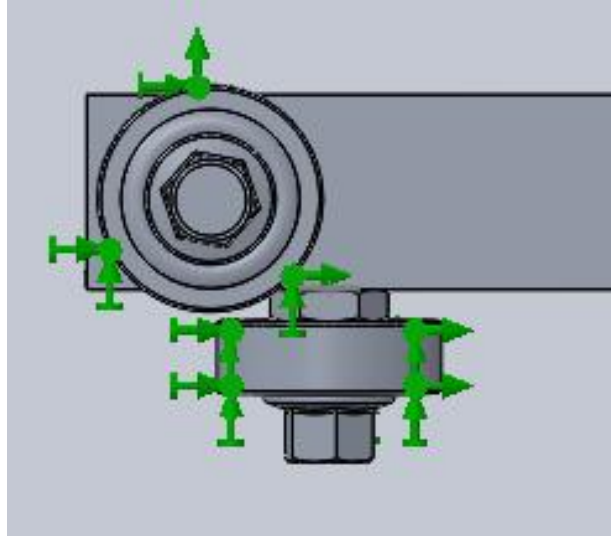
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 9.5 \text{ N}}{\pi \cdot 131 \text{ N/mm}^2}}$$

$$D = 0.304 \text{ mm} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Los pernos a utilizar son M8X 25mm rosca basta, este perno encaja en el rodamiento 628-RC y en la dimensión del tubo. Además, está separada con unas tuercas entre el rodamiento y el perno con el tubo, esto evita el contacto de los rodamientos con el tubo. Las cargas que soporta el perno son inferiores al límite de ruptura. La dimensión del diámetro exterior en el rodamiento, ayuda a la separación del tubo con el soporte lo suficiente para su movilidad.



## Rodamientos.



**Figura 13:** Fuerzas en el rodamiento  
Elaborado por: Robalino, 2018.

Se ha seleccionado el rodamiento 628-RS, bajo 2 factores principales. El primero por su tamaño lo cual permite que su diámetro de 24mm realice el giro libremente, sin que tope las rieles con el soporte. Y, la otra razón es la resistencia a la carga radial que ofrece. Este rodamiento cumple con las características en dimensión y costo, para la aplicación propuesta.

Primero, se determina la velocidad máxima de corte según el catálogo de la cortadora plasma, corresponde a 8100mm/min, dada por el fabricante de la máquina cortadora plasma. El diámetro del rodamiento exterior es de 24mm, por lo que se procede a calcular el perímetro, para posteriormente calcular las revoluciones por minuto máxima. (CATALOGO DE RODAMIENTOS NTN, 2014).

$$\begin{aligned}P &= 24\text{mm} * \pi \\P &= 75.36\text{mm} \\N &= \frac{v}{p} ; \frac{8100\text{mm}/\text{min}}{75.36\text{mm}/\text{rev}} \\N &= 107.48 \text{ RPM} \end{aligned} \quad [\text{Ec. 4}]$$

P= perímetro; N= RPM

Vida nominal en horas de operación

$P_r=19.21\text{N}$  carga radial.

La capacidad básica de carga dinámica  $C_r$  para un rodamiento 628-RC, se calcula multiplicando por el factor de carga dado por el fabricante que es 3.9 (Anexo 11), y la carga que va a soportar.

Para un rodamiento de bolas, el factor de velocidad  $f_n$  correspondiente a la velocidad rotacional  $n = 108 \text{ R.P.M}$ , según el catálogo. De modo que el factor de vida  $f_h$ , puede calcularse como se muestra a continuación: (CATALOGO DE RODAMIENTOS NTN, 2014). En la Figura 13, se indica la dirección de las fuerzas en el rodamiento.

$$C=3.9* 19.21\text{N}$$

$$C=75 \text{ aprox.}$$

$$f_n=\left(\frac{33.3}{n}\right)^{1/3}$$

$$f_n= 0.68 \quad [\text{Ec. 5}]$$

$$f_h=f_n*\frac{C}{P_r}= 1.2X \frac{74}{19} \quad [\text{Ec. 6}]$$

$$f_h=2.63$$

$$F.H.L10h=500*fh^3 = 500*(2.63)^3 = 9095.6 \quad [\text{Ec. 7}]$$

$f_n$ = factor de velocidad

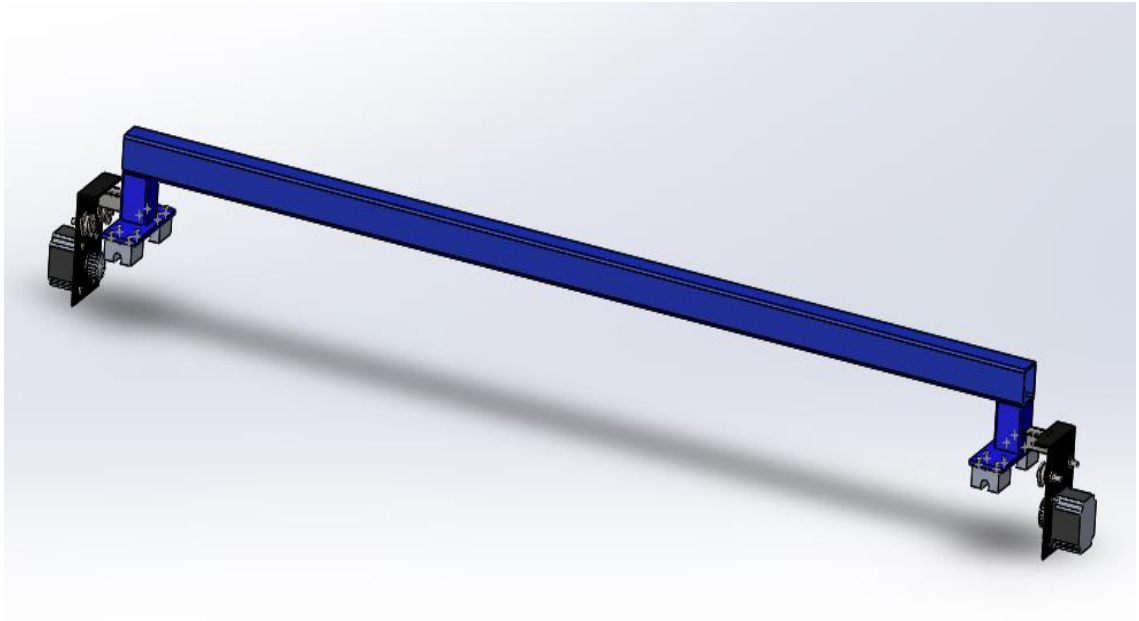
$C$ = carga corregida

$f_h$ = Factor horas

$FH$ = horas de funcionamiento.

Consecuentemente, se obtiene un factor de horas,  $f_h = 2.63$ , en el Anexo 12 se muestran las fórmulas que corresponde para el cálculo de las horas de funcionamiento para un rodamiento de bolas, las horas de funcionamiento calculadas ( $FH$ ), corresponden a 9096 horas.

## Diseño del riel para el eje X.

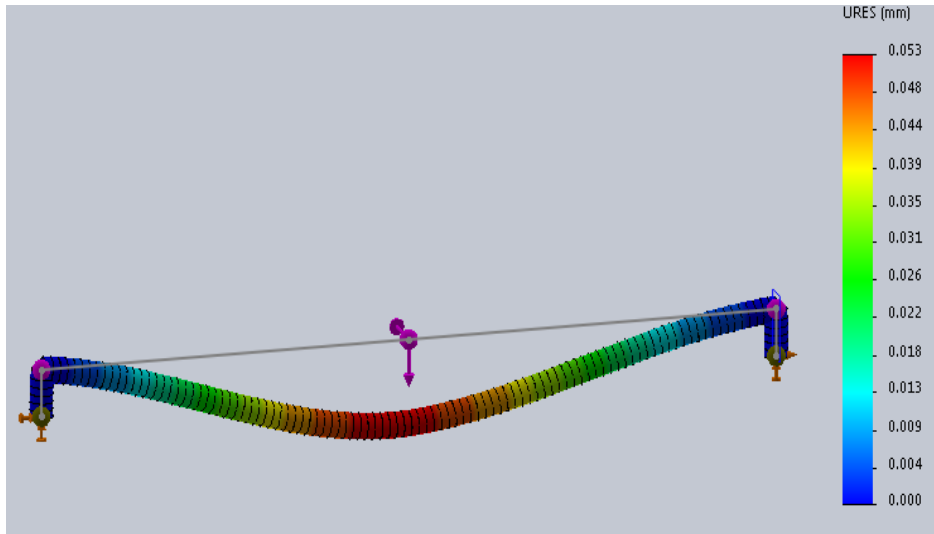


**Figura 14:** Riel eje X tubo cuadrado.  
Elaborado por: Robalino, 2018.

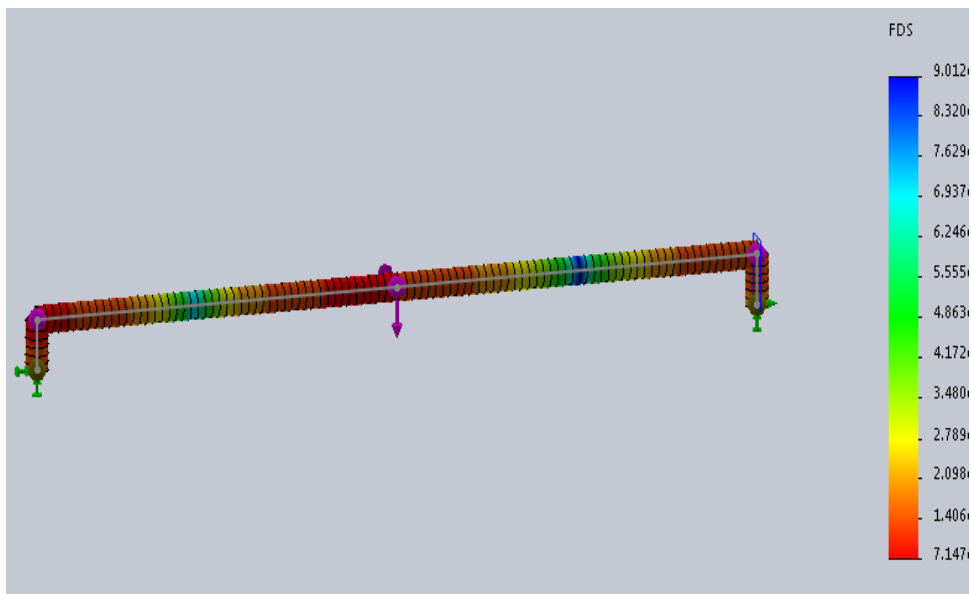
Como se muestra en la Figura 14, para el riel del eje X se ha seleccionado un tubo cuadrado de acero A36 con las siguientes dimensiones, 40x40x1350mm para la simulación se coloca una fuerza en el centro del eje para poder determinar mediante la simulación con el software Solidworks, el espesor necesario del tubo, para que no fleje y cuanto es su desplazamiento sometido a carga. Las dimensiones y partes se indican en el Anexo 13.

Los resultados mostrados en la Figura15, indica que el máximo desplazamiento aplicando una fuerza de 39 N es de 0.053mm en el centro, con un espesor asignado en la simulación de 1,5mm.

Es un valor excelente el cual confiera a la máquina buena robustez, precisión a la antorcha, otra razón para el espesor de 1,5 mm es por motivo de durabilidad, con el tiempo presente desgaste debilitando a la estructura.

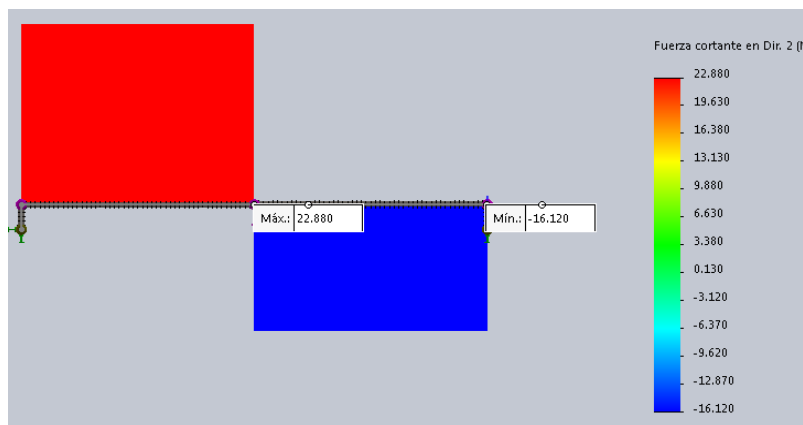


**Figura 15:** Simulación del desplazamiento del tubo eje X.  
 Elaborado por: Robalino, 2018.



**Figura 16:** Factor de seguridad en la riel eje X.  
 Elaborado por: Robalino, 2018.

Como se puede observar en la Figura 16, en la simulación del software arroja un valor FDS de 7, en la parte central del tubo. Esta zona es la más crítica, pero el valor de seguridad es alto por lo que garantiza un ciclo de vida largo en condiciones de trabajo extensas. Además, se evita desplazamientos por fleje.



**Figura 17:** Diagrama de fuerzas cortantes para el eje X.  
Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Figura 17, se muestra el diagrama de fuerzas cortantes realizada en el software Solidworks, para un peso de 39 N aplicado en el centro da un máximo de 22.88N, y las reacciones R1 y R2 son 16.12 N.

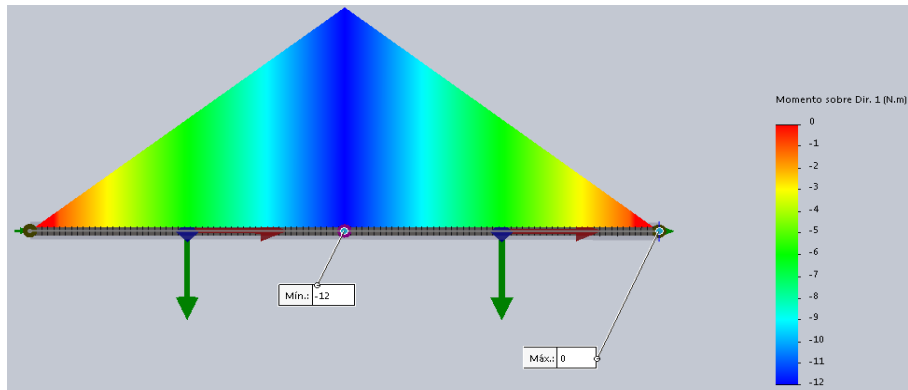
En la Tabla 8, se muestra todas las fuerzas cortantes de cada punto del eje y sus apoyos, así como el momento flector. Además de las fuerzas axiales que presenta cada elemento.

**Tabla 8:** Datos de fuerza Cortante y Momento flector

Punto viga	Elemento	Axial (N)	Cortante (N)	Momento (N.m)
A1	2-3	-39.7	19.5	6.62
A2	2-4	-19.5	-39.5	-5.7
A3	2-1	-19.5	39.5	5.7
A4	2-2	-39.5	-19.5	-2.8

Elaborado por: Robalino, 2018.

A continuación, en la Figura18, se muestra el diagrama de momento flector del eje X, simulado en el software Solidworks, el momento máximo es de 12N.m, en el centro del tubo.

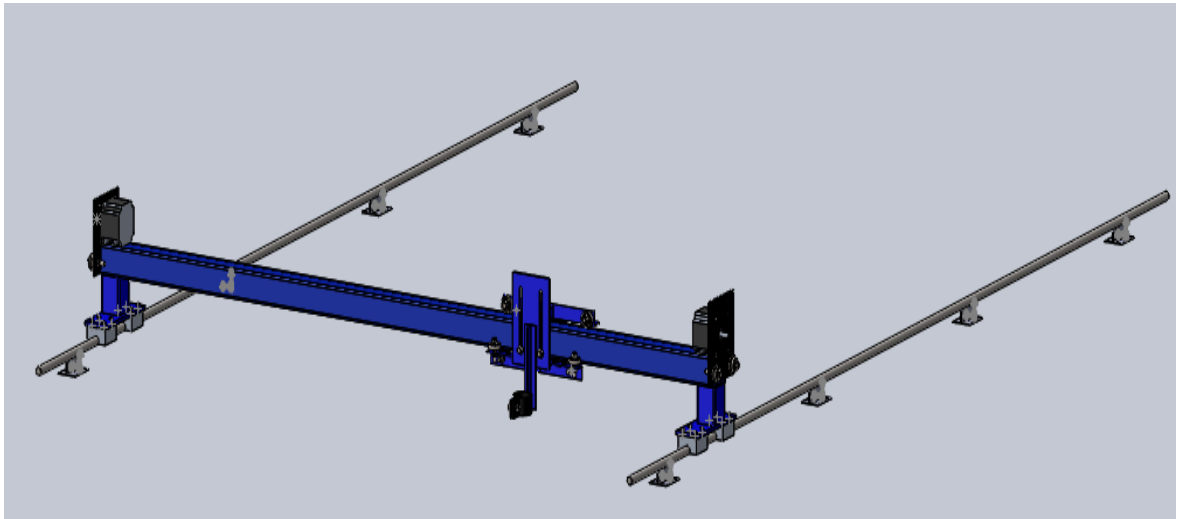


**Figura18:** Diagrama del momento flector de la riel eje x.  
 Elaborado por: Robalino, 2018.

Con esta información recabada gracias al software, se ha podido determinar las dimensiones idóneas que permiten garantizar a la estructura rigidez, costo y durabilidad.

### Diseño del Soporte y riel de las guías para el eje Y.

### Diseño de los rieles para el eje Y.



**Figura 19:** Riel eje Y soportando las cargas de los componente eje X.  
 Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Figura 19, se muestra los 2 rieles del eje Y soportando el peso de los componentes del eje X y el soporte de la antorcha. A continuación, se muestra en

la Tabla 9, los valores de los componentes del eje Y, soporte de la antorcha, que van a influir sobre el riel del eje Y, en este caso una barra redonda de acero DIN 115CrV3 recomendada para este tipo de aplicación.

El valor total del peso es de 66.3 N, como el peso se divide en 2 puntos de apoyo, se realizará el análisis con la mitad del peso que es de 33.15N. Además, se considera para la simulación que cada soporte está apoyado sobre 2 cojinetes.

**Tabla 9:** Información sobre la masa y peso que actúan en la riel eje Y

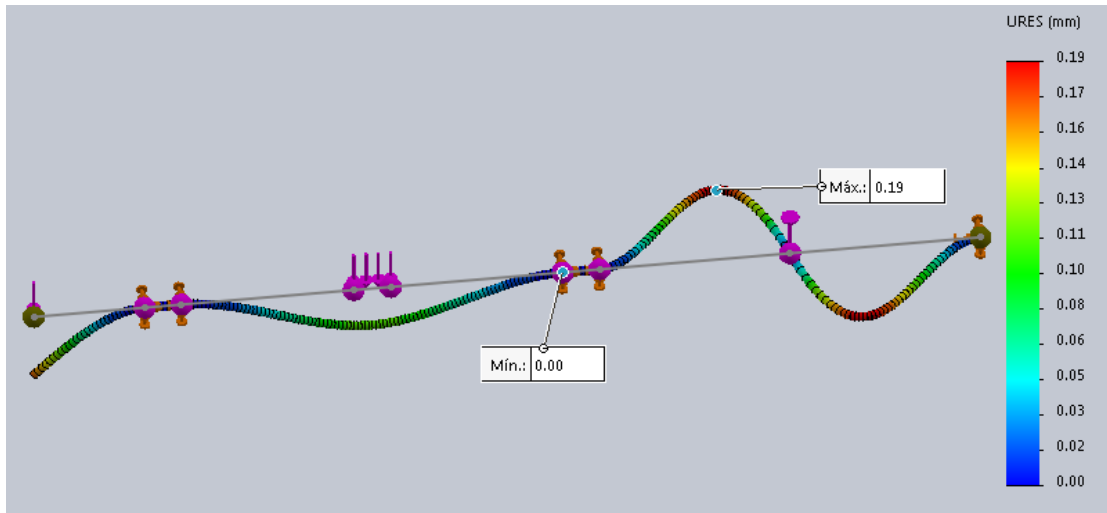
PIEZA	MASA(kg)	PESO(N)
Guía del eje X, y soporte	3.98	39
2Motores	2	19.6
Tubo cuadrado de la riel eje X y platinas.	0.380	3.724
Rodamientos lineales	0.4	3.92
Total	6.8	66.3

Elaborado por: Robalino, 2018..

Como se puede observar en la Figura 20, a una escala grafica de 600 veces la deflexión, la deformación máxima que se tiene es de 0.19mm con una carga puntual de 33.15N. También, se coloca 4 apoyos de 2 ángulos de ¾ de pulgadas unidos, que están separados a una distancia de 515mm para evitar el pandeo en el riel.

El espesor idóneo mediante la simulación para una barra de acero DIN 115RcV, es de 12mm y su longitud total es de 2000mm. Como los soportes del eje X consta de 2 rodamientos lineales el pandeo será menor ya que se divide la carga a una distancia aproximada de 150mm, dando como resultado un desplazamiento máximo de 0.09mm que es la zona verde, este valor ayuda a la precisión de la máquina ya evitar fallas en el corte.

En el Anexo 14 se indica las medidas y características del componente.



**Figura 20:** Simulación del desplazamiento de la riel del eje Y  
 Elaborado por: Robalino, 2018.

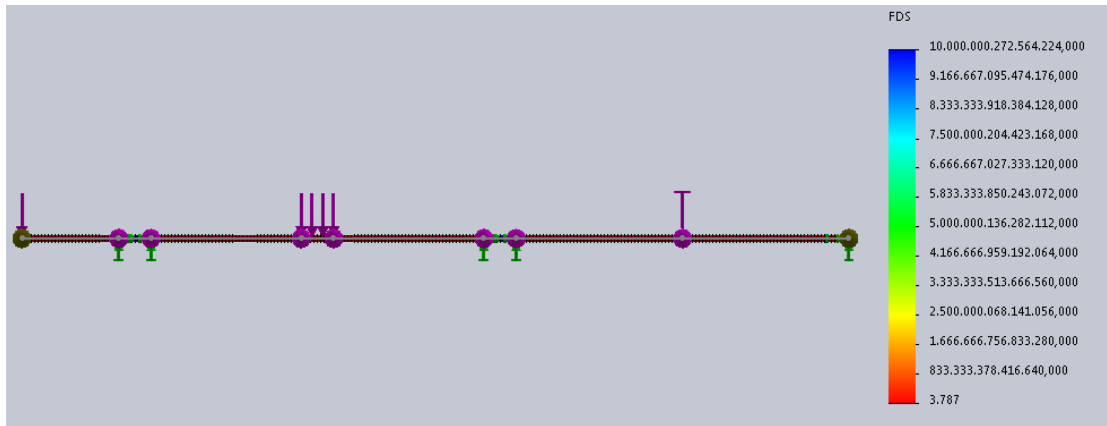
En la Figura 21 se muestra la tensión máxima que es de 97Mpa, siendo el límite de elasticidad del material 370Mpa. La mayor concentración de fuerza está en el centro de la barra entre los 2 soportes y con una carga puntual de 33,15N. Este valor reduce el fleje y aumenta la estabilidad en el riel.



**Figura 21:** Tensión Max de la riel eje Y  
 Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Figura 22 se indica la simulación del factor de seguridad con el software. Este factor determinado es de 3.8 aproximadamente, este valor es muy bueno sobre esa al límite recomendado en diseño de máquinas.

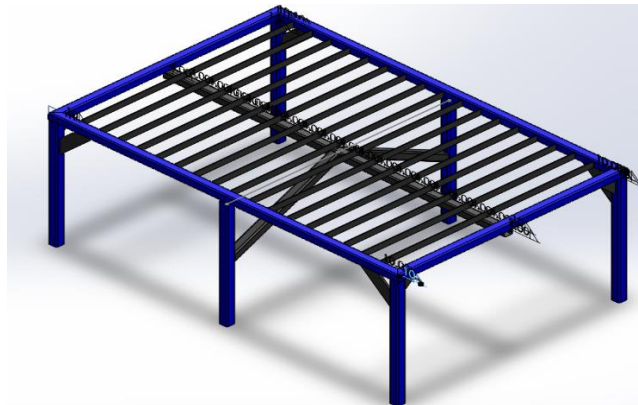




**Figura 22:** Factor de seguridad para la barra de acero de la riel eje Y.  
Elaborado por: Robalino, 2018.

### Diseño del bastidor y rejillas para la mesa cortadora.

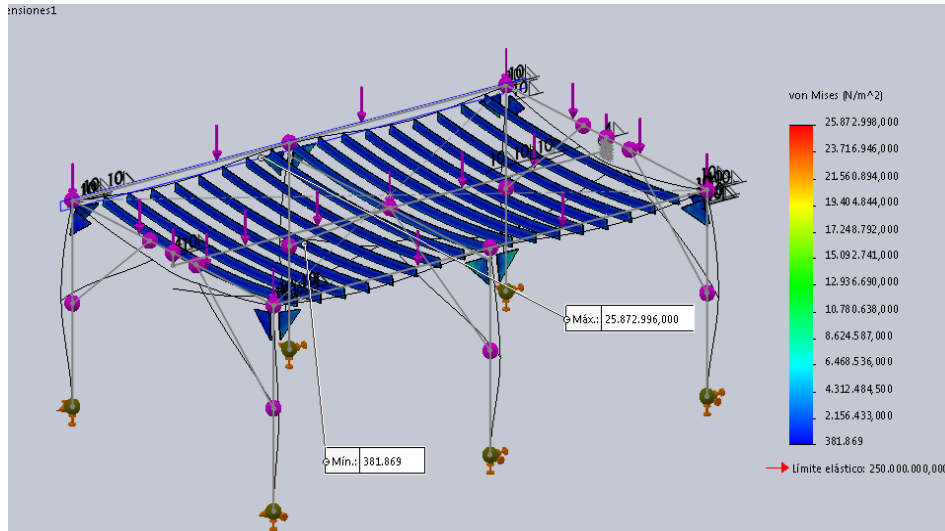
El diseño del bastidor de la máquina CNC cortadora por plasma, se muestra en la Figura 23, el área de corte es de 1220 X 1800 mm. Consta de una rejilla conformada por 17 platinas con dimensiones 32mm de ancho, espesor de 3mm y longitud de 1220mm, las cuales soportan el peso de las planchas metálicas a cortar.



**Figura 23:** Bastidor de la máquina CNC cortadora por plasma.  
Elaborado por: Robalino, 2018.

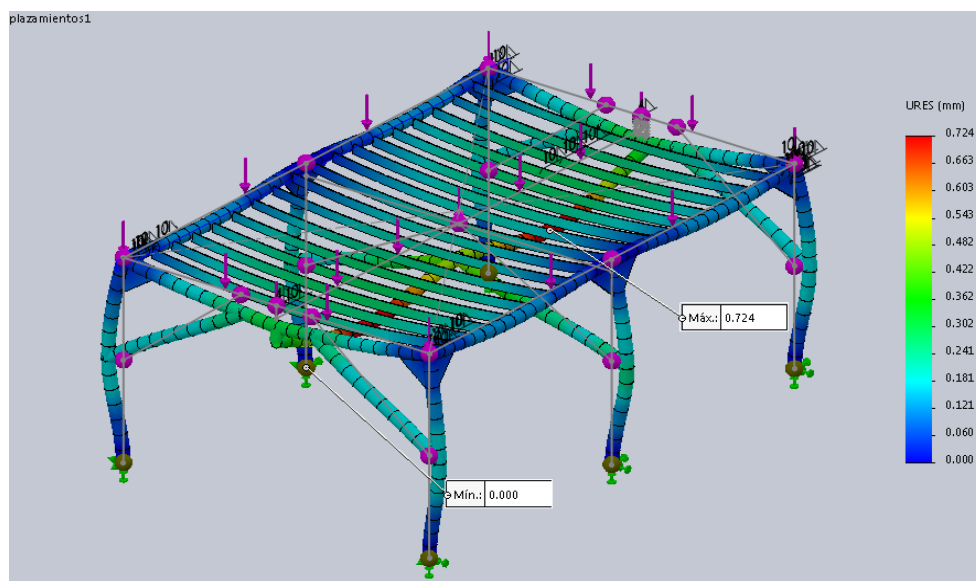
En la parte intermedia este, cruzado por debajo de las platinas un tubo cuadrado de dimensiones 38X38X2000m con un espesor de 1,5mm el cual, con la ayuda de 2 tubos cuadrados de dimensiones similares, divide las fuerzas hacia los dos

soportes verticales intermedios, reduciendo el pandeo en la parte central ya que es el área más crítica. Las dimensiones y componentes están en el Anexo15.



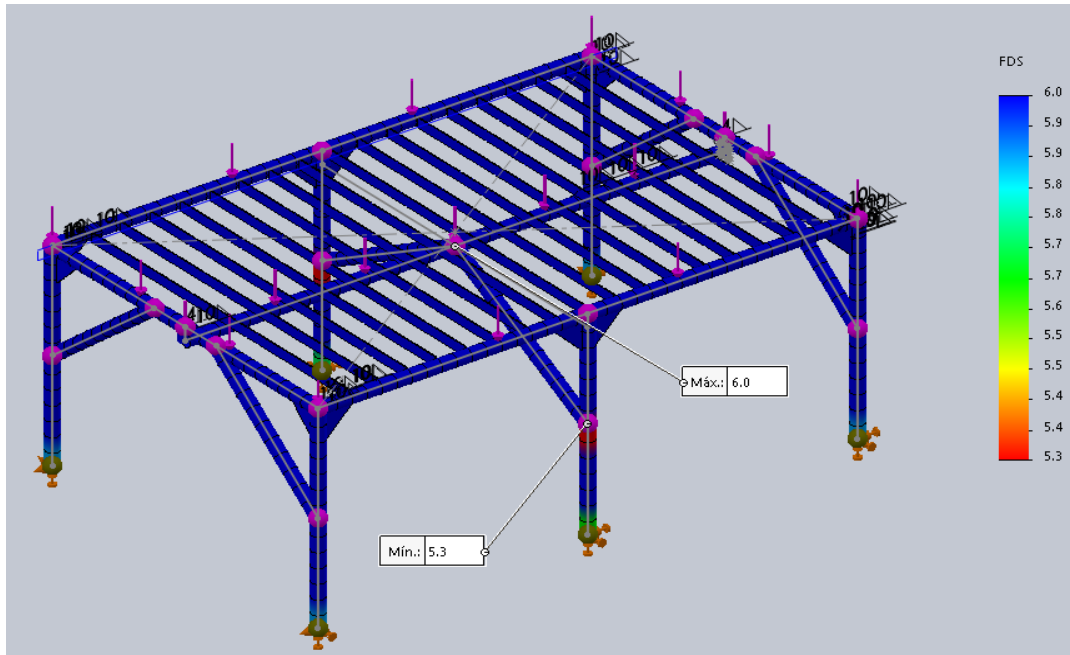
**Figura 24:** Estructura sometida a simulación para la tensión de Von Mises.  
Elaborado por: Robalino, 2018.

En la tensión de Von Mises como se muestra en la Figura 24, se tiene un valor máximo de tensión aproximado de 25Mpa el valor más crítico, está ubicado en la parte central del bastidor, este valor garantiza que soporte cargas de 2000N en el área de corte, ya que el límite elástico del material es de 250Mpa.



**Figura 25:** Bastidor sometido a simulación de Desplazamiento.  
Elaborado por: Robalino, 2018.

Con una escala de simulación grafica de 290, mostrada en la Figura 25, se obtiene un desplazamiento máximo en la parte central del área de corte del bastidor aproximado de 0,7mm. Es un valor aceptable ya que es menor a 1mm, lo cual no afectará a la precisión del corte por plasma, debido a que el bastidor no realizara movimientos de traslación.

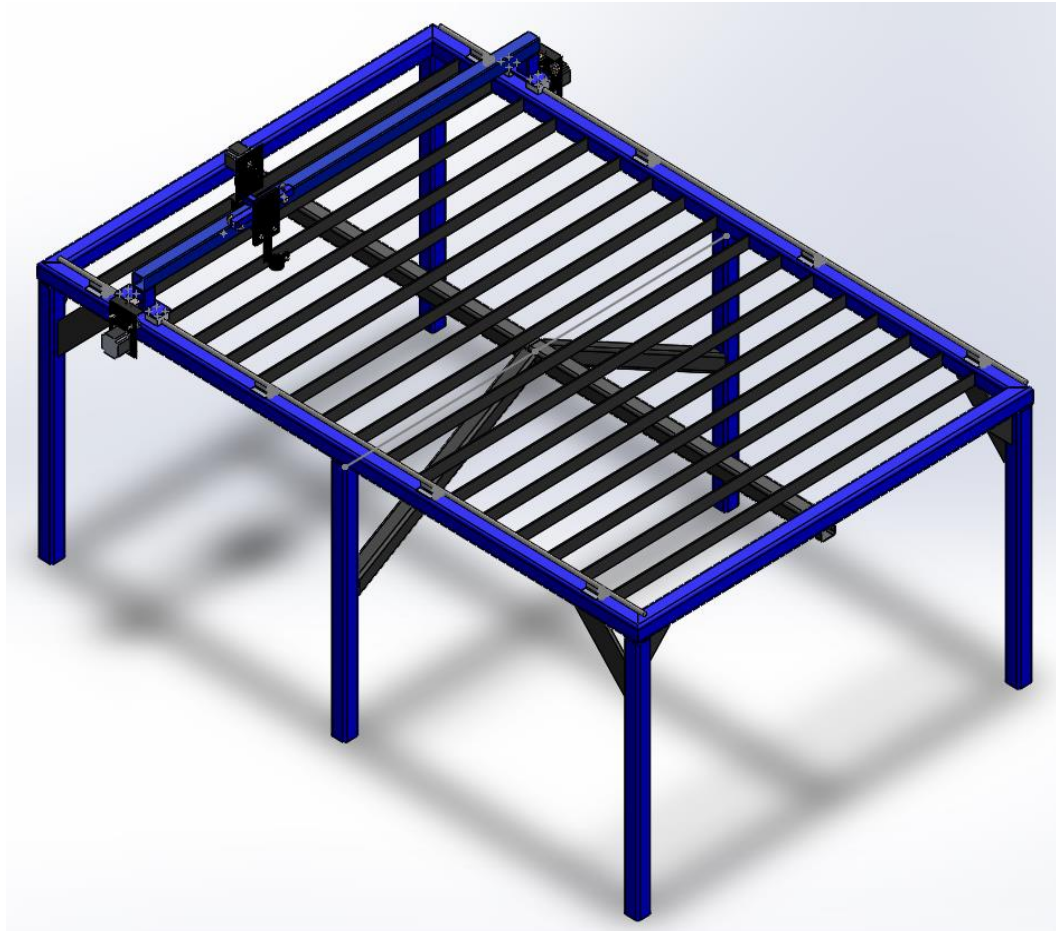


**Figura 26:** Bastidor sometido a simulación para cálculo del Factor de Seguridad  
Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Figura 26, se indica la simulación realizada al bastidor para determinar el factor de seguridad, a lado derecho existe una barra multicolor en la parte superior de color azul indica el máximo valor FDS y en la parte inferior de color rojo el minio valor es de 5.3.

El FDS más bajo se da en la zona roja indicada en la mitad del bastidor en las 2 patas, siendo un valor aceptable, ya que garantiza la robustez y estabilidad de la máquina.

En esta etapa del proyecto se realiza el cálculo para que la estructura soporte el peso de las planchas metálicas. Las guías no fleje y soporte el peso de los actuadores.



**Figura 27:** Máquina CNC cortadora por plasma.  
Elaborado por: Robalino, 2018.

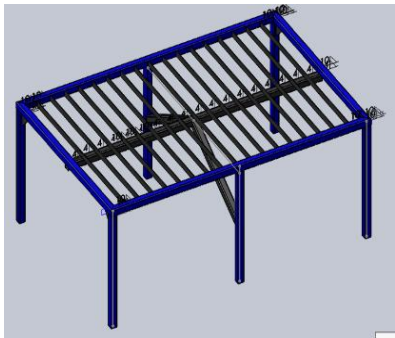
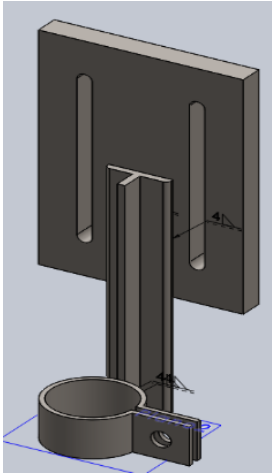
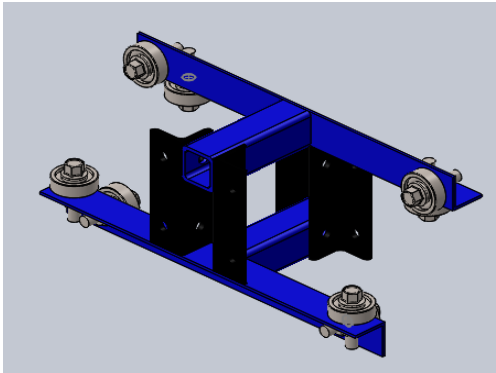
En la Figura 27, se muestra el diseño final propuesto el cual cumple con los porcentajes más altos demandas en el QFD.

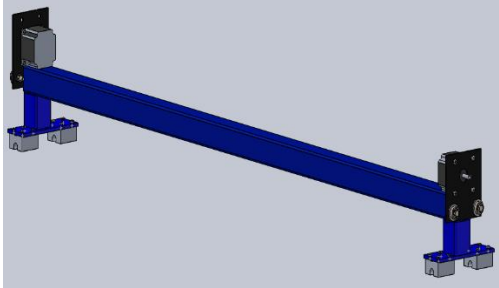


Siendo en este caso el precio y asegurando la precisión de la máquina para garantizar la calidad del corte. En el Anexo 16 Se muestra las dimensiones de la máquina.

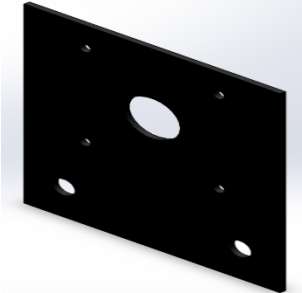
### **Materiales y recursos utilizados.**

A continuación, se detalla los materiales necesarios para la construcción de la estructura metálica en la siguiente Tabla10. La cual está dividida en 7 partes principales.

**Tabla 10:** Lista de materiales para la máquina CNC cortadora plasma

Parte	Ensamble	Descripción	Cantidad
<b>Bastidor</b>		Tubo cuadrado 40X40X6000mm espesor 1,5mm. Acero ASTM A500.	<b>2,5 tubos</b>
		Platina 1 1/4 pulgs X 3/16 de espesor. 1250mm. Acero 36	<b>4 platinas</b>
<b>Soporte de la antorcha</b>		Plancha metálica, 200mm de ancho, 220mm de largo, 2 mm de espesor. Acero A36.	<b>1</b>
		Angulo T 3/4 pulgs, espesor 2 mm. Y una longitud de 190mm. Acero A36	<b>1U</b>
		Abrazadera 30mm, espesor 1,5 mm. Acero A36.	<b>1 U</b>
<b>Guía lineal X</b>		Rodamiento 628 R-S	8 U
		Angulo 3/4 pulgs X 200mm, espesor 1,5 mm. Acero A36.	2 U
		Tubo 3/4 pulgs, espesor 1,5mm. Acero A 36	2 U

		Angulo ¾ pulgs X 120 mm, espesor 1,5 mm. Acero A 36.	4 U
<b>Riele eje X</b>		Tubo cuadrado 50 X 50 X 1300 mm. Espesor de 1,5 mm. Acero A36	1 U
		Tubo cuadrado 50 X 50 X 100 mm. Espesor de 1,5 mm. Acero ASTM A 500.	2 U
		Platina 60 X 150 mm, espesor de 2 mm. Acero A36	2 U
<b>Guías eje Y</b>		Rodamiento lineal abierto SBR12UU. Dimensiones: 41X41X39 mm(LxAxH). Aluminio	4 U
<b>Riel eje Y</b>		BARRA ACERO PLATA. 12 mm DE DIAMETRO X 2000 mm DE LONGITUD.	2 U
		Angulo ¾ X 60 mm, y 2 mm de espesor acero A36	8 U

<b>Soporte de motores</b>		Plancha metálica, medidas 90 X 100, espesor 2 mm. Acero A36.	<b>3u</b>
---------------------------	---	--	-----------

Elaborado por: Robalino, 2018.

**Selección de componentes según la matriz QFD.**

**Selección del equipo para el corte por plasma del proyecto.**

**Tabla 11:** Datos Técnicos para la selección del cortador plasma.

<b>Cortador Plasma</b>		
<b>CRITERIO</b>	<b>Ktc 40 Amp.</b>	<b>Porten 40<sup>a</sup></b>
		
<b>Precisión</b>	Buena	Buena
<b>Bajo costo</b>	Mala	Buena
<b>Capacidad de corte</b>	Buena	Buena
<b>Calidad e corte</b>	Buena	Media
<b>Repuestos en el mercado</b>	Media	Media

Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Tabla 11, se muestra la valoración de cada posibilidad según cada carácter indicado. Se ha elegido estas dos marcas debido a su costo y disponibilidad en el mercado de repuestos. La primera posibilidad que se indica es una cortadora plasma de la marca Ktc de 40 Amp, esta máquina tiene buenas características técnicas pero un elevado costo.

La segunda posibilidad es una cortadora de la marca Porten 40<sup>a</sup>, cuenta con buenas características técnicas y cumple con las necesidades de corte para este proyecto, se aprecia que el cortador plasma que cumple con la mayor cantidad de criterios, es la marca Porten. Por tanto, se selecciona el equipo de la marca Porten 40<sup>a</sup> en el proyecto planteado.

### **Corte por plasma**

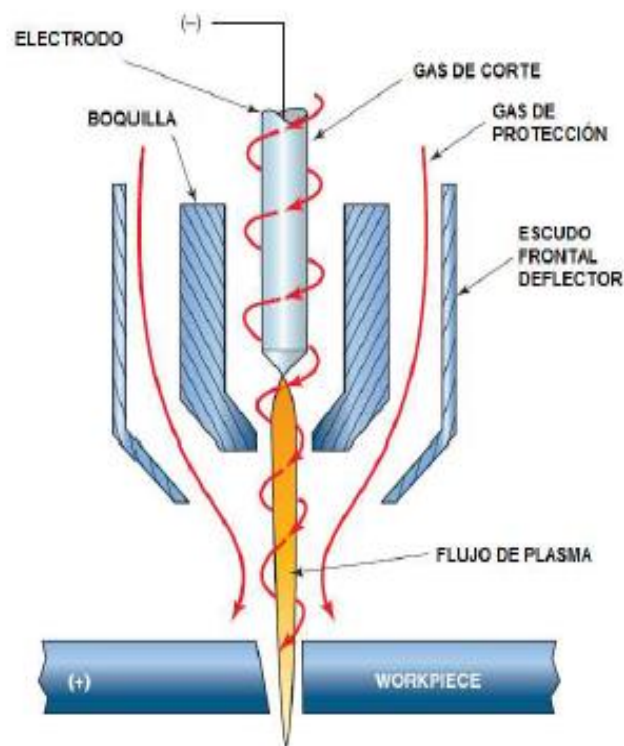
El plasma se considera el cuarto estado de la materia después del sólido, líquido y gaseoso. Al calentar un gas a temperaturas del orden de 50.000 °C los átomos pierden electrones. Estos electrones libres se colocan en los núcleos que han perdido sus propios electrones, convirtiéndose así en iones.

De esta forma, el gas se convierte en plasma y por consecuencia se tiene un conductor eléctrico gaseoso con alta densidad de energía. El arco se constriñe haciéndolo pasar por un orificio situado en el electrodo.

Cuando el gas de plasma atraviesa el arco, se calienta rápidamente hasta una temperatura elevada, se expande y se acelera al pasar por el orificio de constricción hacia la pieza de trabajo. En el Anexo 17 se muestra las características técnicas del equipo.

El orificio dirige el chorro de plasma sobrecalentado desde el electrodo hasta la pieza de trabajo Figura 28. Cuando el arco funde la pieza de trabajo, el chorro de alta velocidad expulsa el metal derretido para formar el corte.





**Figura 28:** terminología del proceso PAC

**Fuente:** (Calupiña, y otros, 2012)




Esta moderna tecnología puede utilizarse para el corte de cualquier material metálico conductor y de manera específica en acero estructural, inoxidable y metales no férricos. También, se produce una baja afectación térmica del material gracias a la alta concentración energética del arco-plasma. (EcuRed, 2013)

Este proceso permite cortar a altas velocidades y produce menos tiempos muertos, (no se necesita precalentamiento para la perforación) (EcuRed, 2013). En el Anexo 18 se identifica las características de la boquilla y se describe la velocidad de corte según el material y espesor a cortar por el equipo.

Este proceso por corte con plasma tiene el beneficio de no sobrecalentar el área de corte, gracias al enfriamiento del aire comprimido crea una capa que concentra el calor solo en una pequeña área determinada, por lo cual no sufre la placa deformaciones por alta temperatura.

## Selección de motores, para accionamiento de los ejes.

**Tabla 12:** Tipos de motores eléctricos y su calificación por criterio

<b>Motores eléctrico</b>			
<b>CRITERIO</b>	<b>Motor Paso a paso.</b>	<b>Motor C.D.</b>	<b>Servo Motor</b>
			
<b>precisión</b>	Buena	Media	Buena
<b>Bajo costo</b>	Media	Mala	Mala
<b>Torque</b>	Medio	Buena	Buena
<b>Repuestos en el mercado</b>	Buena	Media	Mala

Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Tabla 12, se puede apreciar los 3 tipos de motores que se pueden utilizar en este proyecto. La primera posibilidad es utilizar los motores paso a paso, los cuales necesitan un pulso de corriente en cada terminal para su movimiento dependerá el grado que tenga para su giro, son muy precisos no disponen de mucho torque en altas velocidades.

La segunda posibilidad, utiliza motores de corriente continua, para el control se necesitan encoders y para el cambio de dirección por lo general un puente H que consiste en cuatro transistores que permiten cambiar la polaridad de los terminales, debido a los reductores pueden perder precisión.

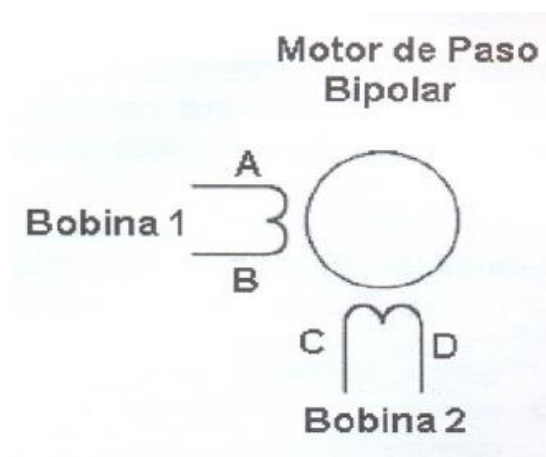
La tercera posibilidad es usar un servomotor, es uno de los más precisos del mercado, aunque uno de los más costosos. Pues, necesitan pulsos eléctricos que son enviados a una tarjeta de control, la cual se encarga de enviar la corriente necesaria para el movimiento del motor.

Para poder definir cuál es el más idóneo, se realiza una valoración según el criterio que debe tener para el proyecto. Como se puede ver, los motores paso a paso (step motor) son los que mejor se acoplan a este proyecto por su precio y control de movimiento. A continuación, se da una pequeña introducción sobre los motores paso a paso.

### **MOTOR PASO A PASO.**

Son actuadores electromagnéticos rotatorios que convierten señales digitales en movimiento mecánico. La posición de rotación depende directamente del número de los pulsos y la velocidad de movimiento está en función de la frecuencia de los pulsos.

Los motores a pasos están formados por un rotor sobre el que se integran varios imanes permanentes y por un conjunto de bobinas en el estator. El eje del rotor se encuentra acoplado mecánicamente sobre cojinetes que le permiten girar libremente (BOLTON, 2004).



**Figura 29:** Diagrama de un motor bipolar

Fuente: (STEREN, 2008 pág. 42)

Para lograr giros de 90° se requieren cuatro pasos para dar una vuelta completa. Para lograr giros de 1.8° se requieren doscientos pasos para lograr una vuelta completa. Uno de los dos tipos de motores de paso es el Bipolar (Figura 29). La forma más común de identificarlo, es que solamente tiene cuatro cables de alimentación.

Cada bobina se puede pensar como un motor de DC, por lo que estos motores de pasos pueden ser manejados con un circuito de Puente H por cada bobina. Así, un motor de pasos se maneja con dos Puentes H (STEREN, 2008).

El motor que se utiliza en el proyecto motor es un 23HS22-2804S, con grados de giro de 1.8°, el mismo que necesita 200 pasos para llegar a 360° (Anexo 19).

**Tabla 13:** Secuencia de conmutación para un motor PAP bipolar.

Pasos	Terminales			
	A	B	C	D
1	V+	V-	V+	V-
2	V+	V-	V-	V+
3	V-	V+	V-	V+
4	V-	V+	V+	V-



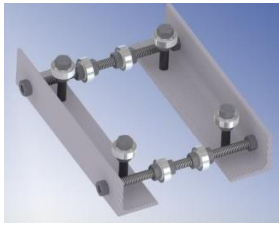
Fuente: (Reyes, 2006)

Para un motor bipolar se debe invertir la polaridad de cada bobina para que esta pueda generar un paso como se muestra en la Tabla13.

### **Selección de sistema de guías para el proyecto.**

En la Tabla 14, se indica la calificación de las tres posibilidades, en este caso se tiene la guía patine lineal Hiwin, guía lineal de resirculacion de bolas abierto, y guía por rodamientos entrecruzados.

**Tabla 14:** Tipos de guías y sus calificaciones por criterio

Guías			
CRITERIO	POSIBILIDAD1	POSIBILIDAD2	POSIBILIDAD3
			
<b>precisión</b>	Buena	Buena	Media
<b>Bajo costo</b>	Mala	Media	Buena
<b>Mantenimiento</b>	Medio	Buena	Buena
<b>Resistente</b>	Buena	Media	Buena
<b>Repuestos en el mercado</b>	Media	Media	Buena

Elaborado por: Robalino, 2018.

En este punto, existen dos ejes en los que una de las mejores posibilidades, no puede ser aplicada por la distancia que tiene y es en el eje Y. En este eje, la segunda posibilidad se ajusta mejor en este eje Y, ya que tiene la posibilidad de ser ampliada la longitud sin existir problemas de pandeamiento. Para el eje X, se selecciona la posibilidad tres, la cual se acopla perfecto, ya que su distancia es corta y no existe problema de pandeo por peso de los componentes.

### **Guia lineal de resirculacion de bolas abierto.**

Los rodamientos lineales de bolas LBC de SKF constan de jaulas, segmentos de camino de rodadura y portadores de camino de rodadura (para guiar y recircular las bolas), así como de obturaciones o placas de protección. Los largos caminos de rodadura y su osculación permiten cargas pesadas o muy pesadas. Los rodamientos lineales de bolas SKF de la serie 3 según la norma ISO 10285 están disponibles en diseños cerrados o abiertos que admiten el apoyo del eje para grandes cargas, en caso aplicable. Se pueden instalar en soportes cerrados o

ajustables y están disponibles para diámetros del eje de 5 a 80 mm. (SKF). Anexo 20 se indica las características técnicas de la guía lineal.



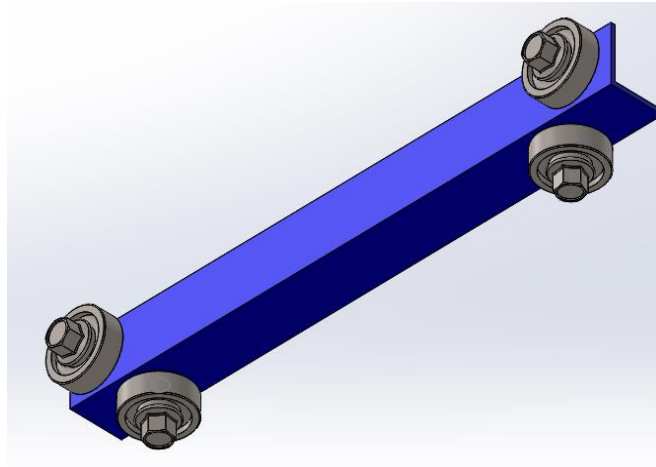
**Figura 30:** Rodamiento lineal de bolas recirculante abierto  
Fuente: (SKF)

En la Figura 30, se aprecia un rodamiento lineal de bolas recirculantes con dos obturaciones de doble labio.

### **Guías con rodamientos.**

Este tipo de guías utiliza como riel el tubo de la estructura que la soporta, evitando utilizar un riel externo, en la Figura 31 se indica la forma de la guía sobre un ángulo, tiene buena precisión, pero se debe calibrar adecuadamente para que no tenga holgura.

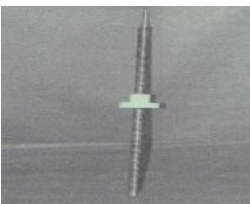
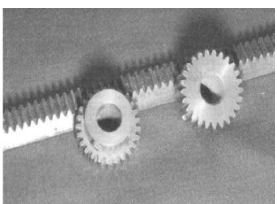

En este proyecto se utiliza en el eje X, debido a que la primera posibilidad no puede ser aplicada debido a la dirección de las fuerzas en los rieles, ya que son tangenciales en su mayoría, para evitar esto hay dos posibilidades construir un riel con base robusta, la cual incrementa los costos y el peso ya que son una en la parte superior y otra en la inferior, o la tercera posibilidad es utilizar rodamientos, la cual no necesita de rieles extras y se adapta perfectamente al tubo de la estructura, reduciendo el peso del componente del eje x.



**Figura 31:** Guía hecha con rodamientos  
Elaborado por: Robalino, 2018.

**Selección de sistema de transmisión para el proyecto.**

**Tabla 15:** Tipos de transmisiones y sus calificaciones por criterio

<b>TRANSMISIÓN</b>			
<b>CRITERIO</b>	<b>POSIBILIDAD1</b>	<b>POSIBILIDAD2</b>	<b>POSIBILIDAD3</b>
			
<b>precisión</b>	Buena	Media	Buena
<b>Bajo costo</b>	Mala	Mala	Buena
<b>Bajo Juego o backlash</b>	Buena	Mala	Buena
<b>Seguridad</b>	Buena	Media	Media
<b>Repuestos en el mercado</b>	Media	Media	Buena
<b>Poco mantenimiento</b>	Media	Mala	Buena

Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Tabla 15, se encuentra 3 tipos de transmisiones y sus respectivas valoraciones en cada criterio. En la posibilidad 1 se encuentra la transmisión por tornillo sin fin, consiste en una barra roscada y una tuerca, la transmisión del movimiento se da al momento que gira la barra roscada y la tuerca permanece fija transformando el movimiento circular en lineal.

La segunda posibilidad es la transmisión por cremallera y engranaje, consiste en el giro del engrane sobre la cremallera impulsándolo linealmente cuando gira, la desventaja de este sistema es su elevado backlash (juego que existe entre las caras del engranaje y cremallera).

La tercera posibilidad es la transmisión por banda dentada, aquí utiliza una banda dentada acoplada a una polea dentada conectada al motor, se encuentra abrazada y separada por dos poleas tensoras, tiene un bajo backlash, bajo costo y fácil mantenimiento. Por tanto, se recomienda el uso de este sistema de transmisión en la máquina.

Se utiliza la banda GT2 la cual es muy utilizada para este tipo de aplicación que no requieren esfuerzos chocantes.

### **Transmisión por banda sincrónica o dentada.**

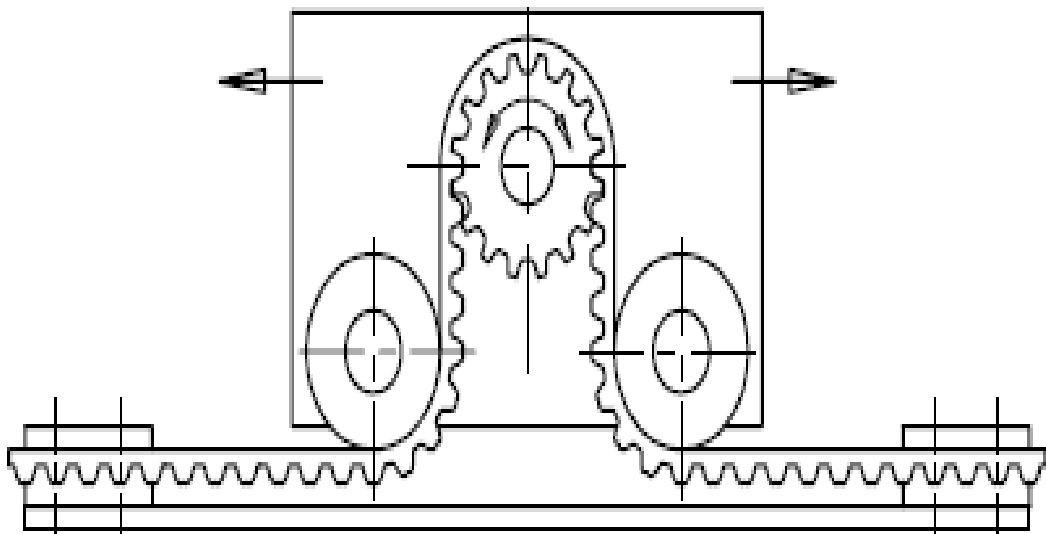
Una transmisión por correa dentada que comprende una correa provista de dientes longitudinalmente espaciados y dispuestos para tener un huelgo preseleccionado entre los flancos laterales de los mismos y los flancos laterales de los dientes de la polea con los cuales se engranan los dientes de la correa en una operación de transmisión.

Se hace que el huelgo se encuentre en un máximo en las puntas de los dientes de la correa y disminuya hasta un mínimo o cero en las raíces de los dientes de la correa. Se describen diferentes curvaturas de los flancos laterales de los dientes de



la correa en donde dichas curvaturas están centradas en ejes situados en posiciones diferentes respecto al cuerpo de la correa. (Hiroyuki, y otros, 1988).

En la Figura 32, se muestra la imagen la transmisión por banda dentada que se propone para este proyecto. Esto indica, una polea dentada que va montada en el motor y en la parte inferior se encuentran 2 poleas tensoras, alrededor se encuentra la banda dentada de paso 2 y ancho de 10mm.



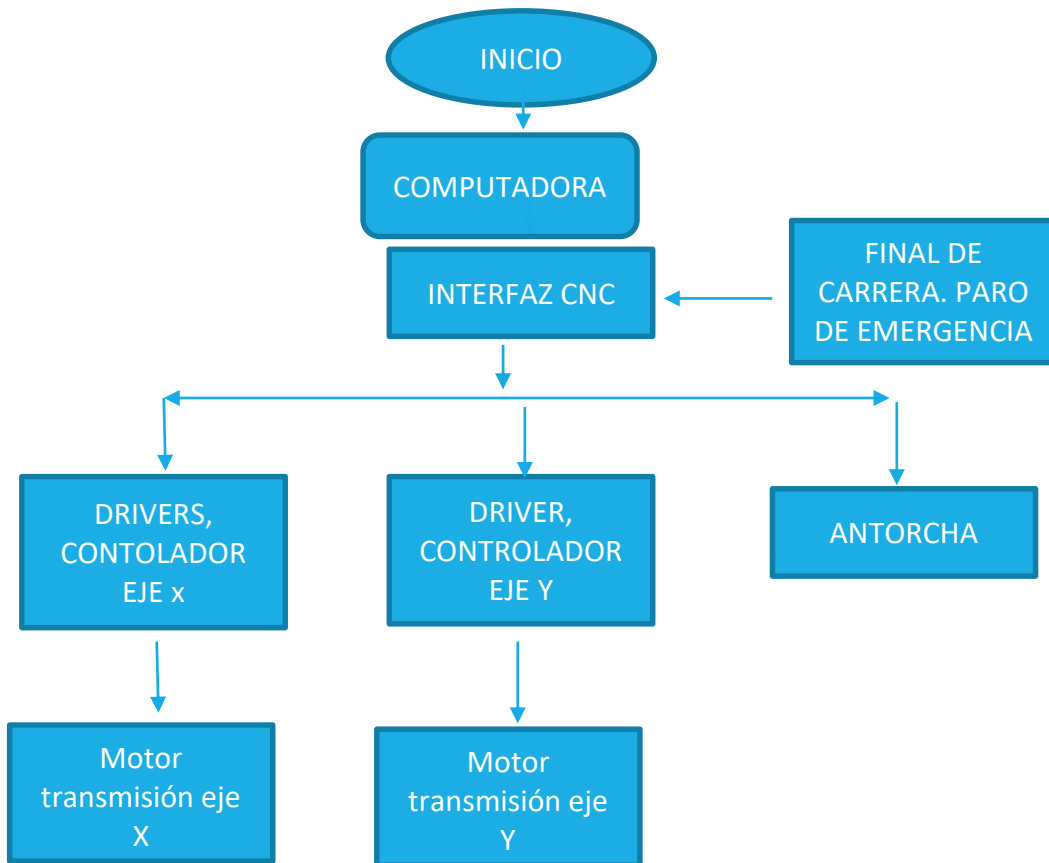
**Figura 32:** Transmisión abierta por banda dentada  
Fuente: Catalogo HTD

La banda tiene una resistencia a la ruptura 516N, la tensión de trabajo es de 54N, recomendado por el fabricante, Anexo 21. En este proyecto, la tensión de trabajo es de 37N, este valor se determinó antes con el peso que soportara las guías del eje Y, en cada lado.

El paso es de 2mm GT2 ancho de 10mm. Temperatura de trabajo  $-34^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$ , según especificaciones del fabricante. Según (G. Budynas, y otros, 2012), se recomienda este tipo de transmisión ya que no existe esfuerzos de chocantes y que se necesite precisión.

## Selección de componentes electrónicos y eléctricos.

Diagrama de funcionamiento del Sistema electrónico.



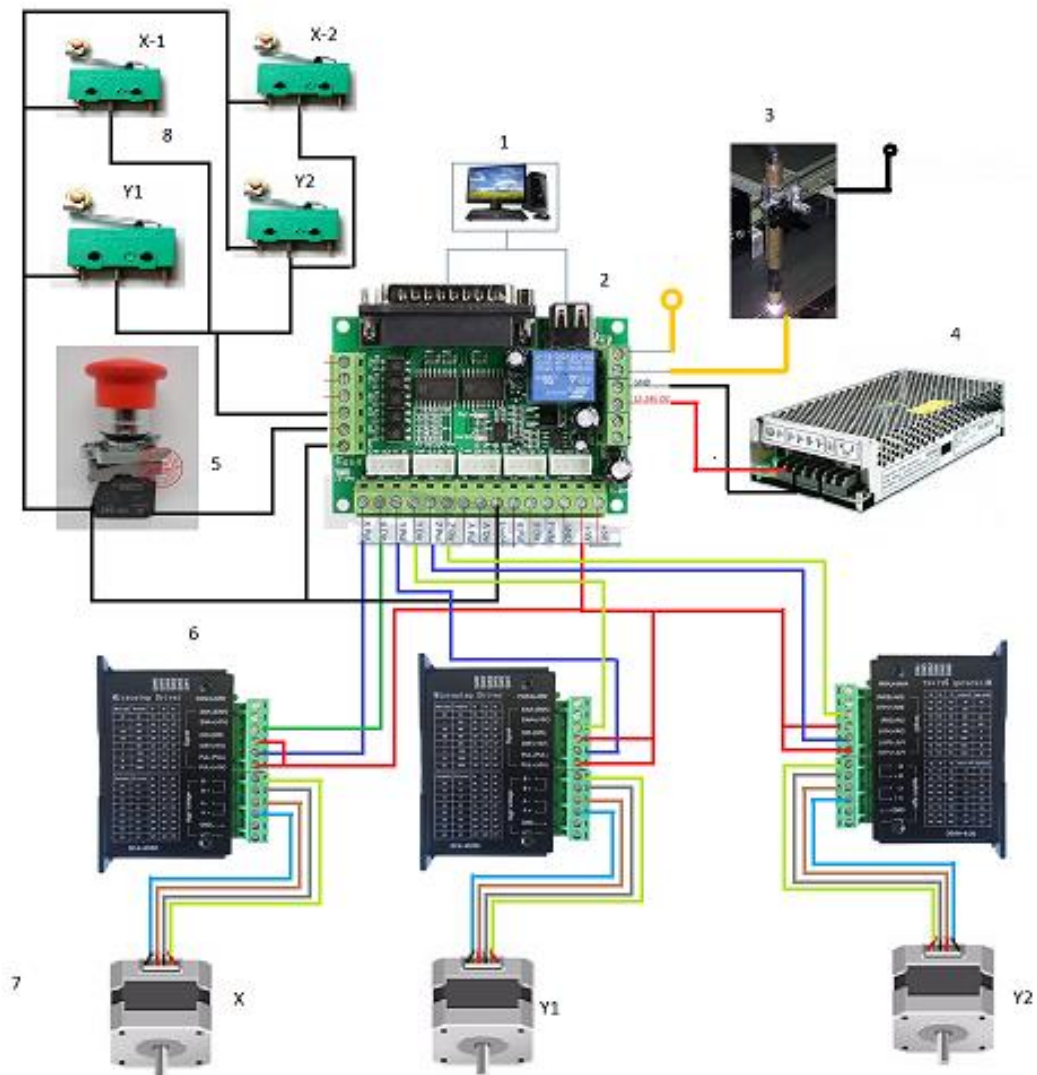
**Figura 33:** Esquema de control electrónico del CNC

Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Figura 33, se explica la interacción de cada componente. Mediante el software Mach3, se configura la comunicación entre el computador y la interfaz CNC, esta última es encargada de recibir la información binaria del computador, con las señales procesadas se envía la información a los drivers, estos controlan la alimentación de los actuadores su velocidad paso torque.

La interfaz CNC también recepta las señales de los finales de carrera, para luego enviársela al computador y así detener todo el sistema. También la tarjeta activa el pulsador de la antorcha de la cortadora plasma.

## Diagrama de conexión de la parte electrónica



**Figura 34:** Sistema de control electrónico de la máquina CNC cortador plasma.  
Elaborado por: Robalino, 2018.

### Descripción.

En la Figura34, se indica los componentes de la parte de control electrónico de la máquina, a continuación, se describe cada una de ellas:

1. Representada por la computadora esta nuestro software Mach3, es el encargado de procesar los códigos G&M en códigos de máquina, que

posteriormente será enviada la información a través del cable DB25, conectado al puerto LTP (puerto paralelo del computador), a la tarjeta electrónica interfaz CNC (2).

2. La interfaz CNC: Es una tarjeta electrónica que recibe la información mediante un cable del puerto paralelo del computador, conectado al puerto paralelo del computador. Este dispositivo interpreta las señales del computador para luego enviar las señales de dirección y paso a los drivers, los pines que se utiliza para salida de datos para los drivers está en el Anexo 22. Tiene una entrada USB la cual sirve para la alimentación de la placa, a su derecha son puertos de activación, aquí se conecta los cables que accionan la antorcha. En la parte izquierda se conecta los finales de carrera y paro de emergencia.
3. Switch: Es la terminal de accionamiento de la antorcha, va conectada a los pines Spindle switch, es un relé de la tarjeta que activa o apaga la antorcha.
4. Fuente de alimentación: Se encarga de alimentar los drivers que accionan a los motores de cada eje, en los terminales VCC y GND del driver. También tiene la opción de alimentar a la tarjeta de la interfaz, si se decide no conecta el USB al computador. Esta fuente tiene la capacidad de proveer 24VDC con capacidad de 15 Amperios y tiene 2 pares de salida independiente. En el Anexo 23, se encuentra descrita las terminales y sus características.
5. Paro de emergencia: Es un dispositivo que ayuda a parar la máquina de inmediato, si existiera alguna anomalía o accidente en el proceso de corte, para restablecer el paro de emergencia, se debe girar la perilla roja. En el Anexo 24 se encuentra descrita las terminales y sus características.
6. Driver o Controlador: Esta tarjeta interpreta la información que envía la interfaz del CNC, por ejemplo, el sentido de giro número de vueltas que da el motor y la velocidad de giro. Controla la alimentación eléctrica de los motores

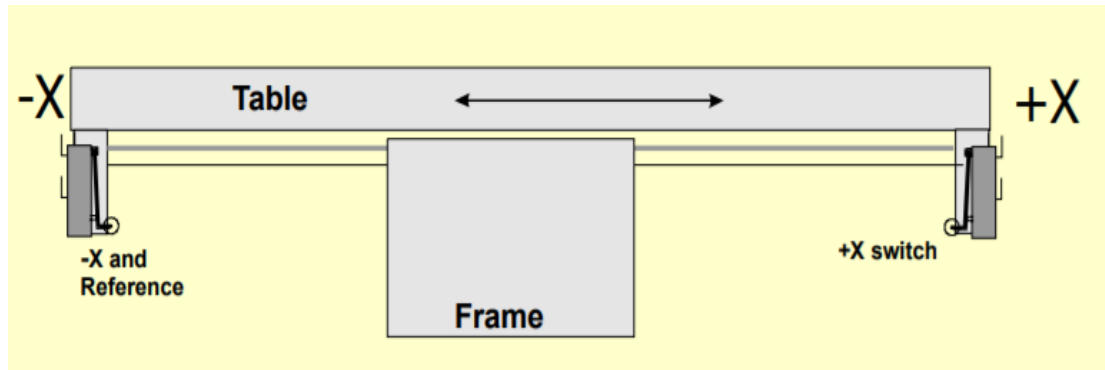
paso a paso. En el Anexo 25, se describe las terminales y sus conexiones a la interfaz, fuente de energía y a los motores paso a paso.

7. Motor paso a paso: Es un motor del tipo bipolar de cuatro terminales, según el Anexo 19, se especifica por color las terminales que se conectan al driver Tb6600, son motores de  $1,8^\circ$ , necesitan 200 pasos para girar  $360^\circ$ , en cada bobina admite 2.8 Amperios. Toda esta información se ingresa al Mach3 para la configuración de funcionamiento de los ejes.
8. Finales de carrera: Son switch de contacto mecánico, que nos permite detener los motores si excede el límite de las guías tanto del eje X como el eje Y. Van conectados a la terminal de la interfaz CNC en el pin P13 para el eje Y, en el pin P12 para el eje X, y la otra terminal del final de carrera a tierra como se muestra en la Figura 33. En el Anexo 26 se describe las características técnicas.

Los interruptores pueden ser un tipo especial de sensores ya que, aunque no modifican las propiedades físicas de sus componentes, sirven para detectar diferentes estados de fenómenos u objetos que se quieran medir. Tienen uno o varios pares de contactos que transmiten estos estados al circuito al que están conectados. Este comportamiento permite o no el paso de una señal eléctrica de CC o CA y también se puede traducir como señales de 1's y 0's, esta última condición muy utilizada en los sistemas con enfoque digital, es decir, sistemas que permiten dos estados (STEREN, 2008).

### **Instalación eléctrica.**

En el Anexo 27, se indica la conexión eléctrica de la cortadora y el tablero de control electrónico. La cortadora está conectado a las 2 fases de 220 VCA, recomendado para un bajo consumo de corriente, el tablero de control electrónico y el computador están alimentados por 120 VCA.



**Figura 35:** Conexión de finales de carrera eje X.

Fuente: (Art Soft Mach, 2018)

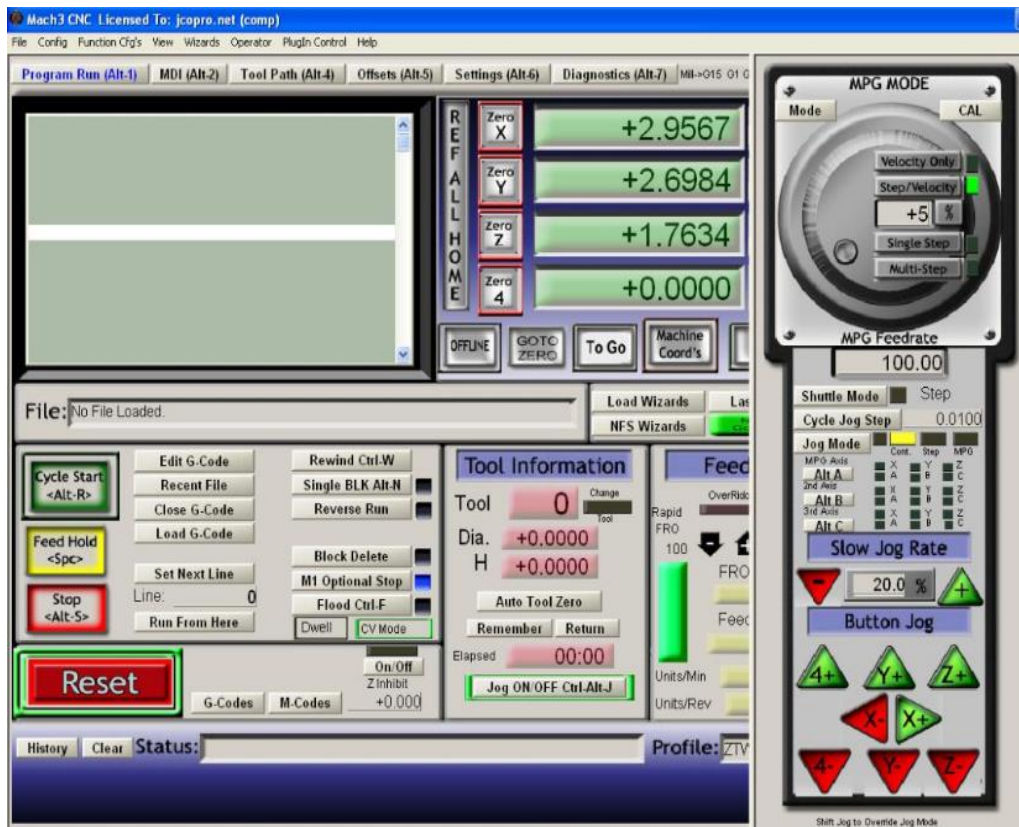
Los finales de carrera del eje Y y el eje X, están conectados a los extremos y se los representa con X+ y X- (Figura 35), al igual para Y+ y Y-, están conectados a un cable número 18, el cual va dentro de una canaleta dirigida hasta donde está el tablero de control electrónico.

El cable de la antorcha va suspendido por un tubo, para que impida el arrastre del mismo, el paro de emergencia está a un lado de la cortadora plasma, esto ayuda al operador a cortar distancia si existe algún problema en el proceso del corte.

### **Configuración con el software Mach3 de la máquina.**

Mach3 convierte una computadora típica en un controlador de máquina CNC. Es muy rico en características y proporciona un gran valor para aquellos que necesitan un paquete de control CNC. Mach3 funciona en la mayoría de las PC con Windows para controlar el movimiento de los motores (paso a paso y servo) procesando el código G&M. Si bien comprende muchas características avanzadas, es el software de control CNC más intuitivo disponible. Mach3 es personalizable y se ha utilizado para muchas aplicaciones con numerosos tipos de hardware (Art Soft Mach, 2018).

En la Figura 36 se muestra el aspecto que tiene una de las pestañas del Mach3



**Figura 36:** Partes principales de la pantalla del control numérico  
Fuente: (Art Soft Mach, 2018)

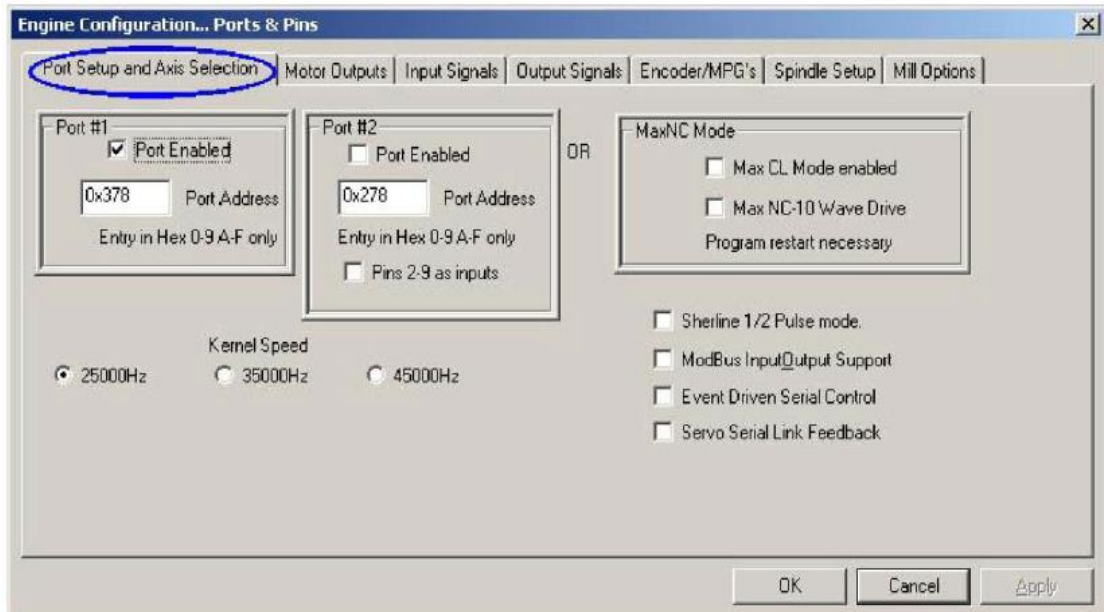
### Requisitos para instalación:

- PC de escritorio (las computadoras portátiles no son compatibles) con al menos un puerto paralelo
- Versión de **32 bits** de Windows 2000, Windows XP, Windows Vista o Windows 7 (las versiones de 64 bits no funcionarán)
- CPU de 1Ghz
- 512 MB de RAM
- Tarjeta de video no integrada con 32MB de RAM (Los archivos de código G grandes, especialmente los archivos 3D requerirán una tarjeta de video con 512MB de RAM o más) (Art Soft Mach, 2018)

Tener instalado los controladores del puerto paralelo.

## Configuración inicial.

El primer diálogo a usar es Config>Ports and Pins (puertos y pines) tiene varias carpetas, pero la primera es la que se ve en la Figura 37.



**Figura 37:** Definición de dirección de los puertos

Fuente: (ArtSoft Software incorporated, 2005)

Se verifica en el panel de control en el administrador de hardware, en el apartado LTP, que se encuentre la numeración igual que en la casilla port#1 del Mach3, la velocidad de comunicación es a 35000Hz, el resto de las casillas no se realizan cambios. Se presiona el botón Apply, para que se guarden los cambios.

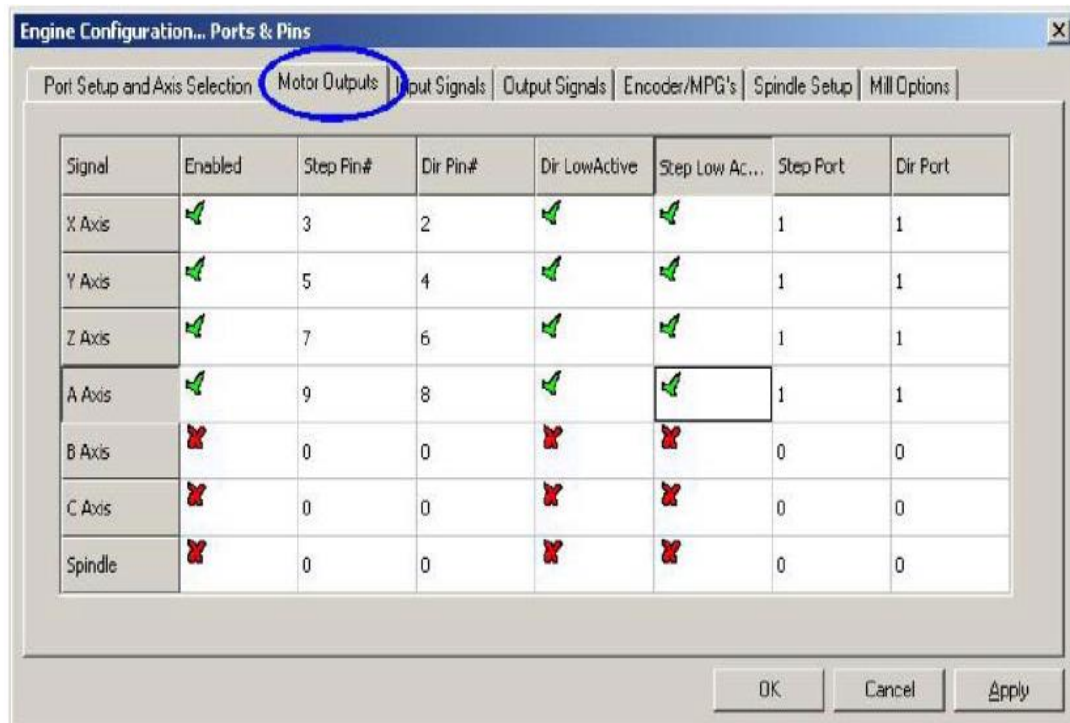
## Señales de salidas para ser usadas por los ejes y la antorcha.

Se Selecciona la pestaña Motor Outputs como se muestra en la Figura 38. Aquí se define donde serán conectados los controladores para sus ejes X, Y y Z, se da clic para colocar la marca de chequeo, habilitando (Enable) en cada eje X, Y y A.

En el hardware de la interfaz, indica que para el eje X tiene los pines 3 y 4, se coloca estos números en la casilla Step pin# 3 para los pulsos y en la casilla Dir



Pin# 2 para la dirección. Se realiza el mismo procedimiento para las demás terminales del eje Y.



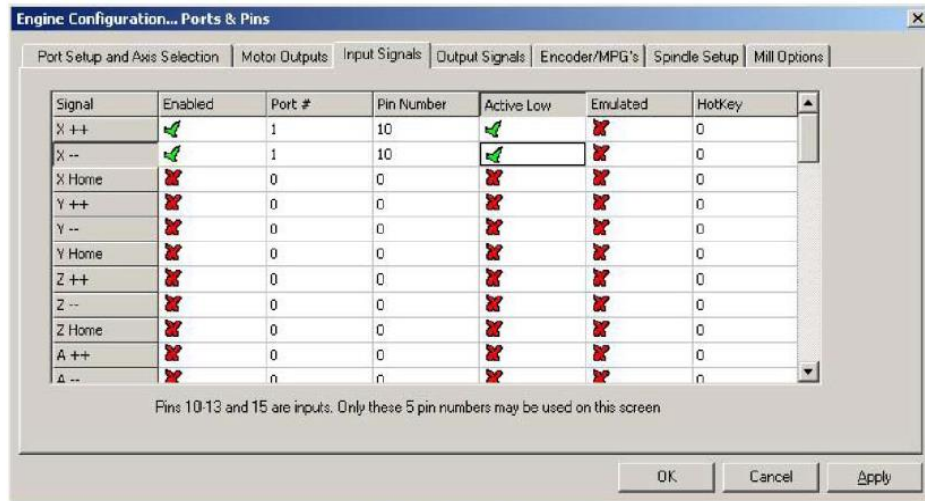
**Figura 38:** Pestaña para la configuración de los puertos de salida  
**Fuente:** (ArtSoft Software incorporated, 2005)

En el eje A, se habilita debido a que es esclavo del Eje Y, al tener 2 motores en el mismo eje. En Spindle se coloca 1 en la columna de Step Port y Dir Port. Se da clic en Apply para guardar la configuración.

### Señal de entradas

Se activa la casilla (Input Signals), esto permite habilitar los puertos de los límites en los ejes, usando finales de carrera y también habilitar el paro de emergencia.

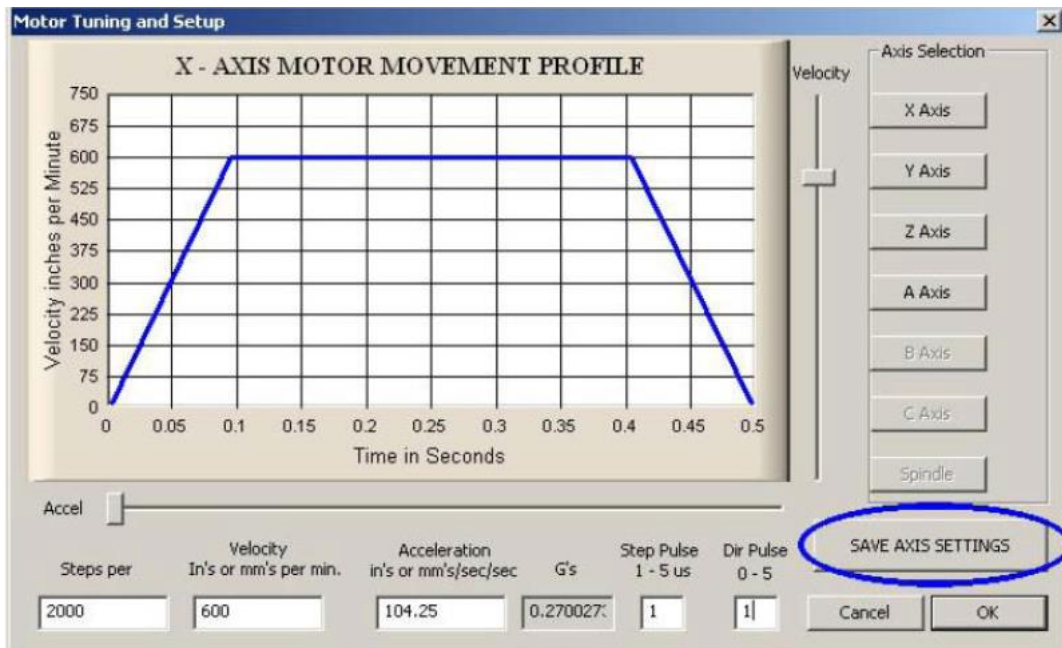
Para activarlo se coloca los vistos de color verde en cada eje como se muestra en la Figura 39. Posteriormente se da clic en la pestaña Apply y después en OK para salir.



**Figura 39:** Pestaña de configuración para la entrada de datos  
Fuente: (ArtSoft Software incorporated, 2005)

### Configuración de los motores.

En la página principal se elige la pestaña de configuraciones y en la parte inferior se da clic en Ajustes de motores, como se muestra en la Figura 40. Se tiene en cuenta para ingresar los datos al Mach3, el tipo de motor pasos a paso, el diámetro de la polea y la configuración de los micro pasos del driver.



**Figura 40:** Configuración de los motores paso a paso  
Fuente: (ArtSoft Software incorporated, 2005)

**Tabla 16:** Datos recolectados para ingresar al software

N°	Descripción	Datos
1	Stepper	200 pasos
2	Milímetro por minuto	8100 mm/min
3	Aceleración	100.4 mm/s <sup>2</sup>

Elaborado por: Robalino, 2018.

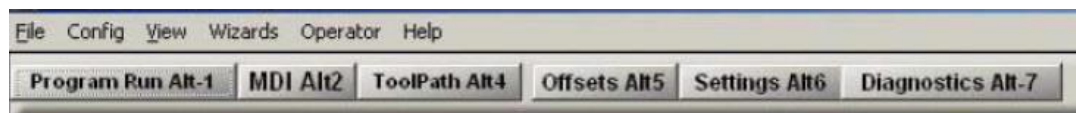
En la Tabla 16, se muestra los datos que se ingresa al Mach 3 está descrito los valores para cada casilla con sus unidades. Esto permite un óptimo funcionamiento y control de los motores. Para guardar los valores se da clic en SAVE AXIS SETTINGS y luego se sale dando un clic en la pestaña OK.

### Comandos de la Pantalla

Ahora está listo para someter a prueba una "práctica" de Mach3. Se da doble clic sobre el icono de Mach3Mill para ejecutar el programa. Se activa una señal intermitente del reset color rojo y amarillo, al dar clic sobre el botón RESET entonces los diodos emisores de luz amarillos se apagan y el diodo emisor de luz destellante queda en verde sólido. Hecho esto se comienza a trabajar en la máquina

### Herramientas de la pantalla principal.

Se observa que la pantalla del programa está en ejecución, en la Figura 41 Se indica en la parte superior los comandos y está compuesta por los siguientes tipos de objeto:

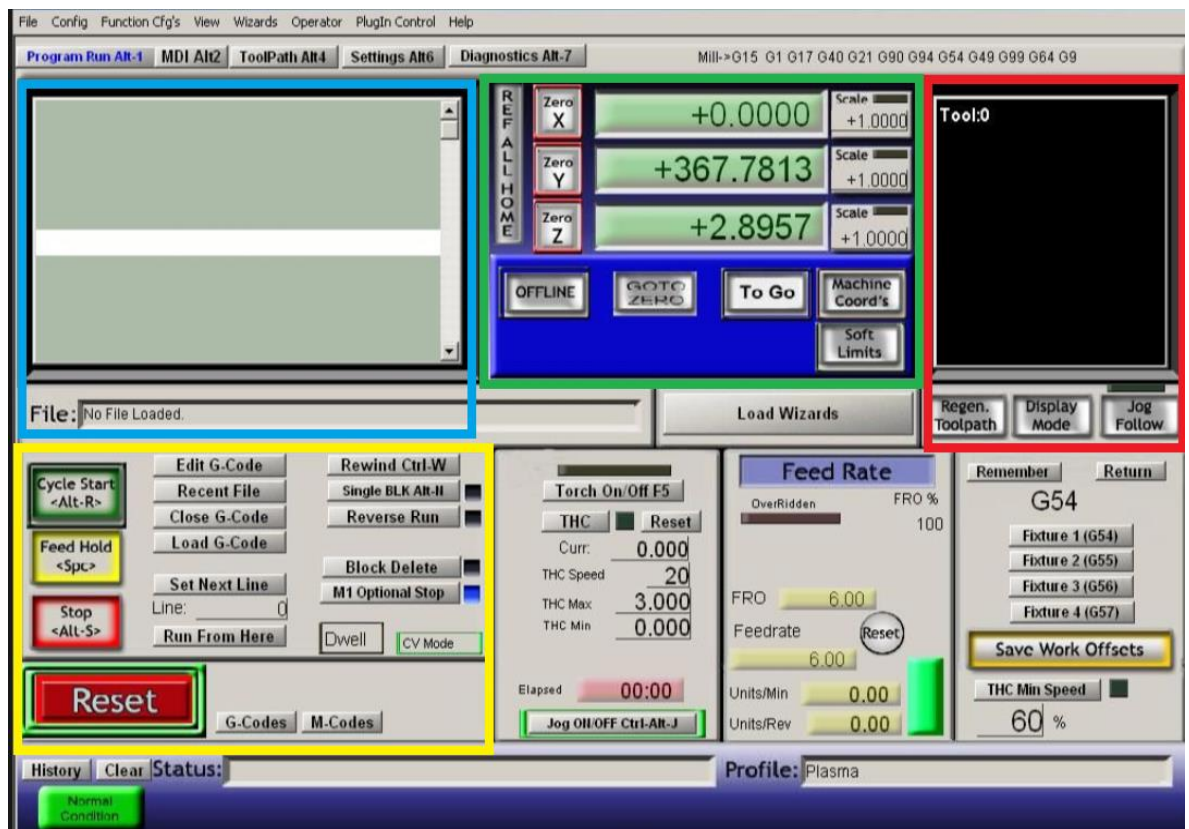


**Figura 41:** Panel de comandos del Mach3, parte superior.

Fuente: (ArtSoft Software incorporated, 2005)

- Los botones (e.g. Reset, Stop Alt-s, etc.)

- DROs o información digital. Algo mostrado con un número será un DRO. Los principales son, por supuesto, las posiciones actuales de los ejes X, Y, Z, A, B y C.
- Diodos emisores de luz (en varios tamaños y formas)
- La ventana que muestra el código de G (con sus barras de desplazamiento)
- Pantalla de Toolpath (cuadro en blanco en su pantalla en este momento)
- Línea MDI (Ingreso Manual de Datos)
- Botones y la línea MDI son las entradas para Mach3. Las DROs pueden ser exhibidas por Mach3 o pueden ser usadas como entradas.
- La ventana de código G&M y Toolpath muestran información de Mach3. En este caso se manipula cualquiera de las 2. (ArtSoft Software incorporated, 2005).



**Figura 42:** Panel del Mach3 con sus herramientas

Fuente: (ArtSoft Software incorporated, 2005)

En la Figura 42, se muestra el panel principal para el control del corte. Aquí se detalla las funciones principales que se utiliza en este proyecto, dividido por

recuadros de colores para su fácil comprensión. En el recuadro de color azul está un panel digital, donde se ingresa manualmente los códigos G&M.

Estos códigos ejecutan los movimientos deseados para el corte, en la parte inferior, se encuentra en la casilla FILE, aquí permite cargar archivos generados con otro software los códigos G&M. En el Anexo 28 se encuentra el listado de cada código G y la descripción de sus funciones.

En el recuadro de color verde de la Figura 42, se utiliza para posicionamiento y encera la máquina. Por ejemplo, si se desea comenzar el corte en un lado del área específica, se posiciona la máquina en el punto deseado, hecho esto en la pantalla de cada eje marca las coordenadas que se ha movido, para colocar en cero o punto de partida, se da clic en los botones (Zero) de cada eje O, por el contrario en el mismo ejemplo no se encera y si se desea volver al punto de origen se da clic en la tecla GOTO ZERO y automáticamente regresa al punto de partida.

La tecla GO TO, sirve para ingresar coordenadas en cada eje y al dar Enter se posiciona en la coordenada ingresada. También se puede especificar límites de la máquina virtuales dando clic en la pestaña (Soft Limits).

En el recuadro de color rojo de la Figura 42, está la pantalla de visualización, donde se indica la trayectoria y la forma del corte, los botones de la parte inferior no serán utilizados en este proyecto.

En el recuadro de color amarillo de la Figura 42, se indica los siguientes comandos:

Cycle Start, inicia la ejecución de los códigos G&M, el botón (Stop), detiene todo el programa y la máquina. (edit GCode) sirve para editar la lista de códigos G ingresados,(Load G Code) se utiliza para cargar archivos de códigos G&M externos.

RESET siempre que inicie el programa o pare, se da clic en este botón. Los otros botones son utilitarios que no es necesario para el ciclo de trabajo de esta máquina.

### **Resultados Esperados.**

#### **Características mecánicas.**

Guías lineales (eje Y), consta de dos barras redondas de acero plata, de dimensión 12 X 2000 mm y de cuatro rodamientos de bolas recirculantes abiertas para el deslizamiento.

Guías para el eje X, consta de un perfil estructural cuadrado como riel y el sistema de deslizamiento, consta de 8 rodamientos de bolas rígido.

Sistema de transmisión para todos los ejes, constan de una banda dentada de 10 mm, de ancho y en el motor está montado una polea GT2 de 20 dientes, la cual transmite el movimiento.

#### **Características dinámicas.**

Velocidad máxima de avance de los ejes X ; Y: 8100 mm/min

Recorrido longitudinal (eje Y): 1220mm

Recorrido transversal (eje X): 1800mm

#### **Medición de tiempos**

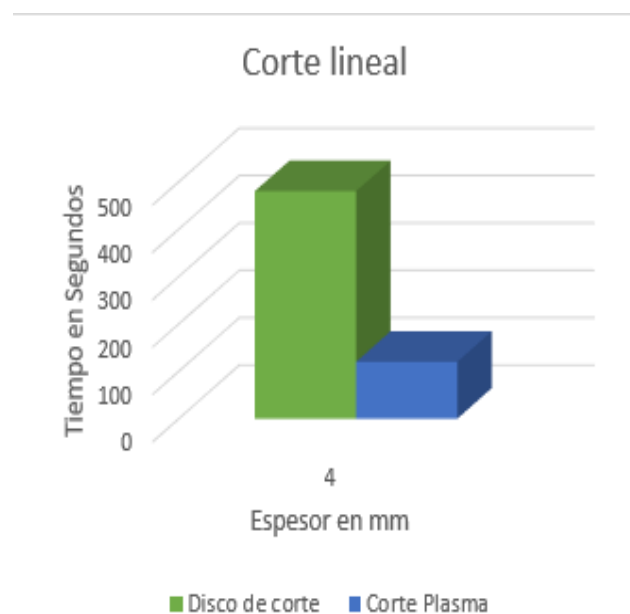
A continuación, en la Tabla 17, se compara el tiempo que demora en cada proceso de corte la forma y el espesor de la plancha. Se compara por espesores de plancha para 3 y 1 mm, son tomadas en cuenta 2 formas, la lineal con una longitud de corte alrededor de 1600mm espesor de 4 mm, y el corte de un cuadrado con una longitud de 200 X 200 mm, espesor de 1 mm.

**Tabla 17:** Comparación de tiempos de corte y diferentes formas, de cada proceso

Longitud(mm)	Tiempo(seg)	Espesor(mm)	Procesos de corte
1600	480	4	Disco de corte
1600	120	4	Corte Plasma
200X200	80	1	Disco de corte
200X200	50	1	Corte Plasma

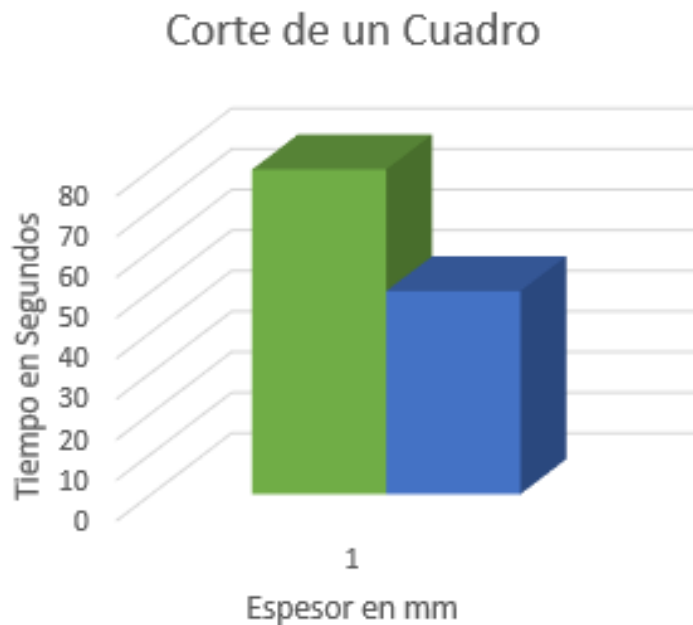
Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Figura 43, se indica el tiempo que toma en cada proceso cortar una plancha metálica de 4 mm, una longitud de 1600mm, como se puede observar el corte por plasma CNC obtiene menor tiempo.



**Figura 43:** Cuadro comparativo de los tiempos de corte lineal  
Elaborado por: Robalino, 2018.

En la Figura 44, se indica el tiempo de corte para 2 procesos, con disco de corte y corte por plasma CNC, para un corte cuadrado en una plancha con un espesor de 1 mm. Se observa que el corte por plasma CNC tiene el menor tiempo comparado con el de disco de corte que es mucho mayor.



**Figura 44:** Cuadro comparativo de los tiempos de corte de un cuadrado  
 Elaborado por: Robalino, 2018.

En el Anexo 29, se indica las imágenes de los cortes realizados por la máquina CNC cortadora por plasma, la cual es una plancha de espesor 4mm y otra de un corte rectangular de 1 mm. En el Anexo 30 se encuentra el código G&M ingresado para el corte de las planchas metálicas.

**Cronograma de actividades.**

En la Tabla18, se indica el cronograma de actividades a desarrollar en el proyecto. Para lograr alcanzar los objetivos propuestos, se ha dividido por capítulos el avance del proyecto, en cada recuadro de color se indica el número de días que tomo cada capítulo en ser terminado.

Siendo el recuadro de Proyecto 1 el indicador del número de días totales que se demora en culminar todo el proyecto.



**Tabla 18:** Cronograma del proyecto

Nombre de tarea	Duración	Inicio	Finaliza	Predecesor
<b>Proyecto 1</b>	<b>128 días</b>	<b>mar. 6/3/18</b>	<b>jue. 9/8/18</b>	
<b>Capítulo 1</b>	<b>7 días</b>	<b>mar. 6/3/18 17:30</b>	<b>mar. 13/3/18 22:00</b>	
Introducción	1 días	mar. 6/3/18 18:30	mar. 6/3/18 21:00	
Recolectar información del Taller Industrial	3 días	mié. 7/3/18 18:30	vie. 9/3/18 21:00	3
Análisis de la situación actual del proceso de corte	3 días	sáb. 10/3/18 17:30	mar. 13/3/18 21:00	4
<b>Capítulo 2</b>	<b>16 días</b>	<b>mié. 14/3/18</b>	<b>lun. 2/4/18</b>	<b>5</b>
Recolección de la información sobre requerimientos técnicos de la máquina	3 días	mié. 14/3/18 18:30	vie. 16/3/18 22:00	
Recolección de información sobre requerimientos del clientes	1 día	sáb. 17/3/18 17:30	sáb. 17/3/18 22:00	7
Desarrollo del modelo operativo	4 días	lun. 19/3/18 18:30	jue. 22/3/18 22:00	8
Recolección de información para la construcción de la máquina	8 días	vie. 23/3/18 18:30	lun. 2/4/18 22:00	
Elaboración de la herramienta casa de calidad QFD	3 días	vie. 23/3/18 18:30	lun. 26/3/18 22:00	9
Análisis de los resultados	2 días	mar. 27/3/18 18:30	mié. 28/3/18 22:00	11
Elaboración de tabal sobre los tiempos de corte por disco abrasivo.	3 días	jue. 29/3/18 18:30	lun. 2/4/18 22:00	12,11
Elaboración de ficha de tiempos y movimientos	3 días	jue. 29/3/18 18:30	lun. 2/4/18 22:00	12,11
<b>Capítulo 3</b>	<b>60 días</b>	<b>mar. 3/4/18</b>	<b>jue. 14/6/18 22:00</b>	
Elaboración del diseño de la máquina y los planos. Además de la simulación de esfuerzos	40 días	mar. 3/4/18 18:30	mié. 21/5/18 22:00	14
Selección de componentes eléctricos y electrónicos, en base a los resultados de ponderación del QFD	30 días	jue. 22/5/18 18:30	lun. 24/6/18 22:00	16
Construcción de la máquina	60 días	mar. 25/6/18 08:30	jue. 24/8/18 17:00	17
Calibración y pruebas.	2 días	vie. 25/8/18 08:30	jue. 26/8/18 17:00	17,18
Resultados esperados.	1 días	vie. 27/8/18 08:30	jue. 27/8/18 17:00	18
<b>Capítulo 4</b>	<b>2 días</b>	<b>mar. 28/7/18</b>	<b>mie. 29/7/18</b>	
Conclusiones y recomendaciones	2 días	mar. 28/7/18 8:30	mie. 29/7/18 12:00	21

Elaborado por: Robalino, 2018.

En el Anexo 31 se muestra la imagen elaborada con el software project, el cronograma con sus respectivas predecesoras, esto quiere decir que para que se ejecute una tarea primero debe terminar la que le antecede.

### Costos del Proyecto.

A continuación, se especifica los costos en las siguientes tablas divididas en 3, en la Tabla 19 la parte mecánica, en la Tabla 20 la parte electrónica y en la Tabla 21 la parte de mano de obra directa e indirecta.

**Tabla 19:** Costos de la parte mecánica del proyecto.

Conjunto	Material	Cantidad total	precio unitario	precio total
<b>Bastidor</b>	Tubo cuadrado 40X40X6000mm espesor 1,5mm. Acero A36.	2,5	14,88	37,2
	Disco de desbaste	1	1,5	1,5
	Electrodos 6011	1	2	2
	Platina 1 1/4pulgs X 3/16 de espesor. 1250mm. Acero 36	4	10,37	41,48
<b>Acabado superficial</b>	Pintura esmalte color azul y negro	0,5	7	3,5
<b>Soporte de la antorcha</b>	Plancha metálica, 200mm de ancho, 220mm de largo, 2 mm de espesor. Acero A36.	1	2,6	2,6
	Ángulo T ¾ pulgadas, espesor 2 mm. Y una longitud de 190mm. Acero A36	0,032	12,64	0,40
	Perno y tuerca M10X12mm	1	0,32	0,32
	Abrazadera 30mm, espesor 1,5 mm. Acero A36.	1	0,5	0,5
<b>Guia lineal eje X</b>	Rodamiento 628 R-S	10	1,1	11
	Ángulo ¾ pulgsX150mm, espesor1,5 mm. Acero A36.	0,067	7,37	0,49
	Tubo ¾ pulgsX200, espesor 1,5mm.	0,033	8,23	0,27

	Acero A 36			
	Ángulo ¾ pulgsX120mm, espesor 1,5 mm. Acero A 36.	0,04	7,37	0,29
	Arandela M10 plana	4	0,12	0
	Perno y tuerca M8X25mm	10	0,3	3
<b>Riel soporte eje X</b>	Tubo cuadrado 50 X 50 X 1500 mm. Espesor de 1,5 mm. Acero A36	0,25	10,88	2,72
	Plancha 60 X 150mm, espesor de 2mm. Acero A36	2	2,5	5
	Tornillos M6 X 12mm	16	0,18	2,88
	Rodamiento lineal de bolas recirculantes abiertas	4	45	180
<b>Riel eje Y</b>	BARRA ACERO PLATA. 12mm DE DIAMETRO X 2000mm DE LONGITUD.	2	42	84
	Ángulo ¾' X 60 mm, y 2 mm de espesor acero A36	0,16	7,37	1,18
	Tornillos M6 X 12mm. Inoxidable	12	0,3	3,6
<b>Placa soporte para los motores</b>	Plancha metálica, medidas 90 X 100, espesor 2 mm. Acero A36	3	1,2	3,6
	Transmisión banda dentada, GT2 10mm. En metros	6	9	54
	Pernos con tuerca M8X50 mm	7	0,4	2,8
	Tornillo M6X12mm, con tuerca	26	0,12	3,12
	Banda dentada	7	6,8	47,6
	Polea dentada Gt2	4,75	3	14,25
	Arandela M8 plana	12	0,1	1,2
	Rodamiento 628 R-S	6	1,1	6,6
	<b>TOTAL</b>			<b>517,59</b>

Elaborado por: Robalino, 2018.

**Tabla 20:** Costos de la parte electrónica y eléctrica del proyecto

Conjunto	Material	Cantidad total	precio unitario	precio total
<b>Control electrónico</b>	Controladora Cnc Mach3	1	55	55
	Driver Tb6600 CNC Motor paso a paso	3	35	105
	Motor de pasos Stepper 24 2A, 9Kg*cm, 1,8°	3	45	135
	Fuente de Poder( +/- 24V, 4Amp)	1	60	60
	Cable Db25	1	20	20
	Cable recubierto de 4 hilos	8	2	16
	Cable gemelo calibre 18	18	0,25	4,5
	cadena robótica	2	10	20
	Paro de emergencia	1	5	5
	Final de carrera	4	2,5	10
<b>Parte eléctrica</b>	borneras	2	1,5	3
	interruptor	1	3,5	3,5
	Manguera de luz anillada flexible de 1 pulgada.	4	1,2	4,8
	tablero eléctrico	1	23,76	23,76
	Fusible	2	3,8	7,6
	cable de colores N°18	3	0,3	0,9
			<b>TOTAL</b>	474,06

Elaborado por: Robalino, 2018.

**Tabla 21:** Costo de mano de obra directa e indirecta del proyecto.

Proceso	Personal	horas/hombre	\$/hora	precio total
Ensamblaje de la estructura metálica	Soldador	32	2,87	91,84
	Ayudante	40	2,25	90
Control	Electrónico	16	2,25	36
Ingeniería del diseño de la máquina	Diseñador, programador	160	4,5	720
Total				937,84

Elaborado por: Robalino, 2018.

Otros costos indirectos para la construcción del proyecto, es el costo de la máquina cortadora por plasma que se encuentra alrededor de los 670 dólares de 60 Amperios. Dando un costo total de la fabricación de la máquina de unos 2599.5 dólares.

### **Costos de operación.**

En las operaciones más habituales de corte por plasma hay cuatro grandes costos: energía, gas, consumibles y mano de obra.

**Consumo energético = consumo energético x tiempo de arco encendido x \$/kWh**

El mayor consumidor de energía en un sistema de corte es la alimentación eléctrica de CC.

Para calcular el consumo de kilovatios de entrada, se multiplica por un factor de eficiencia de alimentación de energía de alrededor del 85%. El sistema de plasma tiene un consumo de 4500W así que el consumo de entrada se calcula como 4.5 kVA x 0.85 = 3.82 kW. Mas el consumo del control electrónico, que es de 160 w, dando un total de 3.98Kw.

Para llegar al consumo diario o anual de energía, multiplique por el tiempo de funcionamiento o el tiempo de arco encendido promedio en un día. El tiempo de arco encendido es la cantidad de tiempo realmente dedicado al corte durante un intervalo de tiempo dado. El tiempo de arco encendido variará según el tipo y el espesor del material, el tamaño de las piezas cortadas, el manejo del material, la velocidad de la máquina. (HYPERTHERM, 2016).

En la Tabla 22 se muestra los valores de cada costo que interviene en el proceso para una plancha de espesor 4mm.

**Tabla 22:** Costo del equipo plasma y cálculo de costos de operación.

DESCRIPCIÓN	VALOR	COSTO(USD/ H)	COSTOS(USD/ M)
<b>COSTO MANO DE OBRA</b>			
Mano de Obra (MO)	\$386	2,25	0,04
<b>COSTO DE EQUIPO PLASMA</b>			
MÁQUINA CORTADORA PLASMA PORTEN 60A	670 USD/U	n/a	n/a
COMPRESOR DE 3HP	302 USD/U	n/a	n/a
<b>COSTOS CONSUMIBLES PLASMA(CC)</b>			
ELECTRODO PLASMA 40AMP(3 Boquillas 8 h)	5,5 USD/U	2,06	0,22
BOQUILLA (25m)	5,5 USD/U	2,06	0,22
<b>COSTO DE ENERGÍA(CE)</b>			
CONSUMO DE ENERGÍA PLASMA 3,98Kw	0,093 USD/kw-h	0,37014	0,0148056
CONSUMO ENERGÍA COMPRESOR 3HP=2,5Kw	0,093 USD/kw-h	0,2325	0,0093
<b>COSTO DEPRECIACIÓN</b>			
Descripción equipo plasma(Vida útil 5años)		0.71	0,08

Elaborado por: Robalino, 2018.

D= Depreciación (\$/hora que es la inversión total dividida por las horas de vida útil).

Al considerar las horas de vida útil, es necesario calculara la demanda real del equipo. Esto es debido a que, si bien la máquina podría producir todo el tiempo se estima que el equipo trabaja 3 horas los 240 días del año. (Arcos Villacis, y otros, 2010).

$$D=2599.5/3600; D= 0.79\$/h$$

FO%= Es el Factor de Operación, que presenta la relación entre el tiempo en que el equipo corta versus el tiempo total, en el Anexo 32 se encuentra una tabla referencial del factor de operación, en cada espesor de corte, (Arcos Villacis, y otros, 2010).

V= Velocidad de avance del corte depende del espesor de la plancha y el tiempo de material en el Anexo 33, se indica el tiempo por metro que toma el corte para diferentes espesores.

Para el cálculo de costos por metro en plasma la ecuación es la siguiente:

$$\text{Costo Plasma}(\$/m) = \left[ MO \left( \frac{\$}{h} \right) + D \left( \frac{\$}{H} \right) + FO\%x \left( CC \left( \frac{\$}{H} \right) + CE \left( \frac{\$}{h} \right) \right) \right] / V \left( \frac{m}{h} \right).$$

[Ec. 8]

$$\text{Costo Plasma}(\$/m) = (2.25+0.79+44.91\%(4.06+0.6)) / 10.47$$

$$\text{Costo Plasma}(\$/m) = 0.48\$/m.$$

Más la ganancia que se le añade del 31 %, para un total del costo final de 0.70 \$/m. En total para un corte promedio de 3 horas diarias mínimo de trabajo, se calcula el total recaudado para un año, el cual tiene un valor estimado de \$1658.45, multiplicamos por el 31% de la ganancia y obtenemos un beneficio anual de 515 dólares aproximadamente.

El costo de mantenimiento preventivo de la máquina CNC es alrededor de \$28 dólares anuales. Consta de costo del lubricante que es la cantidad de 60 gr y un porcentaje del costo del cambio de la banda dentada. En el Anexo33 se encuentra el manual de operaciones de la máquina CNC, donde se detalla el tiempo que debe realizarse el mantenimiento de la máquina.

### Comparación de costo de operación para cada proceso.

Debido a que en el taller realiza distintos trabajos, se ha tomado como referencia para el estudio comparativo, el proceso de construcción de una caja fuerte, la cual consta de 4 placas metálicas para su construcción, en la Tabla 23 se detalla los valores comparativos en un tiempo de producción de una hora y su costo beneficio.

**Tabla 23:** Costos comparativos en una hora de operación del corte con amoladora y corte plasma.

Proceso	Tiempo Seg.	Costo operativo \$/m	Producción /h	Cantidad /m	Costo piezas cortadas	Costo proceso/h	Beneficio/h producida
corte por disco	1098	0,37	3	3,2	1,184	3,552	1,10112
corte por plasma	470	0,48	6	3,2	1,536	9,216	2,85696

Elaborado por: Robalino, 2018

En la Tabla 23, se observa que el costo por metro de la cortadora plasma es más costoso, pero toma menos tiempo en corte por metro, comparada con el proceso de corte por disco, el cual toma más tiempo para cortar. El beneficio de la máquina CNC cortadora por plasma es notorio al cabo de una hora de producción, ya que en una hora se llega a producir 6 lotes, en cambio con el proceso por disco de corte, tan solo se a cortado 3 lotes. Por tal motivo al producir más en menos tiempo habrá más ganancia con el proceso de corte por plasma CNC.



## CAPÍTULO IV

### Conclusiones y Recomendaciones

#### Conclusiones:

- Se analiza los requerimientos técnicos y del cliente en base a la casa de la calidad o QFD, para el diseño de la máquina CNC cortadora por plasma. Los resultados que se obtiene para la mayor ponderación son la transmisión, el motor, la calidad del corte y las guías lineales. Siendo, la transmisión la de mayor peso arrojada por el QFD. Bajo estos parámetros se procedió al diseño de la máquina.
- Recabada la información de los requerimientos, se diseña la estructura de la máquina CNC cortadora por plasma, se presenta al cliente el primer diseño de la máquina, la cual resiste los esfuerzos que estará sometida durante el proceso de corte. Con el diseño final, se obtiene una máquina con componentes de bajo mantenimiento en la máquina. En conclusión, el diseño preliminar en Solidworks, sirve para tener una idea del producto y modificarlo si existiera algún fallo no previsto antes del montaje.
- Se analiza los componentes eléctricos y electrónicos que cumplan con la mayor ponderación arrojada por el QFD, la cual consiste en la interfaz del CNC, drivers, motores y protecciones. La interfaz CNC del puerto paralelo tiene grandes ventajas y también desventajas, siendo una de ellas la velocidad del puerto que llega solo hasta los 35000HZ.

- Se construye la máquina CNC cortadora por plasma de bajo costo y poco mantenimiento del equipo, que cumple con las expectativas del cliente. Se verifica la estabilidad de la máquina, mediante una prueba de corte para una plancha metálica de espesor 3 mm, dimensiones 200X200mm. El montaje de la parte eléctrica se añadió componentes extras como canales para el transporte del cable y mecanismos de sujeción.

### **Recomendaciones:**

- Se recomienda colocar un filtro para la humedad en la línea de aire comprimido, esto para evitar desgaste prematuro en los consumibles del cortador plasma y problemas con la velocidad y calidad de los cortes. Evitar el uso de unidades de mantenimiento que contenga módulos de lubricación.
- El uso de software CAD para el diseño de componentes mecánicos en la industria va en aumento por el ahorro de tiempo en cálculos y su flexibilidad para dibujar y analizar figuras complejas, por tal motivo se recomienda el uso de esta herramienta informática.
- Para máquinas CNC que demandan mayor velocidad de avance, se recomienda usar interfaz del tipo USB, ya que manejan mayor velocidad de procesamiento que las de interfaz puerto paralelo, sin embargo, son mucho más costosas.
- En cuanto a transmisiones que no estén sometidas a esfuerzos chocantes y pesados, se recomienda el uso de bandas dentadas, la cual tiene un bajo costo tanto en adquirirlo como en mantenimiento, además de un bajo backlash (holgura). Por último, para mejores resultados tanto en tiempo, calidad y vida útil del equipo se debe seguir las recomendaciones del fabricante del equipo cortador por plasma.

## BIBLIOGRAFÍA

**Arcos Villacis, Pablo Antonio and Fiallos, Ortiz, Jorge David. 2010.** *ANALISIS COMPARATIVO DE LOS PROCESOS DE CORTE POR PLASMA, OXICORTE Y ARC AIR APLICADOS A METALES.* QUITO : ESCUELA POLITECNICA NACIONAL, 2010.

**Art Soft Mach. 2018.** Mach3 introduccion. [Online] 2018. [Cited: 08 22, 2018.] <http://www.machsupport.com/software/mach3/>.

**ArtSoft Software incorporated. 2005.** ArtSoft. *Mach3*. [Online] 2005. [Cited: 08 04, 2018.] <http://www.machsupport.com/software/mach3/>. 3.01.

**BOLTON, W. 2004.** *MECATRONICA*. s.l. : Alfaomega, 2004.

**Calupña, Cristian and Oña, Daniel. 2012.** *MEJORAMINETO DE LOS PARAMETROS DE TRABAJO PARA MAQUINA DE CORTE POR PLASMA Y OXIXETILENICATIPO CNC-4000 MARCA HUGONGO WELDER.* Quito : s.n., 2012. 1.

*CATALOGO DE RODAMIENTOS NTN. NTN. 2014.* 2202, USA : © NTN Corporation, 2014, Vol. 7.

**De maquinas y herramientas. 2015.** DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS. [Online] Septiembre 1, 2015. [Cited: 04 04, 2018.] <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/>. 1.

**Diaz , Felipe. 2008.** PROGRAMACIÓN AUTOMÁTICA DE MAQUINAS. [Online] 2008. [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m4/master\\_cam.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf).

**EcuRed. 2013.** Corte por plasma. [https://www.ecured.cu/Corte\\_por\\_plasma](https://www.ecured.cu/Corte_por_plasma). [Online] 05 10, 2013. [Cited: 07 31, 2018.]

**FUNCION DE LA CALIDAD QFD. Yacuzzi, Enrique and Martin , Fernando. 2003.** 234, Cordoba : BIBLIOTECA UNIVERSIDAD BLAS PASCAL, 2003.

**G. Budynas, Richard and Nisbett, J. Keith. 2012.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico : McGraw-Hill, 2012. Novena.

**Gutierrez, Humberto and Vara, Roman. 2013.** *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. Mexico, D.F. : Mc Graw Hill, 2013. Tercera.

**Hiroyuki, Tanaka, et al. 1988.** *Una transmisión por correa dentada. ES 2 010 596* España, 09 14, 1988. Invencion.

**HYPERTHERM. 2016.** Nociones sobre el plasma. [Online] HYPERTHERM, 01 29, 2016. [Cited: 04 22, 2018.] <https://www.hypertherm.com/es/learn/cutting-education/plasma-technology/plasma-attributes/>. 1.

**Mirallas Secaira, Kevin Daniel and Portes Rojas, Pedro Jonathan. 2015.** *Diseño de una Máquina Cortadora por Plasma CNC*". Guayaquil : ESPOL, 2015.

**OVERBY, ALAN. 2011.** *CNC MACHINING*. New York : The McGraw-Hill, 2011.

**Reinoso Naranjo, Martin Nicolas. 2012.** *Diseño, construcción, programación de software y protocolo de transferencia de datos de una mesa de corte CNC por plasma a ser usada en el corte de planchas de acero inoxidable*. Quito : Universidad San Francisco de Quito, 2012. 1.

**Reyes, Carlos A. 2006.** *Microcontroladores PIC Programacion en BASIC*. Quito : RISPERGRAF, 2006. Segunda.

**Salazar, Brayan. 2016.** Ingeniería industrial online. [Online] Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Unported., 2016. [Cited: 12 10, 2017.] <https://www.ingenieriaindustrialonline.com>.

**SENA. 1986.** CORTE POR PLASMA. [Online] 05 1986. [Cited: 11 25, 2017.]  
[http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21\\_1/alephe/www\\_f\\_spa/icon/45896/Informador26/paginas/introduccion\\_1.html](http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/45896/Informador26/paginas/introduccion_1.html). 26.

**SKF.** Rodamientos lineales de bolas LBC . [Online] SKF. [Cited: 08 03, 2018.]  
<http://www.skf.com/uy/products/motion-technologies/linear-guides-and-tables/linear-ball-bearings/linear-ball-bearing-lbc/index.html>. 1.

**Solano Mongue, David. 2006.** *Implementación de un control electrónico para una mesa CNC de.* Cartago : Instituto Tecnológico de Costa Rica , 2006.

**STEREN. 2008.** *ABC DE LA MECATRONICA.* s.l. : STERNE.COM, 2008.

**Suntaxi Alava, Maya Alejandra. 2017.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CNC CORTADORA POR PLASMA PARA PLANCHAS DE ACERO DE HASTA 10mm DE ESPESOR.* Quito : UIDE, 2017.

*Transmisión mecánica.* **POGGI.** 00314920372, Italia : POGGI, Vol. 3315X.

# **ANEXOS**



## TALLER MECÁNICO INDUSTRIAL ROBALINO

### CERTIFICADO

A quien interese:

Por el presente, certifico que el Sr. Robalino Cáceres Alexis Israel, portador de la cédula de ciudadanía N° 0603970922, realizó la entrega de una MÁQUINA CNC CORTADORA POR PLASMA PARA EL CORTE DE PLANCHAS METÁLICAS EN EL TALLER MECÁNICO INDUSTRIAL ROBALINO, EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA. La entrega de la máquina fue el día martes 18 de septiembre del 2018. También se realizó la capacitación y entrega manual de operación de la máquina, cumpliendo con todos los requerimientos solicitados.

Demostrando capacidad, compromiso y responsabilidad en la construcción de la Máquina CNC cortadora por plasma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

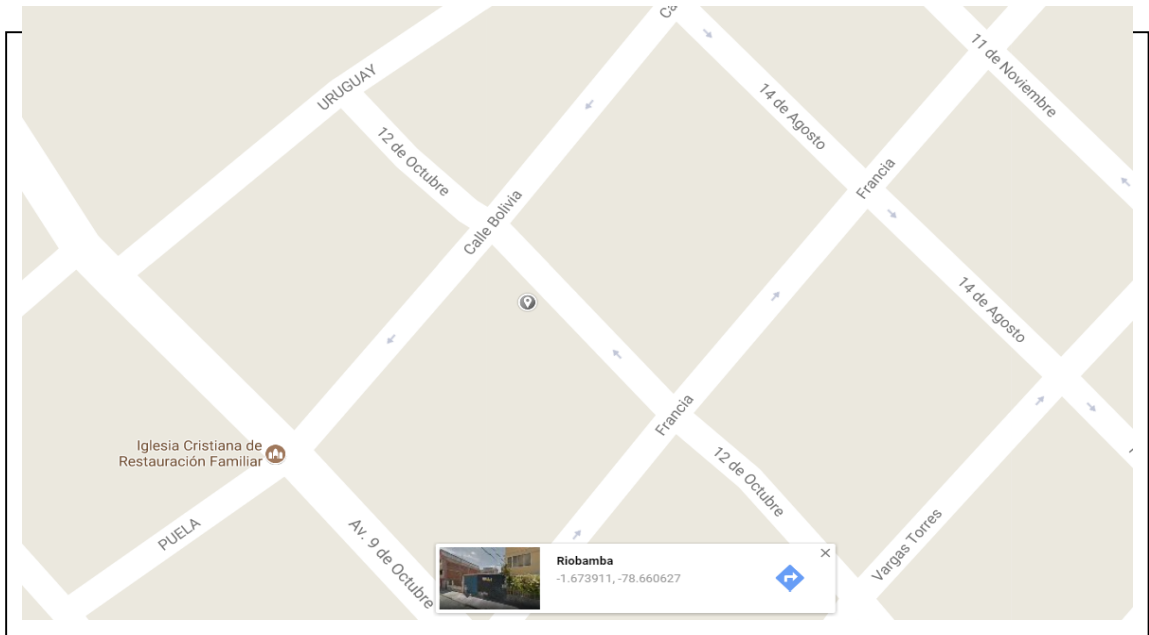
Riobamba, 23 de octubre del 2018

Atentamente,



Sr. Benigno Celis Robalino  
Propietario Taller Mecánico Robalino.

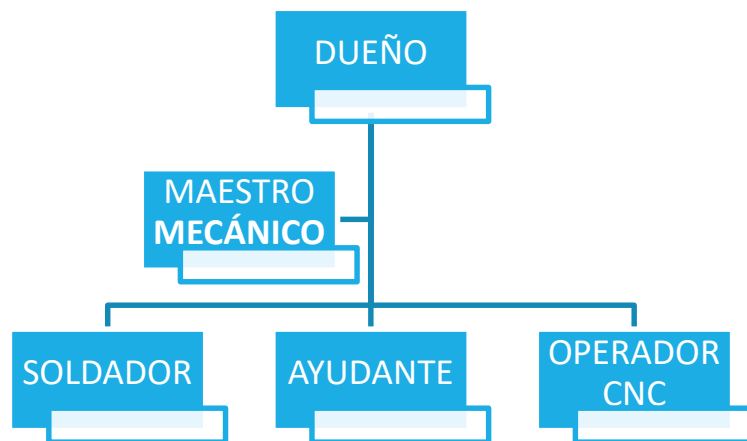
## Anexo 1: Ubicación del taller mecánico industrial Robalino



Fuente: Google map.com

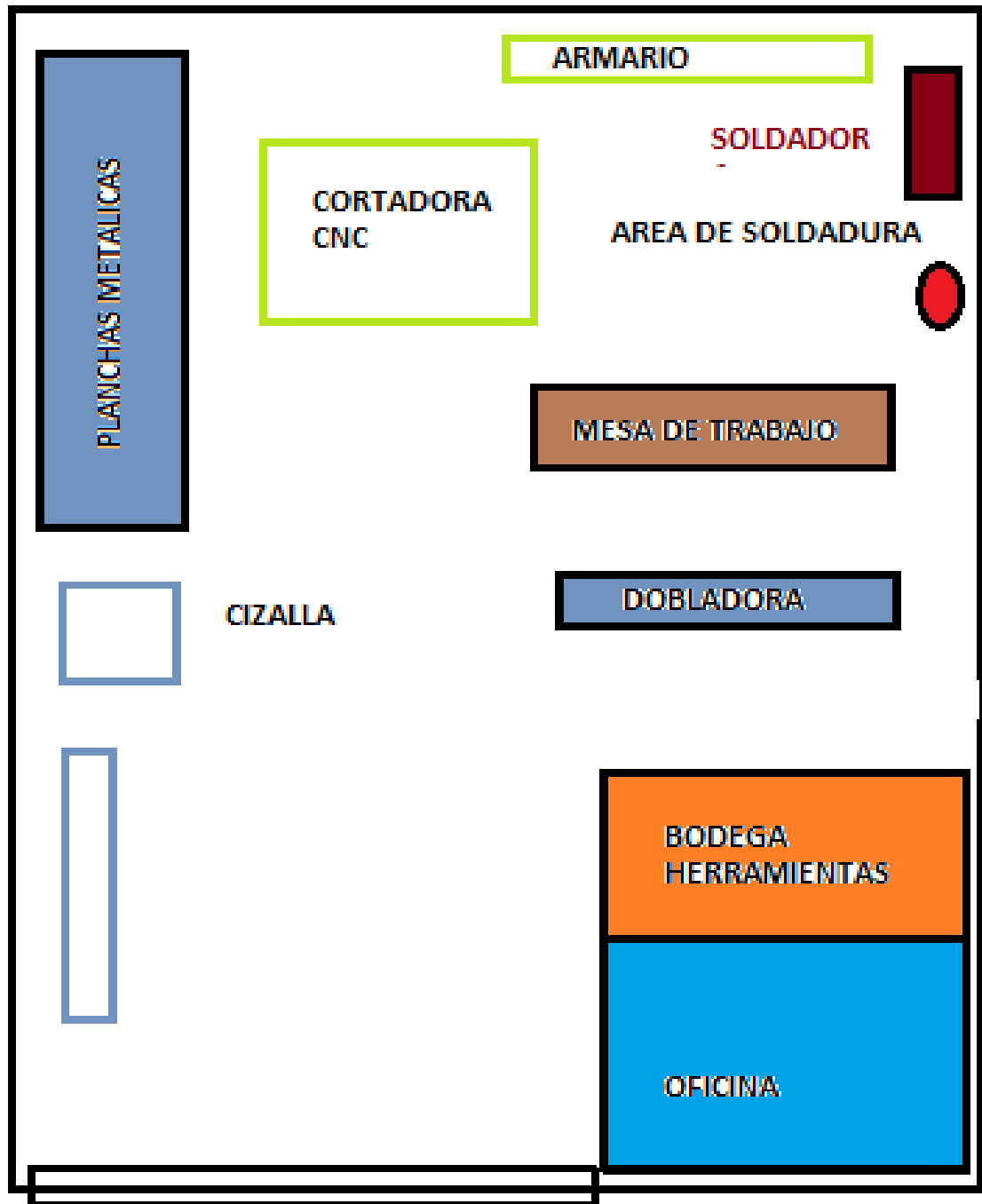
## Anexo 2: Organigrama del taller mecánico industrial Robalino

### ORGANIGRAMA PROPUESTO





Anexo 3: LAYOUT del taller mecánico industrial Robalino



**Anexo 4:** Ficha de tiempos y movimientos en referencia a uno de los procesos por corte de planchas metálicas con amoladora.

Nº 1

OPERARIO 1

TAREA Corte de plancha metálica con disco Sección Corte

SUPLEMENTOS		UNID s
CAMPO		
Necesidades personales		5%
Fatiga		4%
Impresitos		2%
Otros suplementos		2%
<b>TOTAL</b>		<b>13%</b>



VARIACION DEL NEGOCIO		CANT	UNID s
CAMPO		1	U
Corte de plancha metálica con disco			

DESCRIPCION DE OPERACIONES	CANTID AD	DISTANCI A	TIEMPO	SIMBOLO						TIEMPO NORMAL	X SUPLEMENTOS	TIEMPO ESTIMAR	UNIDAD POR LOTE	TIEMPO ESTIMAR NO CORREGIDO	TIEMPO ESTIMAR NO VALOR	TIEMPO ESTIMAR VALOR	TIEMPO ESTIMAR VALOR AGRGADO
				OP	TR	DE	INS	ALM	VA-VA								
Posicionar la plancha metálica en la mesa de trabajo	1		40	*						40	13%	40,2	1	40,2		40,2	40,2
Sujetar con las presas la plancha	2		25	*						25	13%	25,9	1	25,9		25,9	25,9
Colocación de la guía para el corte y sujeción	1		40	*						40	13%	41,5	1	41,5		41,5	41,5
Inspección	1		38			*				NVA	13%	38,9	1	38,9		38,9	38,9
Montaje de disco de corte	2		30		*					NVA	13%	32,2	1	32,2		32,2	32,2
Corte de la plancha con la amoladora	1		480	*						480	13%	486,8	1	486,8		486,8	486,8

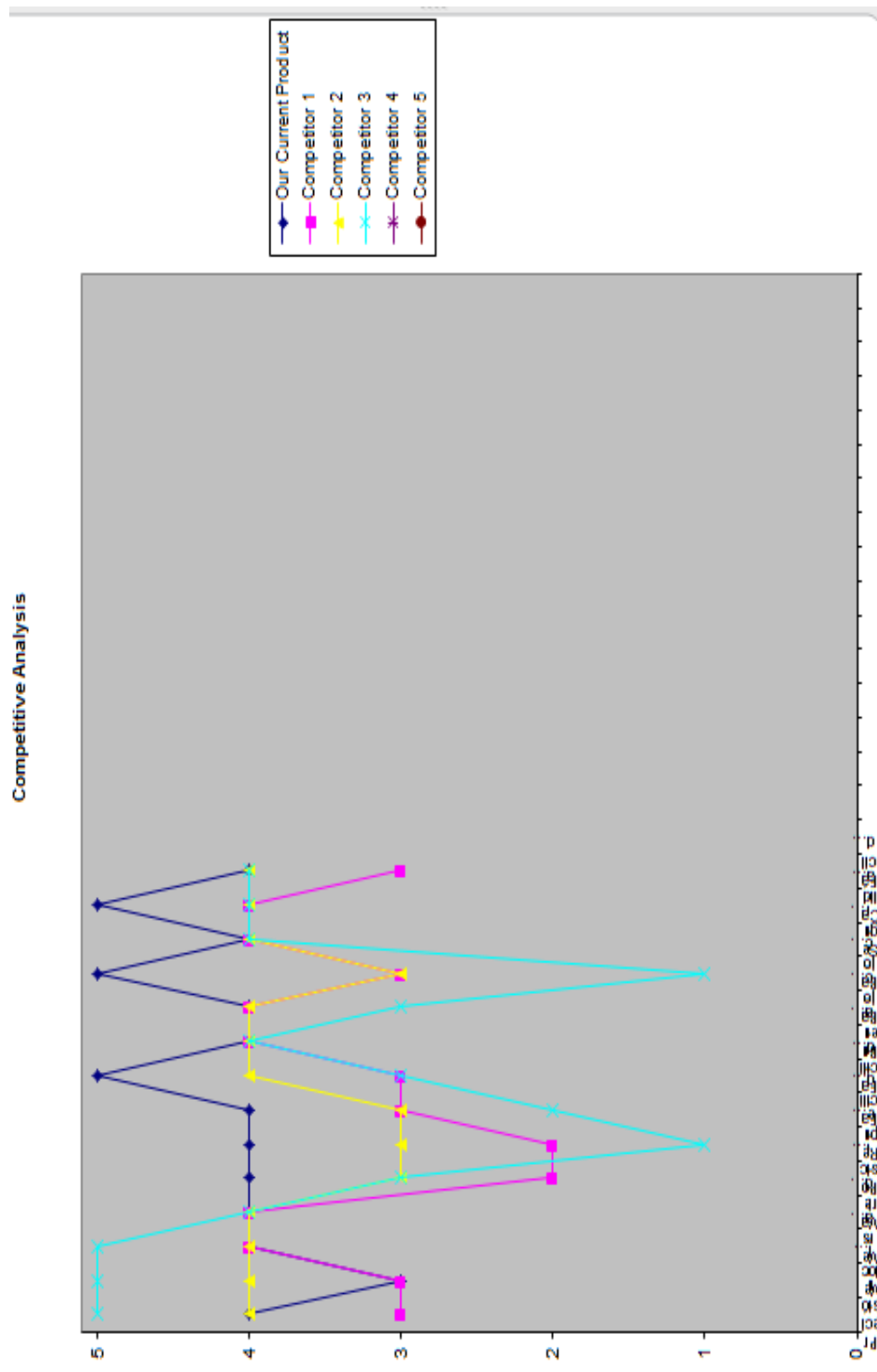
TABLA DESGLOSE DE TIEMPO		
CONCEPTO	T	%
(ETIQUA)	594,4	0,89
TIEMPO DESFILARRO EN EL METODO (ETIQUA)	71,1	0,11
<b>TOTAL</b>		

TABLA RESUMEN DE TIEMPO		
CONCEPTO	T	T MIN
TIEMPO UNITARIO POR MONTAJE	666	
TIEMPO POR LOTE		

RECURSOS	CONTROLES	
	CONCEPTO	CONCEPTO
DISCO DE CORTE	Inspeccion de corte	
Energía	Kwh	

CdM Com = 1+ ETIQUA 1,12

# Anexo 5: PROCESO DE LA CASA DE LA CALIDAD QFD



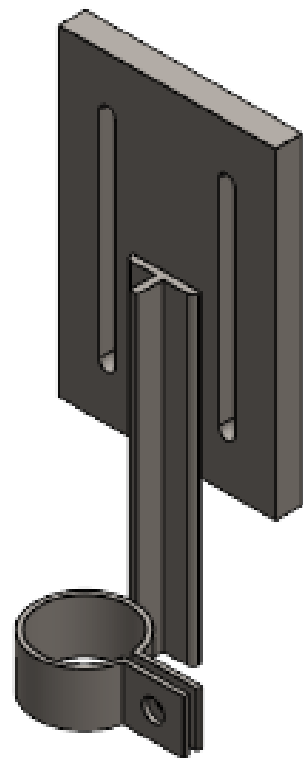
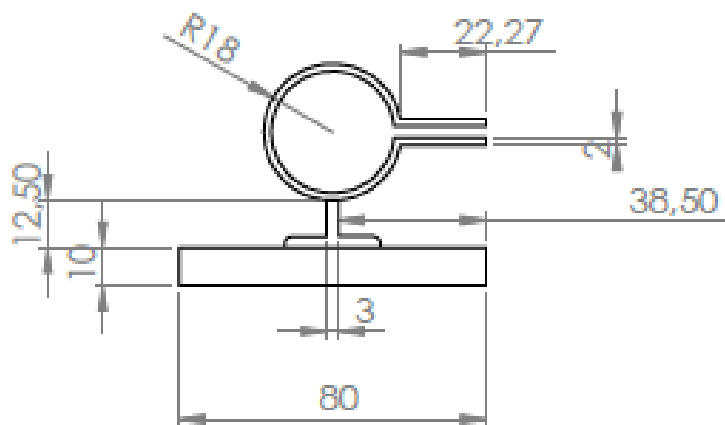
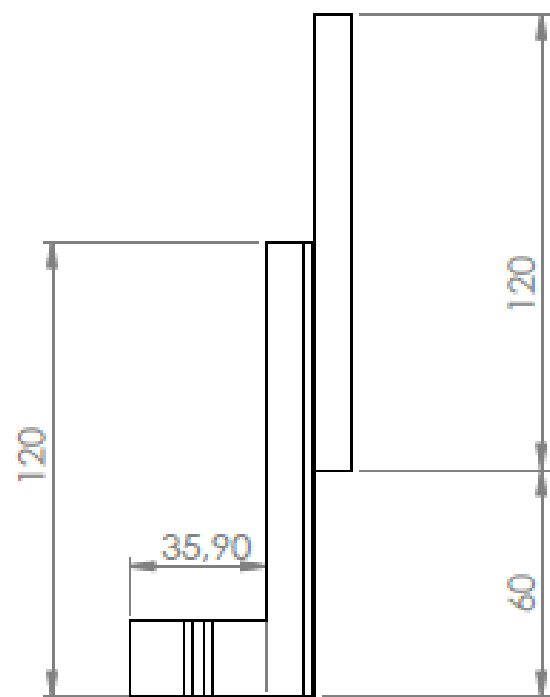
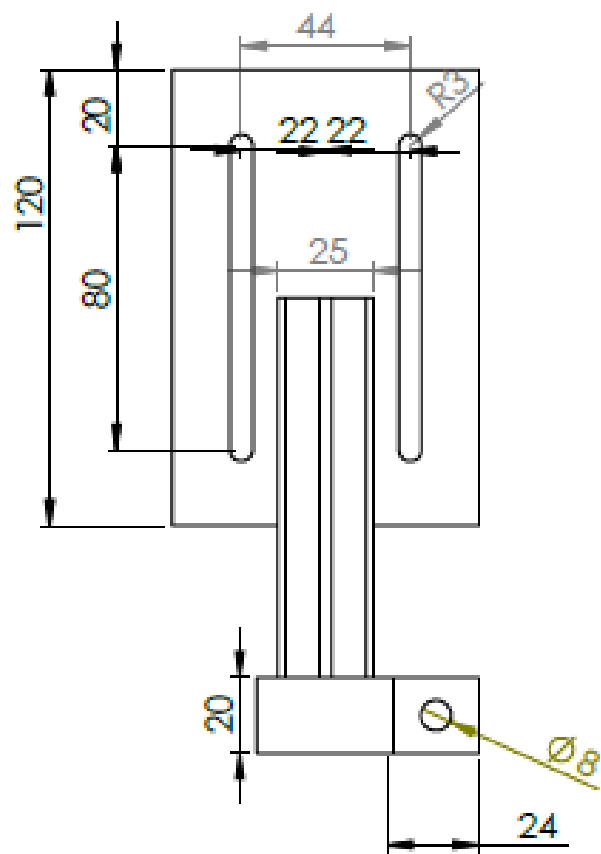
## Anexo 6: Relación entre Requerimientos.

		Relationship Between Requirements: 9-Strong 3-Moderate 1-Weak											
		Column Number	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Max Relationship Value in Column	9	9	3	9	3	3	3	9	9	9	9
		Requirement Weight	270	465	105	145	140	15	90	120	435	375	195
		Relative Weight	9,26	15,95	3,60	4,97	4,80	0,51	3,09	4,12	14,92	12,86	6,69
		Difficulty (0-Easy to Accomplish, 10-Extremely Difficult)											
		Minimize (V), Maximize (A), or Target (x)											
		Target or Limit Value											
Row Number	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "What")										
			Guía	Motor Eléctrico	Driver	Interfaz enc	CPU	FINALES DE CARRERA	SENSOR DE ALTURA THC	Sistema de seguridad	Capacidad de corte	precio	Software
			Demanda del Cliente (a.k.a. "Customer Requirements" or "What")										
1	9	10,00	Presión	3	9							3	
2	9	5,00	-Velocidad de operación	3	9	3					3		
3	9	10,00	-Versatilidad de corte de diferentes operarios				3	3			9		3
4	9	5,00	-Variedad de formas para el corte de planchar		3			3			9		9
5	9	5,00	-Parición a mano manual				9						3
6	9	10,00	-Repuertar en el mercado y bajo corte		3	3	1					9	
7	3	5,00	-Facilidad de mantenimiento	3						3		3	
8	3	5,00	-Facilidad de Limpieza										
9	3	5,00	-Buen acabado de la pieza cortada.		3						3	3	
10	9		-Baja consumo de energía.	3	9	3	9	3	3		3	9	
11	9	20,00	-Baja corte de la máquina	9	9	3	3	3	3	3	9	9	3
12	9	5,00	-Seguridad del operario					3		9			
13	9	10,00	-Calidad del corte de la planchar metálica	3	9			3		3		9	3
14	9	5,00	-Fácil de operar a manual de operacion.					1				3	9



## Anexo 8: Ponderación y Peso de los requerimientos.

Row Number	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	Target or Limit Value	Max Relationship Value	Requirement Weight	Relative Weight (Relative Importance)
1	Rigidez de la estructura			3	110,00	3,77%
2	Acabado superficial de la estructura			9	210,00	7,20%
3	Sistemas de Transmisión			9	240,00	8,23%
4	Guías			9	270,00	9,26%
5	Motores Eléctricos			9	465,00	15,95%
6	Drivers			3	105,00	3,60%
7	Interfaz cnc			9	145,00	4,97%
8	CPU			3	140,00	4,80%
9	FINALES DE CARRERA			3	15,00	0,51%
10	SENSOR DE ALTURA THC			3	90,00	3,09%
11	Sistemas de seguridad			9	120,00	4,12%
12	Capacidad de corte			9	435,00	14,92%
13	precio			9	375,00	12,86%
14	Software			9	195,00	6,69%



CARRERA. INGENIERÍA INDUSTRIAL

PLANOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA



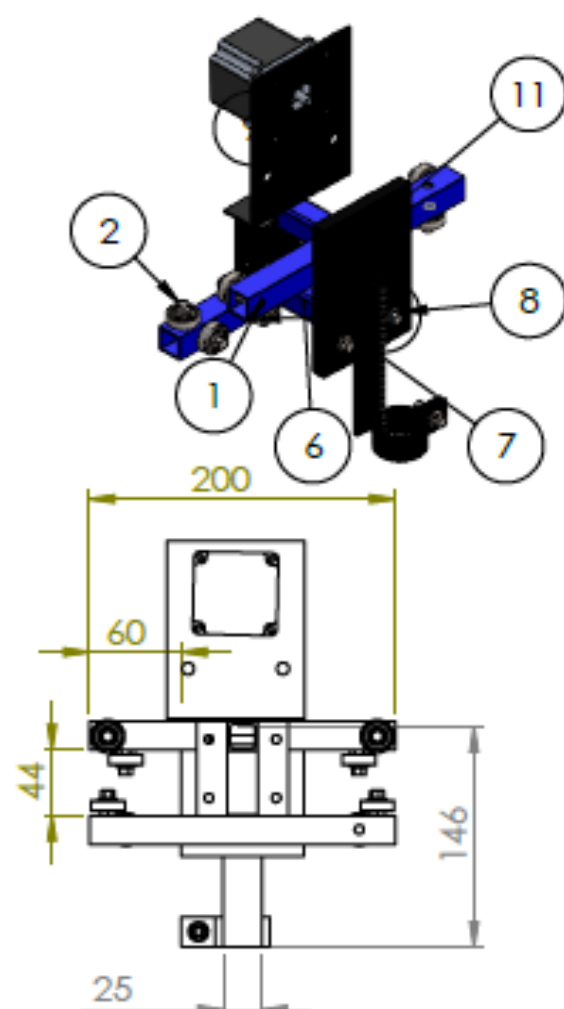
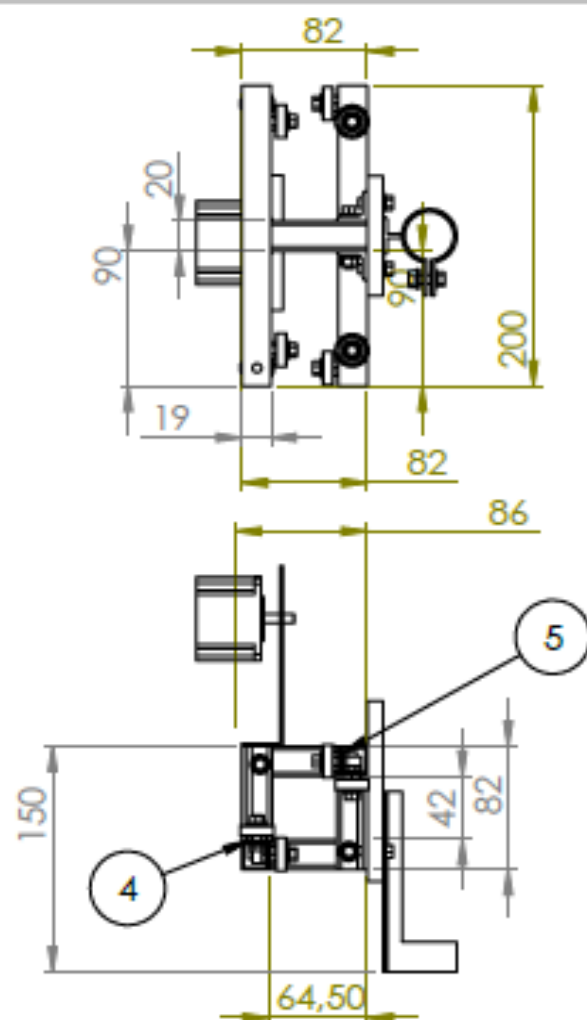
Soporte para la antorcha

Creado por: Alexis Robalino

ANEXO 09

Aprobado por: Mgs. Fernando Saa

Rev. 26/04/2018 Hoja: 1/5



N.º DE ELEMENTO	Descripcion	CANTIDAD
1	Pieza6.sporte	2
2	B18.6.7M - M6 x 1.0 x 25 Indented HFMS --25N	8
3	AFBMA 12.1.4.1 - 0070-22 - 8,SI,NC,8_68	8
4	B18.2.4.5M - Hex jam nut, M6 x 1 --D-N	16
5	B18.22M - Plain washer, 6 mm, narrow	11
6	tubocuadr y	2
7	angulo y12	4
8	B18.6.7M - M6 x 1.0 x 16 Indented HFMS --16N	3
9	B18.6.7M - M6 x 1.0 x 35 Indented HFMS --35N	2
10	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M6 x 1 --D-N	3
11	Porta boquilla 1z	1
12	placamotor8	1
13	motorpaso10	1

CARRERA DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

PLANOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
INDOAMÉRICA



Guia lineal, eje Y

Creado por: Alexis Robalino

**ANEXO 10**

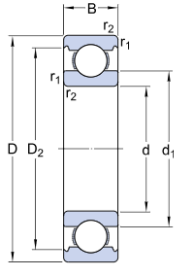
Aprobado por: Mgs. Fernando Saa

Rev. 26/04/2018 Hoja:1/4



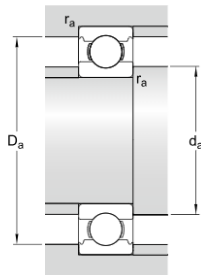
## Anexo 11: Características técnicas del rodamiento 623 RC.

### Dimensiones



d	8	mm
D	24	mm
B	8	mm
d <sub>1</sub>	≈ 14.45	mm
D <sub>2</sub>	≈ 21.2	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 0.3	mm

### Dimensiones de los resaltes



d <sub>a</sub>	min. 10.4	mm
D <sub>a</sub>	max. 21.6	mm
r <sub>a</sub>	max. 0.3	mm

### Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	3.9	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	1.66	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>U</sub>	0.071	kN
Velocidad de referencia		63000	r/min
Velocidad límite		40000	r/min
Factor de cálculo	k <sub>r</sub>	0.025	
Factor de cálculo	f <sub>0</sub>	13	

### Masa

Rodamiento de masa		0.018	kg
--------------------	--	-------	----

**Anexo 12:** Tabla de las formulas para el calculo de vida utili de un rodamiento

**Tabla 3.1 Correlación de la vida nominal básica del rodamiento, factor de vida y factor de velocidad**

Clasificación	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Vida nominal básica $L_{10h}$ h	$\frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 500 f_h^3$	$\frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} = 500 f_h^{10/3}$
Factor de vida $f_h$	$f_h \frac{C}{P}$	$f_h \frac{C}{P}$
Factor de velocidad $f_n$	$\left(\frac{33.3}{n}\right)^{1/3}$	$\left(\frac{33.3}{n}\right)^{3/10}$



N.º	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	f
1	tubo cuadrado guía4	1	
2	tubcuadsop5	2	
3	platina base6	2	
4	rodamiento lineal7	4	
5	motorpaso10	2	
6	placamotor8	2	
7	B18.6.7M - M3.5 x 0.6 x 10	4	
8	B18.6.7M - M4 x 0.7 x 10 Type I Cross Recessed PHMS -10N	20	
9	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M6 x 1.0 x 30	4	
10	AFBMA 12.1.4.1 - 0060-19 - 8,S,I,NC,8_68	4	
11	B18.2.4.5M - Hex jam nut, M6 x 1 --D-N	8	
12	B18.22M - ARANDELA, 6 mm, narrow	8	
13	B18.22M - ARANDELA PLANA, 6 mm,	7	
14	platina T	2	
15	polea sincronica	2	

CARRERA. INGENIERÍA INDUSTRIAL

PLANOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA



Riel Eje X y guías eje Y


Creado por: Alexis Robalino

ANEXO 13

Aprobado por: Mgs. Fernando Saa


Rev. 26/04/2018 Hoja:1/2

**Anexo 14:** Características técnicas de las barras guías del eje Y.

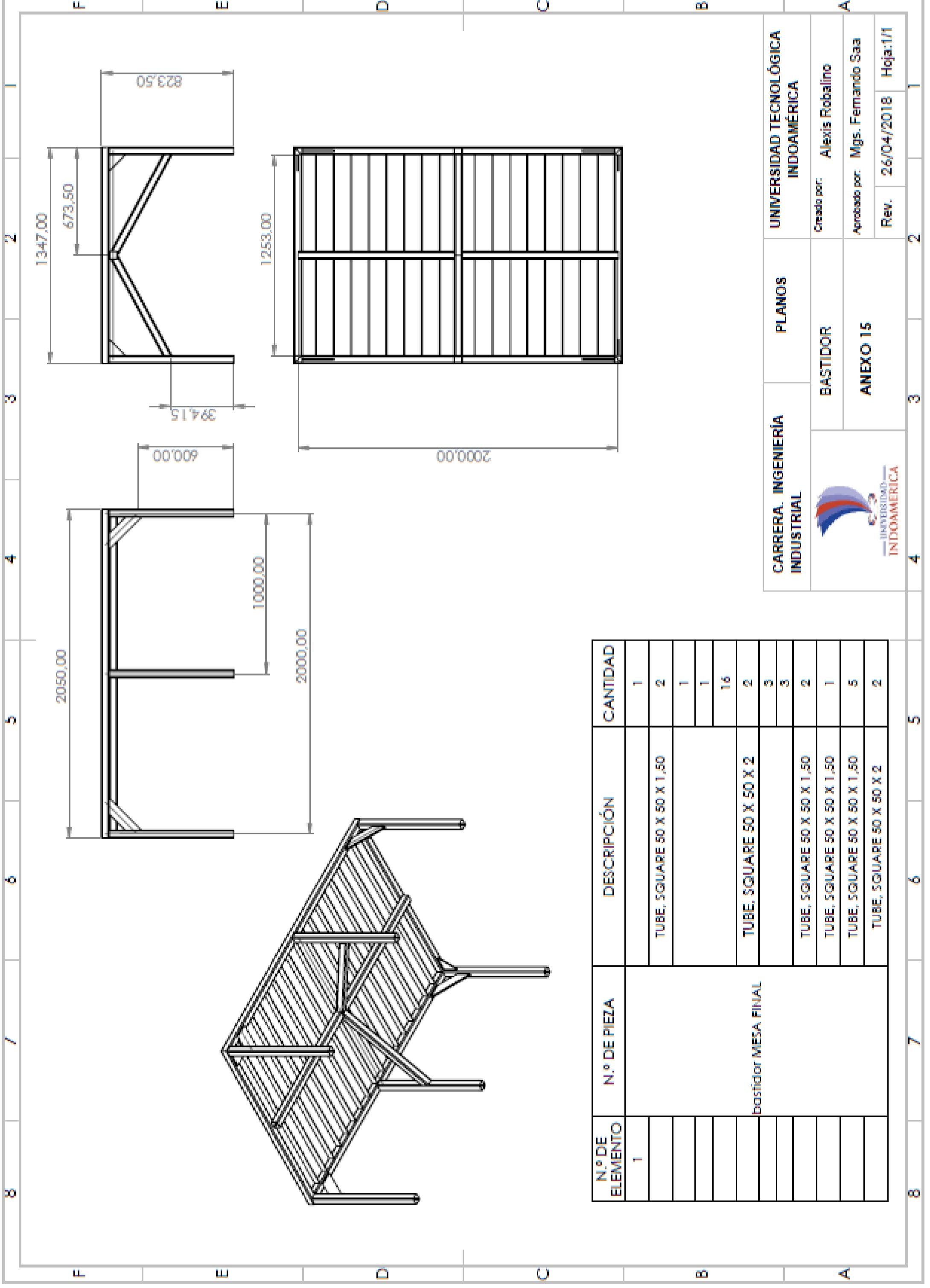
		<h1>ACERO PLATA</h1>					
COMPOSICIÓN QUÍMICA		C	Mn	Si	Cr	V	W
		0.05	1.10	0.30	0.50	0.10	0.5
PROPIEDADES MECÁNICAS							
Estado del material	Resistencia a la tracción Kg/mm2	Límite elástico Kg/mm2	Alargamiento %	Reducción de área	Dureza Brinell aprox.		
Laminado en caliente							
Calibrado							
TRATAMIENTO TÉRMICO							
TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C			ENFRIAMIENTO			
Temple: 780-850°C enfriar en agua	100			64			
	200			62			
Revenido: 180-250°C	300			57			
	400			51			
Dureza después del revenido: 60 - 65	500			44			
	600			36			

**CARACTERÍSTICAS:**  
Acero de presión de temple, alta resistencia al desgaste. Libre de descarbonización superficial.


**APLICACIONES:**  
Machuelos, rimas, calibradores, purzones, brocas para metal, herramientas dentales, herramientas para joyería y grabadores, machos para eleva, piezas para relojes, piezas para conmutadores electrónicos, piezas de radio, ruedas de levas y engranajes pequeños, pines.

PERFILES USUALES		Barras rectificada y pulida en tolerancia ISO H9/D9h 175 con dureza Brinell, en medidas de 38.10 mm Longitud 1.0 metro de Longitud <b>1/16" hasta 1-1/4"</b> <b>1 mm hasta 32 mm</b>
------------------	---	--

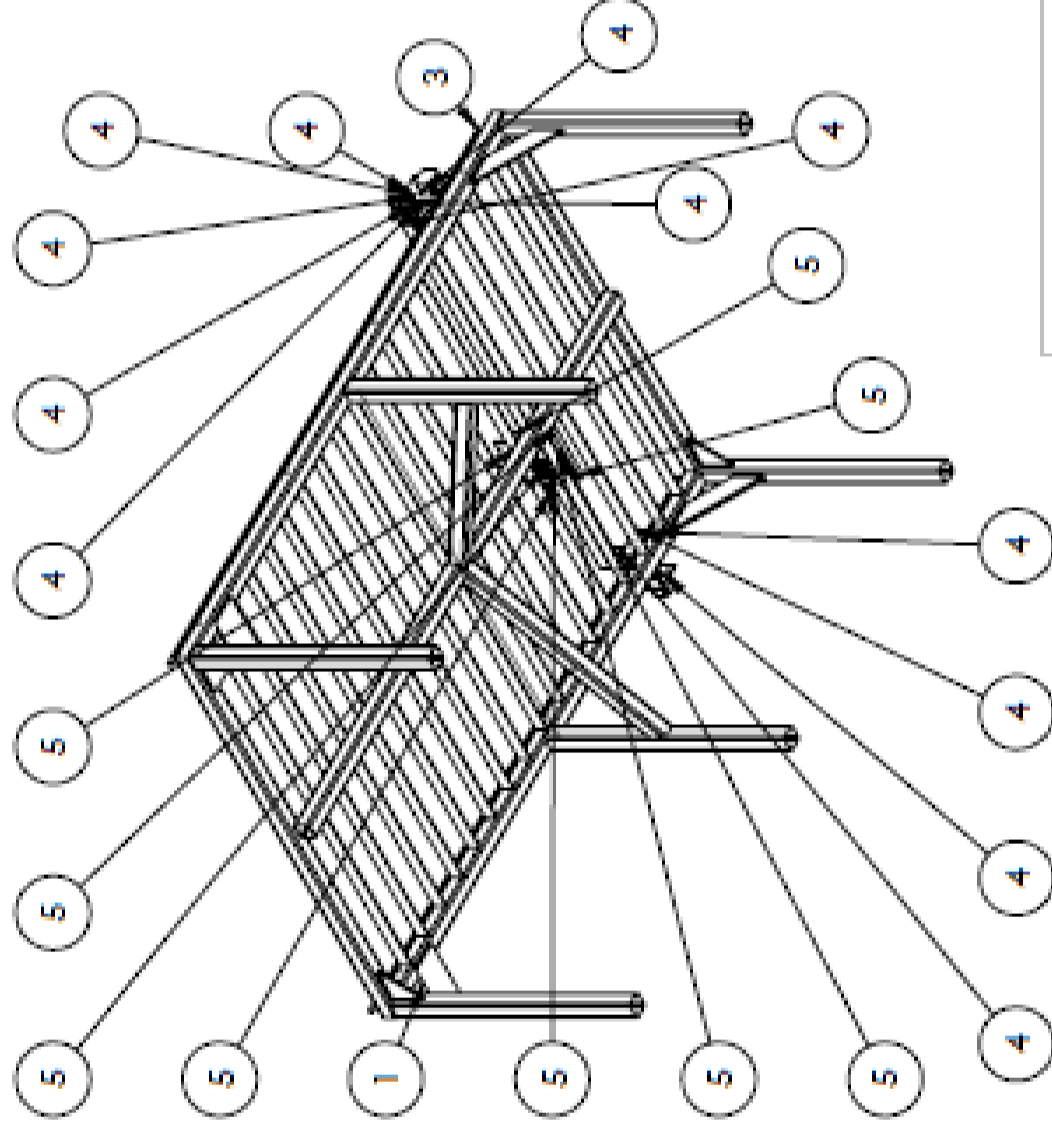
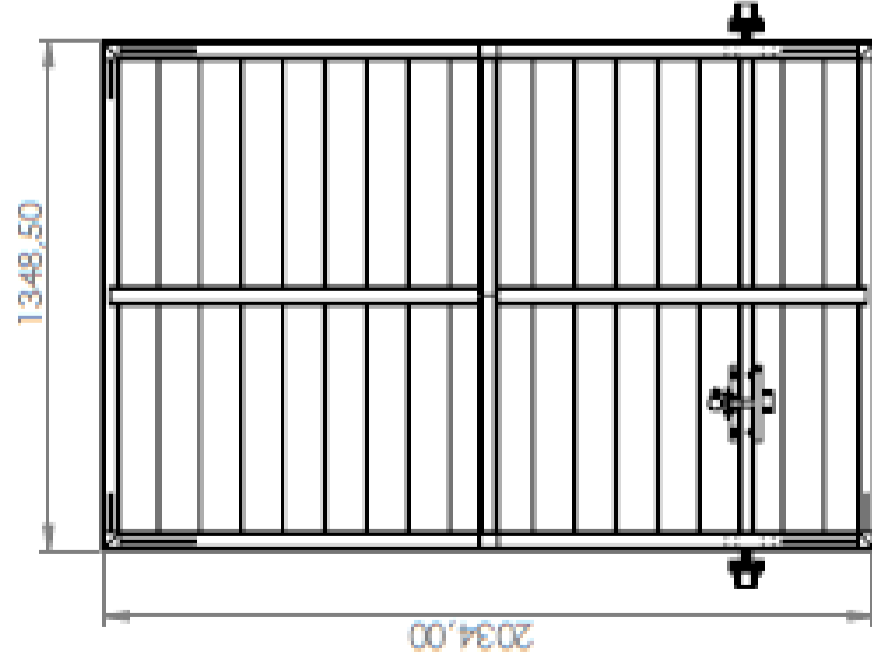
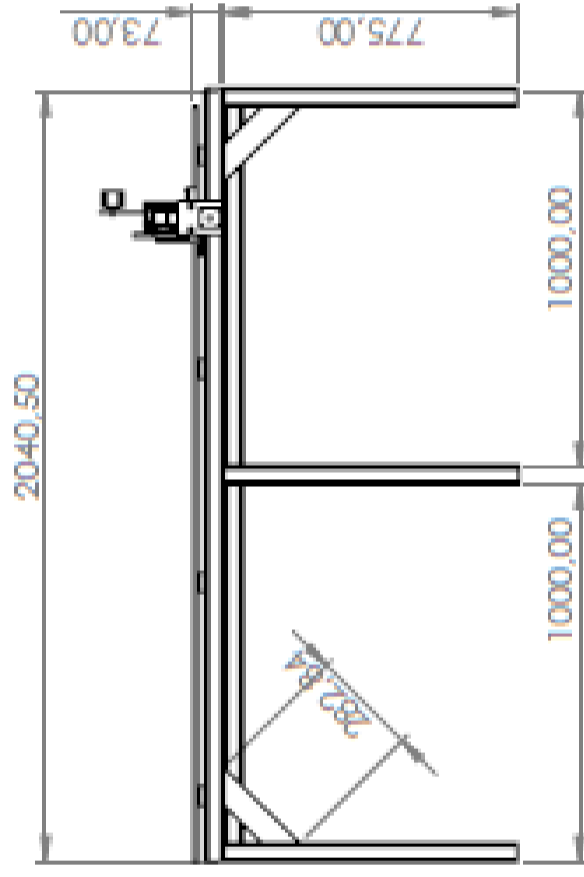
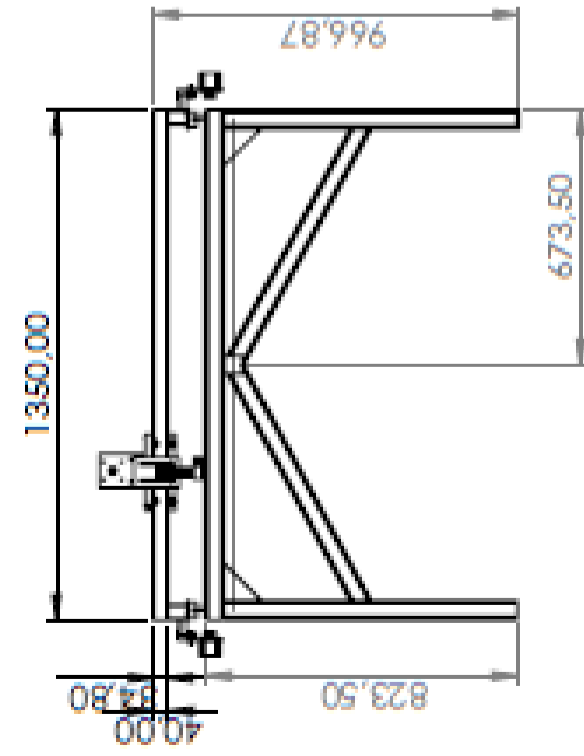




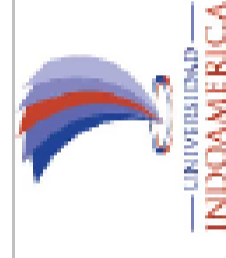
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1			1
		TUBE, SQUARE 50 X 50 X 1,50	2
			1
			1
			16
	bastidor MESA FINAL	TUBE, SQUARE 50 X 50 X 2	2
			3
			3
		TUBE, SQUARE 50 X 50 X 1,50	2
		TUBE, SQUARE 50 X 50 X 1,50	1
		TUBE, SQUARE 50 X 50 X 1,50	5
		TUBE, SQUARE 50 X 50 X 2	2

<b>CARRERA. INGENIERÍA INDUSTRIAL</b> 	PLANOS	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
	BASTIDOR	Creado por: Alexis Robalino
ANEXO 15		Aprobado por: Mgs. Fernando Saa
		Rev. 26/04/2018 Hoja:1/1





N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	bastidor MESA FINAL		1
2	Pieza1		8
3	barra guia		2
4	soport ejex2		1
5	rodillos guia y		1



Maquina CNC cortador plasma

Alexis Robalino

ANEXO 16

Mgs. Fernando Saa

Rev. 26/04/2018 Hoja:1/5

1 2 3 4 5 6 7 8





## Anexo 17: Características técnicas de la cortadora plasma.



---

### Descripción del vendedor

CODIGO 410 PLASMA 40

Inversor PLASMA 40 / 60

Voltaje de alimentación (Bi Voltaje): 110/220V

Consumo: 4,500 wts

Frecuencia: 50/60 Hz

Voltaje en vacío: 96V

Rango de amperaje en 110V: 10-33 Amp

De separación en 110V: 3/8"

ACCESORIOS

antorcha plasma 40 amp

4 mt de cable tierra y abrazadera a tierra con conector rápido

4 mt de manquera de gas con aro y conector

**Anexo 18:** Datos técnicos sobre velocidad de avance para el corte con plasma.

Consumibles con protección T45m

Acero al carbono  
Métrico

Rango de flujo de aire (l/min)	
Caliente	151
Frio	165,2

Corriente del arco (A)	Espesor de material (mm)	Distancia antorcha-pieza (mm)	Altura de perforación inicial		Tiempo de retardo perforación (s)	Recomendado		Máximo				
						Velocidad de corte (mm/min)	Voltaje (V)	Velocidad de corte (mm/min)	Voltaje (V)			
30	0,5	1,5	3,8 mm	250%	0,0	9150	117	10160*	118			
	0,8					8650	116	10160*	117			
	0,9					8100	115	10160*	117			
	1,5					5650	111	7100	115			
45	0,9	1,5	3,8 mm	250%	0,0	9652	115	10160*	112			
	1,5					8890	116	10160*	115			
	1,9				0,1	7100	117	9144	115			
	2,7				0,3	4800	117	6096	115			
	3,4				0,4	3550	117	4445	115			
	4,8				0,5	2150	118	2794	115			
	6,4				0,6	1500	120	1905	116			
	9,5				0,9	510	122	1016	116			
	12,7				Se recomienda arranque desde el borde				510	132	635	125
	15,9								280	138	356	127
	19,1								200	140	254	131
	25,4								100	146	127	142

\*La velocidad de corte máxima está limitada por la velocidad máxima de la mesa de prueba (10160 mm/min).

**Consumibles sin protección T45m**

**Acero inoxidable  
Métrico**

Rango de flujo de aire (l/min)	
Caliente	151
Frío	165,2

Corriente del arco (A)	Espesor de material (mm)	Distancia antorcha-pieza (mm)	Altura de perforación inicial		Tiempo de retardo perforación (s)	Recomendado		Máximo		
						Velocidad de corte (mm/min)	Voltaje (V)	Velocidad de corte (mm/min)	Voltaje (V)	
30	0,5	2,0	5,0 mm	250%	0,0	9144	113	10160*	125	
	0,8					8128	115	10160*	128	
	0,9					7000	114	9000	125	
	1,5					3650	112	4800	118	
45	0,9	2,0	5,0 mm	250%	0,0	8900	112	10160*	110	
	1,5					8100	115	10160*	113	
	1,9					7112	116	9144	114	
	2,7					4100	118	5080	116	
	3,4					2800	120	3556	118	
	4,8					1650	120	2032	118	
	6,4					1010	121	1270	118	
	9,5					610	125	762	120	
	12,7					Se recomienda arranque desde el borde	355	130	457	126
	19,1						175	133	229	138

\*La velocidad de corte máxima está limitada por la velocidad máxima de la mesa de prueba (400 pulg/min o 10160 mm/min).

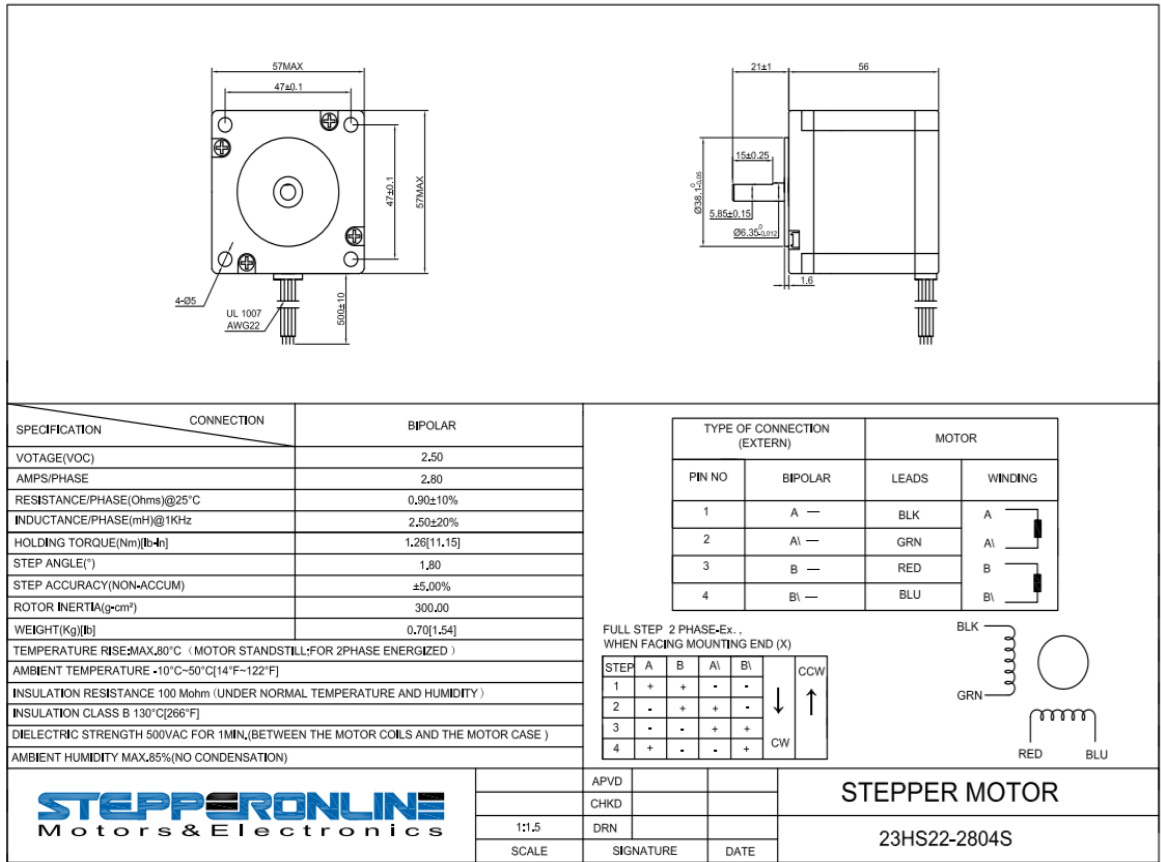
**Consumibles sin protección T45m**

**Aluminio  
Métrico**

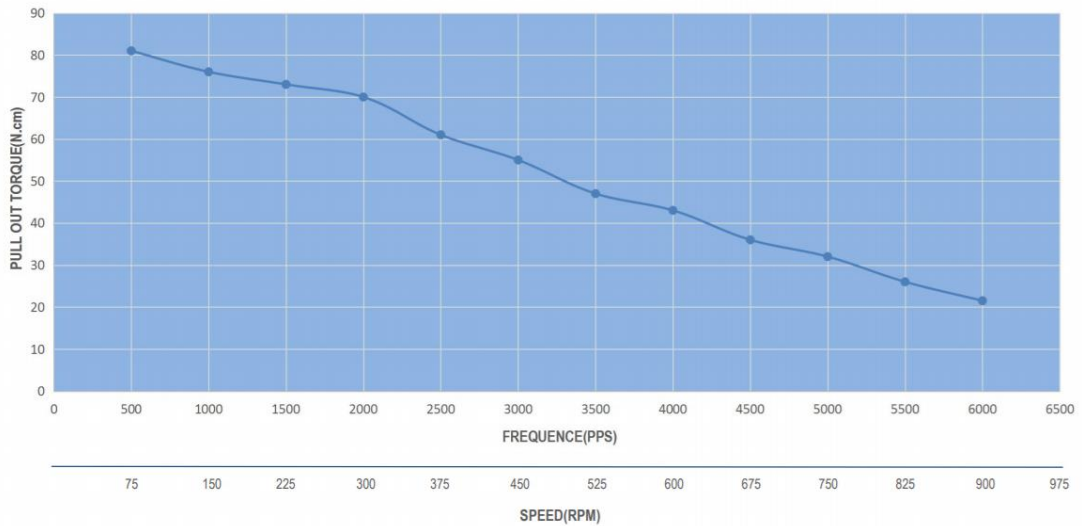
Rango de flujo de aire (l/min)	
Caliente	151
Frío	165,2

Corriente del arco (A)	Espesor de material (mm)	Distancia antorcha-pieza (mm)	Altura de perforación inicial		Tiempo de retardo perforación (s)	Recomendado		Máximo	
						Velocidad de corte (mm/min)	Voltaje (V)	Velocidad de corte (mm/min)	Voltaje (V)
30	1,2	2,0	5,0 mm	250%	0,0	8900	122	10160*	121
	1,5				0,1	8100	120	10160*	118
	1,9				0,2	5700	121	7100	119
45	1,5	2,0	5,0 mm	250%	0,0	8900	120	10160*	116
	1,9					8100	120	10160*	116
	2,7					7200	122	9144	118
	3,4				0,1	5500	123	6858	118
	4,8				0,3	2540	123	3175	118
	6,4				0,3	1820	128	2286	124
	9,5				0,5	710	130	914	124
	12,7				Se recomienda arranque desde el borde	510	131	635	125
	19,1					200	148	254	143

## Anexo 19: Características técnicas de los motores paso a paso.



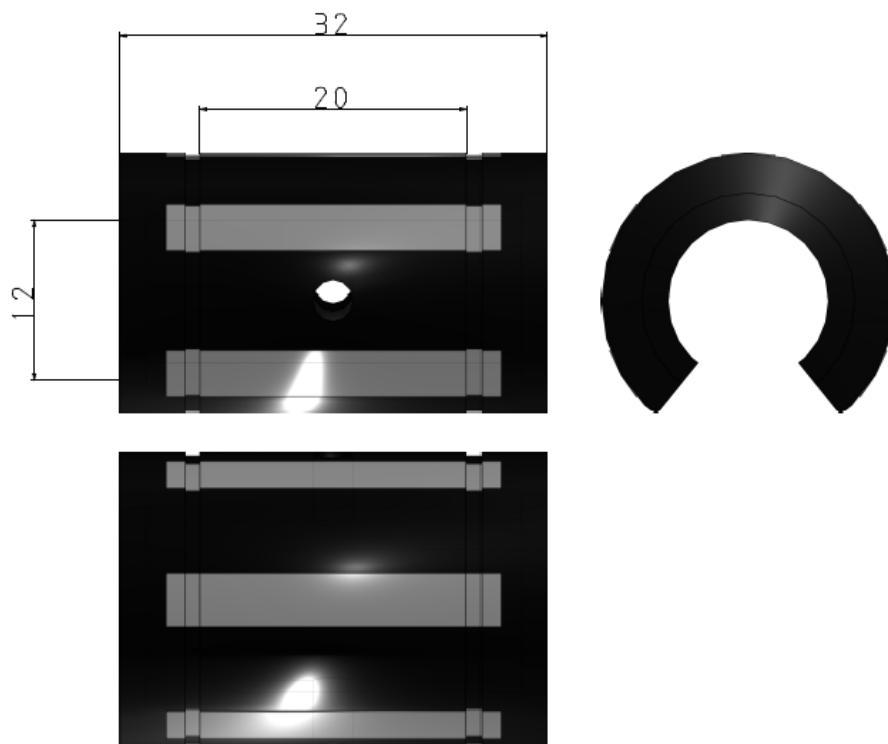
23HS22-2804S PULL OUT TORQUE(2.5A/P 24V HALF STEP)



## Anexo 20: Datos técnicos del rodamiento lineal re circulante de bolas.

### Datos técnicos

Gama	tamaño de 5 a 80 mm
Velocidad	hasta 5 m/s
Aceleración	hasta 100 m/s <sup>2</sup>
Precisión	
Temperatura de funcionamiento	de -20 a +80 °C
Longitud del eje en una sola pieza	hasta 6.000 mm
C	hasta 37.500 N
C <sub>0</sub>	hasta 32.000 N

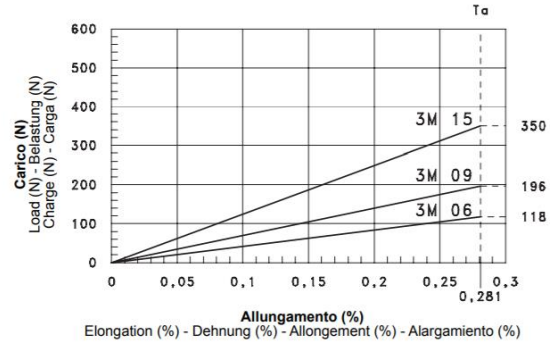


## Anexo 21: Características técnicas de la banda dentada.

### HTD® 3M

<b>Peso della cinghia al metro, per 10 mm di larghezza</b> Weight for one meter by 10 mm belt width Gewicht bei Riemenlänge 1 m und Riemenbreite 10 mm Poids par mètre de courroie, pour 10 mm de largeur Peso por metro de correa, para 10 mm de ancho		<b>22,9 g</b>		
<b>Fattore di larghezza cinghia</b> Belt width factor - Riemenbreitfaktor Coefficient de largeur courroie - Coeficiente de ancho correa				
<b>Larghezza (mm)</b> Width (mm) Breite (mm) Largeur (mm) Ancho (mm)	6	9	15	
<b>Fattore di moltiplicazione</b> Multiplication factor Multiplikationsfaktor Facteur de multiplication Coeficiente de multiplicación	1,00	1,66	2,97	
<b>Carico di rottura e allungamento</b> Breaking load and elongation - Zerreifestigkeit und Dehnung Charge de rupture et allongement - Carga de rotura y alargamiento				
<b>Larghezza</b> Width Breite Largeur Anchura mm	<b>Carico di rottura</b> Breaking load Zerreifestigkeit Charge de rupture Carga de rotura N	<b>Tensione effettiva in N con allungamento di 0,1% su L</b> Effective tension in N with elongation of 0,1% on L Umfangskraft in N mit Dehnung von 0,1% ber L Tension effective en N avec allongement de 0,1% sur L Tensión efectiva en N con alargamiento de 0,1% sobre L		
3M 6	1200	42		
3M 9	1990	70		
3M 15	2990	125		

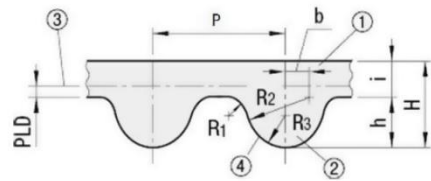
<b>Tensione di lavoro specifica ammessa in N per 6 mm di larghezza cinghia</b> Specific allowable working tension in N for 6 mm belt width Spezifische zulässige Umfangskraft in N bei 6 mm Riemenbreite Tension de fonctionnement spécifique admise en N pour 6 mm de largeur courroi Tensión de funcionamiento específica admitida en N para 6 mm de ancho correa							
<b>N° denti puleggia</b> No. of teeth of pulley Zhnezahl der Scheibe N° dents poulie Nro dientes polea	10	14	18	24	32	40	≥41
<b>Tas (N)</b>	80	86	89	92	100	105	111



## Correa dentada GT2 2GT GT3 3GT de sincronizacin / Timing Belt

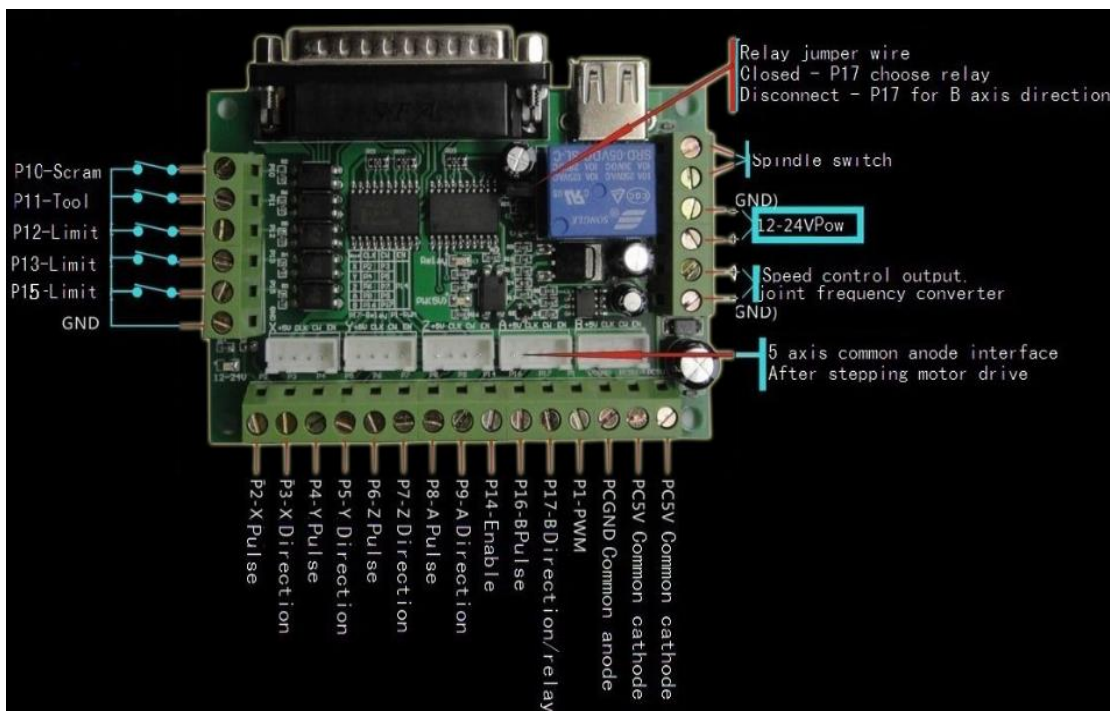
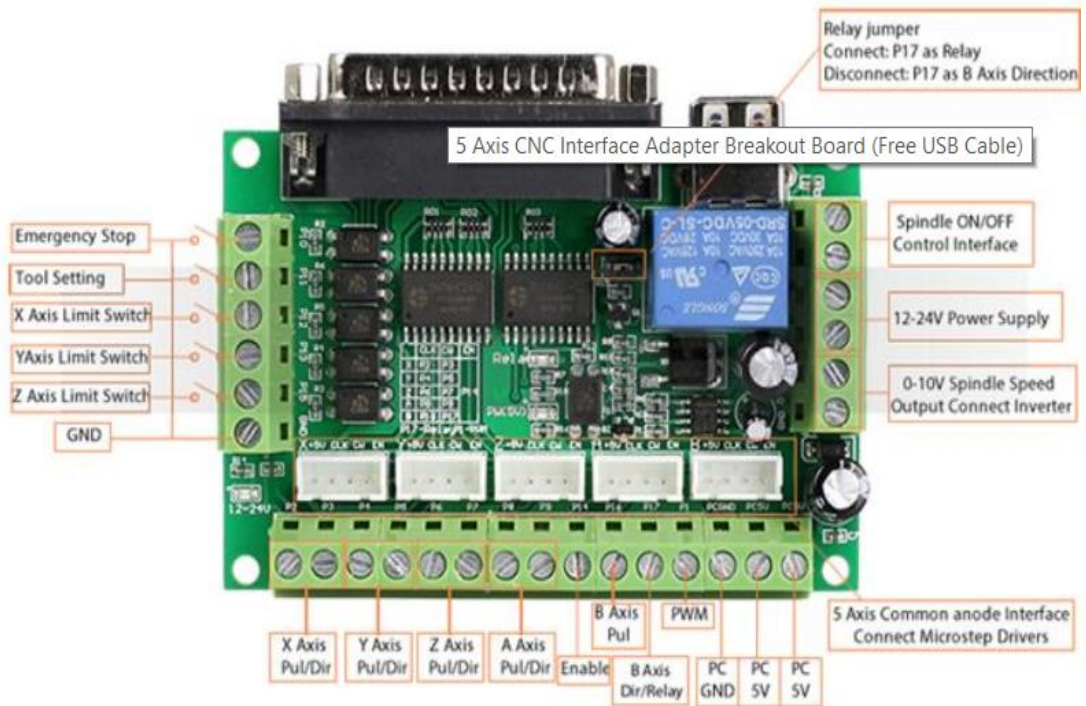
Desde \$ 23.00 IVA incluido

TYPE	P	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	b	H	h	i	PLD
2GT	2	0.15	1.00	0.555	0.40	1.38	0.75	0.63	0.254
3GT	3	0.25	1.52	0.85	0.61	2.40	1.14	1.26	0.381



Categoría: Banda y Correa Dentada

**Anexo22:** Datos técnicos de la interfaz CNC.



## Anexo 23: Datos técnicos de la fuente de alimentación.



Mejor calidad 24 V 15A 360 W interruptor de alimentación de conmutación para tira LED AC 100-240 V entrada A DC 24 V

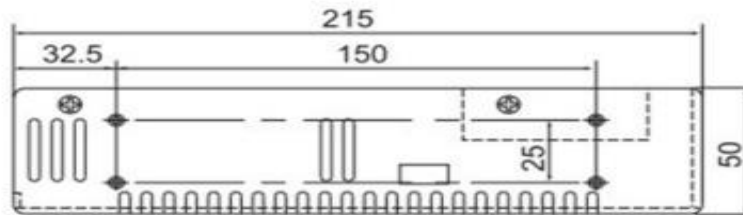
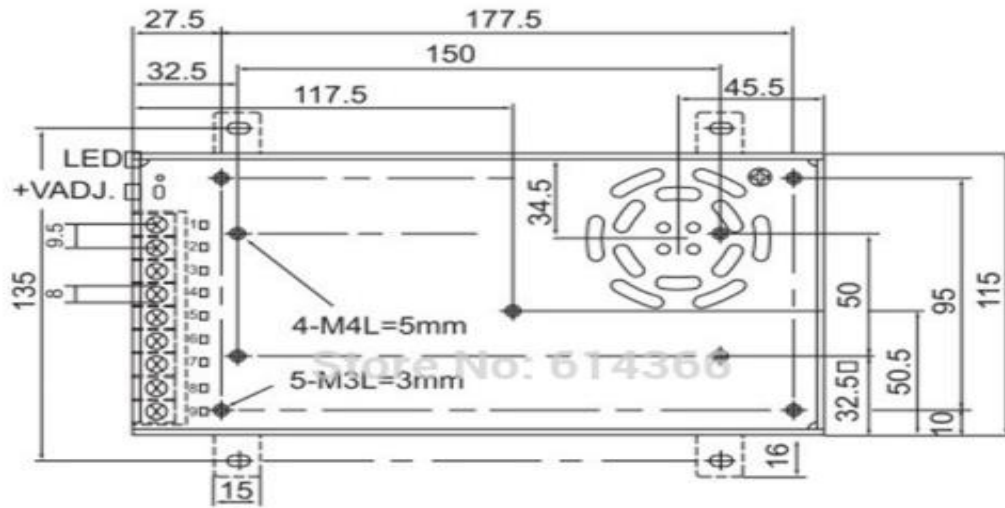
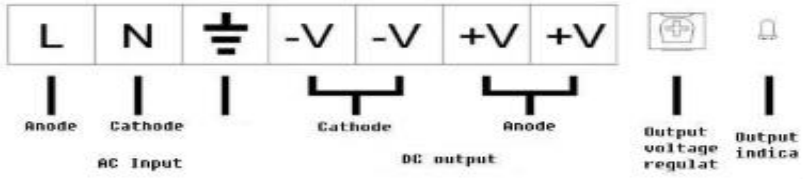
### Característica

1. Sobre protección de la carga
2. Sobre la protección del voltaje.
3. Protección del cortocircuito
4. Sobre protección de la temperatura.
5. Amplio rango de tensión de entrada, puede funcionar estable bajo 110 V/220 V.
6. Más ahorro de energía y menos pérdida de energía, funciona más eficiente.
7. Los PCB y la cubierta se fabrican con materiales de fuego.
8. Baja onda y ruido.

### Descripción del producto

1. Es nuevo, buena calidad y alto rendimiento
2. Entrada: AC110-240V 50/60Hz
3. Salida: 24 V DC 15A
4. Aprobaciones: CE
5. 100% prueba de quemadura de carga completa
6. Protección: sobrecarga/tensión/cortocircuito
7. Refrigeración por convección de aire libre
8. Garantía: 1 año
9. Tamaño: 215x115x50 (mm)
10. Cumplimiento de la seguridad: CE/Rohs
11. Ampliamente utilizado en la automatización Industrial, downlight llevado, luz de techo llevada, luz llevada, pantalla llevada, comunicaciones, etc

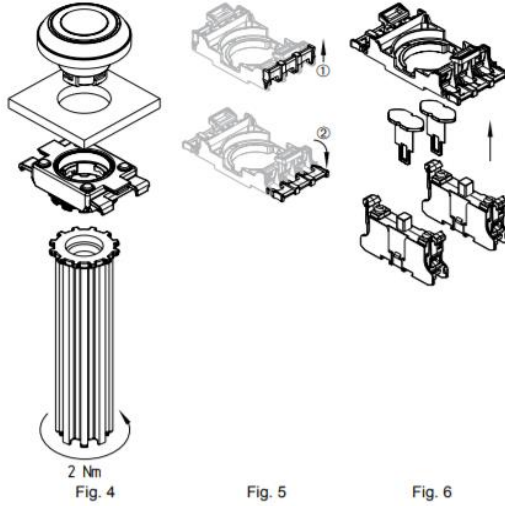




## Anexo 24: Características técnicas del paro de emergencia.

### Manual de instrucciones Dispositivos de mando, accionamiento y señalización

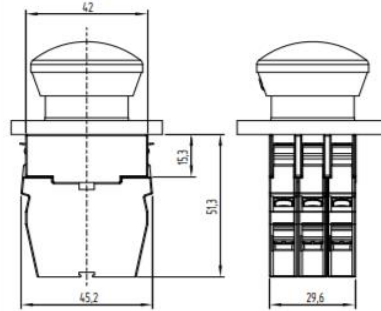
**Serie-E,  
Serie-N y -R**



#### 3.3 Dimensiones

Todas las medidas en mm.

#### Sistema de contacto EF (serie - E y - N)



#### Sistema de contacto RF (serie - R)

#### Elementos de contacto en una fila

### Manual de instrucciones Dispositivos de mando, accionamiento y señalización

**Serie-E,  
Serie-N y -R**

#### Elemento de contacto/luminoso:

##### Datos técnicos generales:

Normas:	IEC 60947-5-1
Cadencia de conmutación:	1200 / h
Vida mecánica:	1 x 10 <sup>7</sup> maniobras
Puntos de conmutación:	dependiendo del elementos de contacto utilizado
- Contacto NC:	aprox. 1 mm ... 3 mm
- Contacto NA:	aprox. 2 mm ... 4 mm
Sistema de conmutación:	Acción lenta, contactos NC de apertura forzada
Elementos de conmutación:	puentes de contacto separados galvánicamente
Corriente constante térmica I <sub>thc</sub> :	
- Bloque de contactos EF:	10 A
- Bloque de contactos RF:	8 A
Protección contra cortocircuitos:	
- Bloque de contactos EF:	10 A gG
- Bloque de contactos RF:	8 A gG
Seguridad de contactos:	
- Bloque de contactos EF:	5 VDC / 3,2 mA
- Bloque de contactos RF:	5 VDC / 1 mA
Categoría de uso:	
- Bloque de contactos EF:	AC-15: 250 V / 8 A DC-13: 24 V / 5 A
- Bloque de contactos RF:	AC-15: 250 V / 8 A DC-13: 24 V / 5 A
Demostración de la apertura forzada:	2,5 kV tensión transitoria
Recomido de apertura forzada:	aprox. 2 mm tras alcanzar el punto de apertura
Fuerza de accionamiento al final de la carrera:	aprox. 8 ... 15 N, dependiendo del elemento de contacto utilizado
Tipo de conexión:	Terminales con tornillo Terminales planos Terminales por muelle
Sección de cables:	
- monofilar:	2 x (0,5 ... 2,5 mm <sup>2</sup> );
- hilo fino con terminales grimpados con collarín de protección:	2 x (0,5 ... 1,5 mm <sup>2</sup> );
- conector de pala:	6,3 mm x 0,8 mm / 2 x 2,8 mm x 0,8 mm
Par de apriete del tornillo de conexión:	max. 1 Nm
Materiales:	
- Cajas:	plástico, termoplástico reforzado con fibra de vidrio, autoextinguible
- Contactos:	plata fina, bronce elástico o res. soporte Ms

- El montaje de los elementos de contacto del sistema de contacto EF se realiza mediante en gancho en las posiciones 1 a 3 en la brida de montaje (véase fig. 2). La posición central (pos. 3) se ha previsto para el montaje de elementos luminosos en dispositivos con iluminación (véase fig. 3).



Con iluminación no deben montarse segmentos de empuje en la brida de montaje.



El utilizar elementos de contacto y luminosos en la brida de montaje, el elemento luminosos deberá montarse en primer lugar en la posición central (pos. 3).

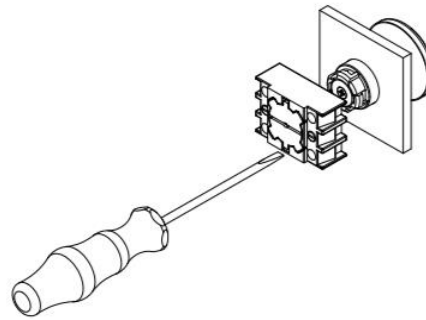


Fig. 1

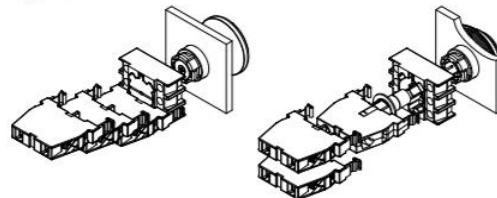


Fig. 2

Fig. 3

## Anexo 25: Datos técnicos del controlador motor paso a paso.

### TB6600 Stepper Motor Driver SKU: DRI0043

#### Contents

- 1 Introduction
- 2 Features
- 3 Specification
- 4 Quick Start
  - 4.1 Requirements
  - 4.2 Connection Diagram
  - 4.3 Sample Code
  - 4.4 Result
  - 4.5 Comments
- 5 FAQ
- 6 More Documents

#### Introduction

TB6600 arduino Stepper Motor Driver (<https://www.dfrobot.com/product-1547.html>) is an easy-to-use professional stepper motor driver (<https://www.dfrobot.com/category-106.html>), which could control a two-phase stepping motor. It is compatible with Arduino and other microcontrollers that can output a 5V digital pulse signal. TB6600 arduino stepper motor driver (<https://www.dfrobot.com/category-106.html>) has a wide range power input, 9~42VDC power supply. And it is able to output 4A peak current, which is enough for the most of stepper motors.

The stepper driver supports speed and direction control. You can set its micro step and output current with 6 DIP switch. There are 7 kinds of micro steps (1, 2 / A, 2 / B, 4, 8, 16, 32) and 8 kinds of current control (0.5A, 1A, 1.5A, 2A, 2.5A, 2.8A, 3.0A, 3.5A) in all. And all signal terminals adopt high-speed optocoupler isolation, enhancing its anti-high-frequency interference ability.

As a professional device, it is able to drive 57, 42-type two-phase, four-phase, hybrid stepper motor.

**Note: this is a upgrade version of TB6600 Stepper Motor Driver.**

#### Features

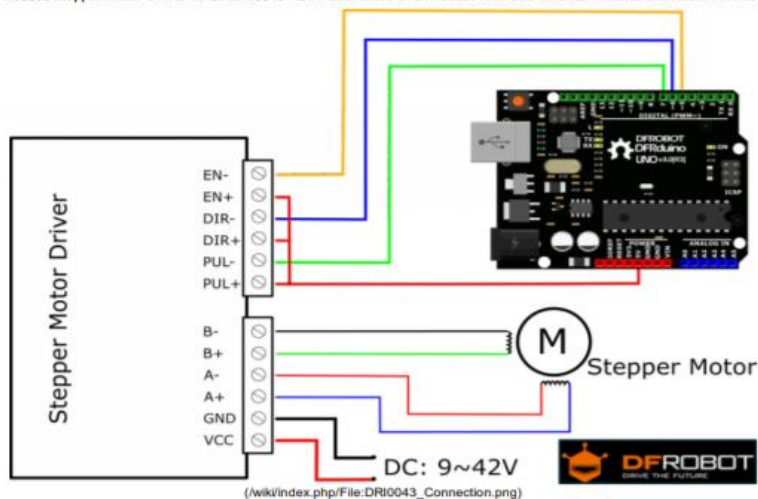
- Support 8 kinds of current control
- Support 7 kinds of micro steps adjustable
- The interface adopts high-speed optocoupler isolation
- Automatic semi-flow to reduce heat
- Large area heat sink
- Anti-high-frequency interference ability
- Input anti-reverse protection
- Overheat, over current and short circuit protection

#### Specification

- Input Current: 0~5A
- Output Current: 0.5~4.0A
- Power (MAX): 160W
- Micro Step: 1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
- Temperature: -10~45°C
- Humidity: No Condensation
- Weight: 0.2 kg
- Dimension: 96 \* 71 \* 37 mm



(<https://www.dfrobot.com/product-1547.html>)  
TB6600 Stepper Motor Driver  
(<https://www.dfrobot.com/product-1547.html>)



## Anexo 26: Características técnicas de los finales de carrera.

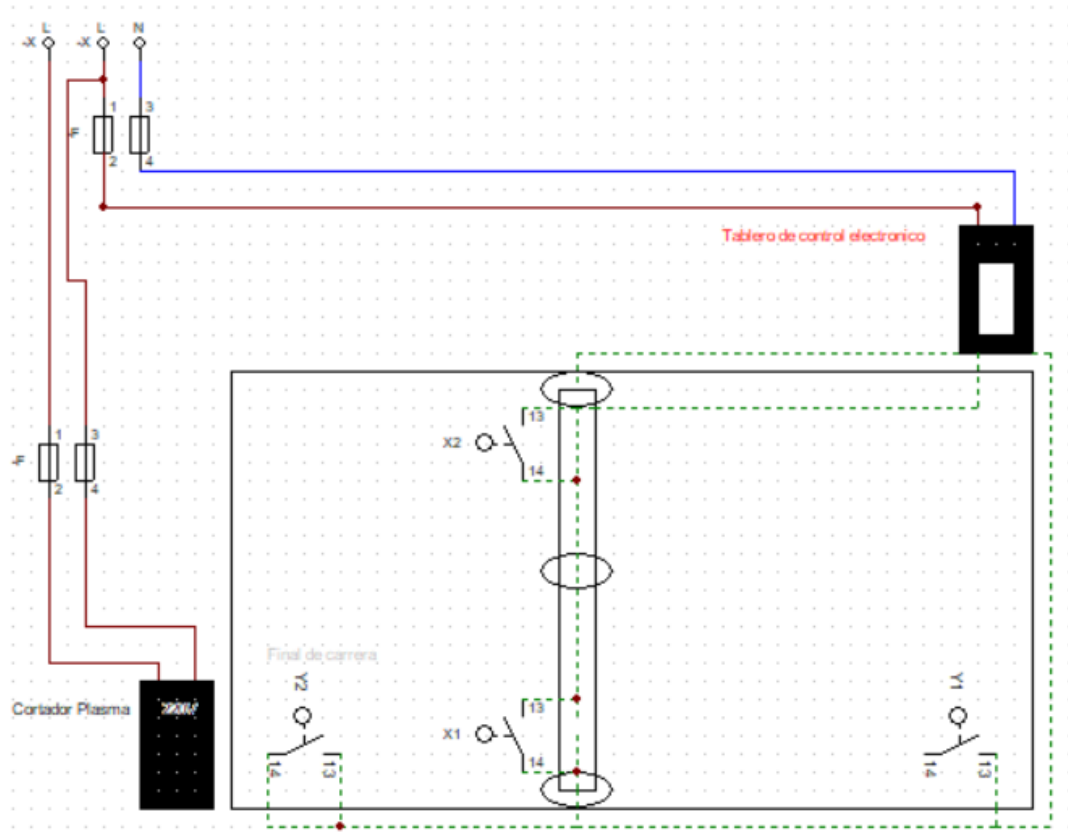
### Voltage and current rating

Model	Rated voltage	Non-inductive load			Inductive load				Inrush current			
		Resistive load		Lamp load		Inductive load		Motor load		NC	NO	
		NC and NO	NC	NO	NC	NO	NC	NO				
Standard type	125 VAC	10	3	1.5	10		5	2.5	30 A	15 A		
	250 VAC		2.5	1.25			3	1.5				
	8 VDC		3	1.5	6		5	2.5				
	14 VDC											
	30 VDC	6			5							
	125 VDC	0.5	0.4	0.4	0.05							
	250 VDC	0.25	0.2	0.2	0.03							
High current at high VDC switching type *	8 VDC	10	3	1.5	10		5	2.5				
	14 VDC											
	30 VDC											
	125 VDC				7.5	6						
	250 VDC	3	1.5	0.75	2	1.5	2	1.5				

### General specifications

Durability	Mechanical	10.000.000 operations min
	Electrical	500.000 operations min
Operating speed	Plunger	0.05 mm/s to 0.5 m/s
Operating frequency	Mechanical	120 operations/min
	Electrical	20 operations/min
Insulation resistance		100 M $\Omega$ min (at 500VDC)
Contact resistance (initial)		15 m $\Omega$ max
Dielectric strength		1,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min between non-continuous terminals
		2,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min between each terminal and non-current-carrying metal part
Vibration resistance	Malfunction	10 to 55 Hz, 1.5 mm double amplitude
Shock resistance	Destruction	1,000 m/s <sup>2</sup> min
	Malfunction	300 m/s <sup>2</sup> min
Ambient temperature	Operating	-10 to 80°C (with no icing)
Ambient humidity	Operating	35% to 95% RH
Degree of protection		IEC 60529: IP67

Anexo27: Diagrama eléctrico de la conexión del sistema eléctrico de la máquina.



**Anexo 28:** Lista de Código G&M, para la programación en CNC.

Summary of G-codes	
G0	Rapid positioning
G1	Linear interpolation
G2	Clockwise circular/helical interpolation
G3	Counterclockwise circular/Helical interpolation
G4	Dwell
G10	Coordinate system origin setting
G12	Clockwise circular pocket
G13	Counterclockwise circular pocket
G15/G16	Polar Coordinate moves in G0 and G1
G17	XY Plane select
G18	XZ plane select
G19	YZ plane select
G20/G21	Inch/Millimetre unit
G28	Return home
G28.1	Reference axes
G30	Return home
G31	Straight probe
G40	Cancel cutter radius compensation
G41/G42	Start cutter radius compensation left/right
G43	Apply tool length offset (plus)
G49	Cancel tool length offset
G50	Reset all scale factors to 1.0
G51	Set axis data input scale factors
G52	Temporary coordinate system offsets
G53	Move in absolute machine coordinate system
G54	Use fixture offset 1
G55	Use fixture offset 2
G56	Use fixture offset 3
G57	Use fixture offset 4
G58	Use fixture offset 5
G59	Use fixture offset 6 / use general fixture number
G61/G64	Exact stop/Constant Velocity mode
G68/G69	Rotate program coordinate system
G70/G71	Inch/Millimetre unit
G73	Canned cycle - peck drilling
G80	Cancel motion mode (including canned cycles)
G81	Canned cycle - drilling
G82	Canned cycle - drilling with dwell
G83	Canned cycle - peck drilling
G84	Canned cycle - right hand rigid tapping
G85/G86/G88/G89	Canned cycle - boring
G90	Absolute distance mode
G91	Incremental distance mode
G92	Offset coordinates and set parameters
G92.x	Cancel G92 etc.
G93	Inverse time feed mode
G94	Feed per minute mode
G95	Feed per rev mode
G98	Initial level return after canned cycles
G99	R-point level return after canned cycles

Figure 10.4 - Table of G codes

M-code	Meaning
M0	Program stop
M1	Optional program stop
M2	Program end
M3/4	Rotate spindle clockwise/counterclockwise
M5	Stop spindle rotation
M6	Tool change (by two macros)
M7	Mist coolant on
M8	Flood coolant on
M9	All coolant off
M30	Program end and Rewind
M47	Repeat program from first line
M48	Enable speed and feed override
M49	Disable speed and feed override
M98	Call subroutine
M99	Return from subroutine/repeat

Order	Item
1	Comment (including message)
2	Set feed rate mode (G93, G94, G95)
3	Set feed rate (F)
4	Set spindle speed (S)
5	Select tool
6	Tool change (M6) and Execute M-code macros
7	Spindle On/Off (M3, M4, M5)
8	Coolant On/Off (M7, M8, M9)
9	Enable/disable overrides (M48, M49)
10	Dwell (G4)
11	Set active plane (G17, G18, G18)
12	Set length units (G20, G21)
13	Cutter radius compensation On/Off (G40, G41, G42)
14	Tool table offset On/Off (G43, G49)
15	Fixture table select (G54 - G58 & G59 P~)
16	Set path control mode (G61, G61.1, G64)
17	Set distance mode (G90, G91)
18	Set canned cycle return level mode (G98, G99)
19	Home, or change coordinate system data (G10), or set offsets (G92, G94)
20	Perform motion (G0 to G3, G12, G13, G80 to G89 as modified by G53)
21	Stop or repeat (M0, M1, M2, M30, M47, M99)

**Anexo 29:** Corte de planchas metálicas con la máquina CNC cortadora por plasma.





### Anexo 30: Ejemplo de programación con códigos G&M.

G20 F10 G90 (configura unidades imperiales, una tasa de alimentación lenta, etc.)

G0 Z2.0 (eleva la pluma)

G0 X0.8 Y0.3 (movimiento rápido parte inferior izquierda del cuadrado)

G1 Z0.0 (baja la pluma)

Y1.3 (podemos omitir el G1 como nosotros acabamos de hacerlo)

X1.8

Y0.3 (yendo según las manecillas del reloj)

X0.8

G0 Z2.0 (eleva la pluma)

G0 Z2.0 (eleva la pluma)

G0 X0.8 Y0.3 (movimiento rápido parte inferior izquierda del cuadrado)

G1 Z0.0 (baja la pluma)

Y1.3 (podemos omitir el G1 como nosotros acabamos de hacerlo)

X1.8

Y0.3 (yendo según las manecillas del reloj)

X0.8

G0 Z2.0 (eleva la pluma)

O001; (CICLO DE CORTE DE UN CUADRADO)

N10 G90 G21 G40 (Coordenadas absolutas, en milímetro, anular compensación)

N20 G00 X00 Y00 (posicionamiento de la antorcha, punto de origen)

N30 F1200 T00 (Configuración de la velocidad de corte en mm/min y herramienta)

N40 G00 X10 Y10 (Posicionamiento de la antorcha para el corte)

N50 M3 (Enciende la antorcha)

N60 G01 X200 (Proceso de corte de un cuadrado)

N70 G01 Y200

N80 G01 X00

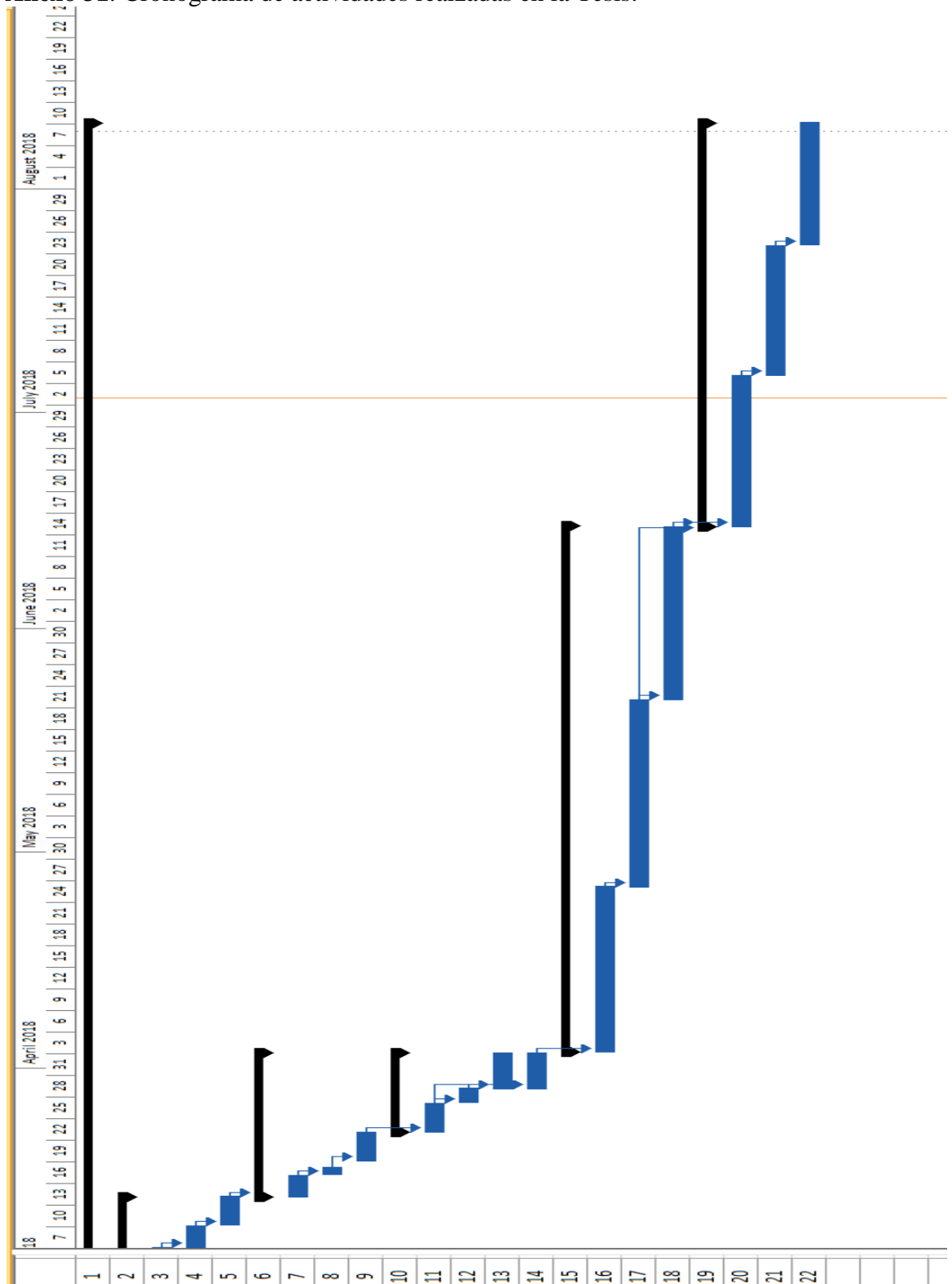
N90 G01 Y00

N100 M5 (Apagar la antorcha)

N110 G00 X00 Y00 (Vuelta al punto de origen de la antorcha)

M30 Fin del programa.

**Anexo 31:** Cronograma de actividades realizadas en la Tesis.



**Anexo 32:** Tabla con el tiempo de preparación y factor de operación.

MATERIAL	OPERACIONES	TIEMPO PROCESOS (s)		
		OFC	PAC	CAC-A
Acero Bajo Carbono	Preparación	253	210	723
	Corte e = 4 mm.	59	59	27
	Preparación	46	84	92
	Corte e = 6 mm.	67	75	42
	Preparación	107	55	262
	Corte e = 10 mm.	87	73	144
Acero Inoxidable	Preparación	n/a	32	160
	Corte e = 4 mm.	n/a	44	30
	Preparación	n/a	50	106
	Corte e = 6 mm.	n/a	44	85
	Preparación	n/a	59	156
	Corte e = 10 mm.	n/a	57	167
Hierro fundido	Preparación	n/a	63	155
	Corte e = 4 mm.	n/a	56	42
	Preparación	n/a	75	108
	Corte e = 6 mm.	n/a	58	68
	Preparación	n/a	41	129
	Corte e = 10 mm.	n/a	68	136
Acero Medio Carbono	Preparación	90	36	90
	Corte e = 10 mm.	57	44	74
	Preparación	110	47	183
	Corte e = 15 mm.	69	35	142
	<b>Tiempo Corte (s)</b>	339	613	957
	<b>Tiempo Total (s)</b>	945	1365	3121
	<b>FO %</b>	<b>35,87%</b>	<b>44,91%</b>	<b>30,66%</b>

**Anexo 33:** Tabla con tiempos que toma el corte según espesor del material.

**Tabla 5.2** Velocidades de Corte en metros por hora según material y proceso de corte

Material	Proceso	Velocidad Corte (m/h)			
		e = 4mm	e = 6mm	e = 10mm	e = 15mm
Acero Bajo Carbono	Plasma	10,476	5,832	4,68	–
	Oxicorte	19,512	13,5	11,16	–
	CAC-A	46,8	23,76	5,58	–
Acero Inoxidable	Plasma	21,6	14,4	11,34	–
	CAC-A	27,18	15,3	6,264	–
Hierro Fundido	Plasma	22,248	17,028	14,184	–
	CAC-A	22,248	14,4	7,56	–
Acero Medio Carbono	Plasma	--	--	9,972	6,408
	Oxicorte	--	--	12,852	11,016
	CAC-A	--	--	9	3,996

Anexo 34. Manual de operación.

# **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

# **EMC**

## **MANUAL DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA CNC CORTADORA POR PLASMA**

Es de gran importancia seguir las recomendaciones que se indican en este manual, para la conservación y buen funcionamiento de la máquina. Si se realiza una adecuada instalación, se lleva a cabo el mantenimiento del equipo y se opera según las instrucciones estipuladas en este documento, la máquina no presentara problemas de ningún tiempo y un buen funcionamiento.

### **Instalación y uso**

El operario debe ser responsable de la instalación y uso del equipo de plasma de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Si se detectan disturbios electromagnéticos, será la responsabilidad del operario resolver la situación ya que fue instruido en los posibles problemas de la máquina, si existe otro problema no especificado en el manual contactar con el fabricante.

En algunos casos la acción para remediar el problema de interferencia, suele la mala conexión a tierra al circuito de corte, ver la toma a tierra de la pieza de trabajo. En otros casos puede consistir en la construcción de una pantalla electromagnética para proteger tanto la fuente de energía como el trabajo, incluyendo filtros de entrada. En todos los casos los disturbios electromagnéticos deben reducirse a un nivel en que ya no sean problemáticos.

Todas las cubiertas y paneles del tablero y la cortadora deben estar cerradas y correctamente ajustadas durante la operación de corte. El intervalo de chispa del encendido del arco y los dispositivos estabilizadores deben ajustarse y mantenerse de acuerdo a lo recomendado en las tablas.

Verificar que las bandas se encuentren tensadas y no estén colgadas o descarriladas, realizar el ajuste de los sujetadores mediante un destornillador de estrella. Revisar que no hay cables salidos en las canaletas y tampoco objetos que obstruyan a los mecanismos del porta cables y en los ejes X, Y.

El operario debe cerciorarse que no hay ninguna persona en el área de trabajo, antes de poner en funcionamiento la máquina, revisar el funcionamiento de los paros de emergencia, el ajuste de la altura de la antorcha.

## **SEGURIDAD.**

Los símbolos que se muestran en esta sección se utilizan para identificar los posibles peligros. Cuando vea un símbolo de seguridad en este manual o en su máquina, recuerde que existe la posibilidad de que se produzcan lesiones personales y siga las instrucciones correspondientes para evitar el peligro.

En este manual, la palabra ADVERTENCIA va seguida de instrucciones que, si no se siguen correctamente, pueden provocar lesiones e inclusive la muerte.

En este manual, la palabra PRECAUCIÓN va seguida de instrucciones que, si no se siguen correctamente, pueden provocar daños en el equipo.

### Riesgos

Los riesgos en el proceso de corte se agrupan en las siguientes categorías

Riesgo Físico.

Riesgo eléctrico.

Riesgo Químico.

Riesgo Físico.

Fuego y explosión: Debido a que utiliza un arco eléctrico la cual produce una mecha, llegando su núcleo a una temperatura de 10000°C. por lo cual se debe verificar que el material no contenga polvos o líquidos inflamables. Verificar el buen estado de las líneas de suministro del aire comprimido, así como sus

accesorios, ya que la presión de trabajo del equipo es de 4 bares, esto puede provocar daños al contacto al momento de su ruptura.

Quemaduras: Las piezas se encuentran en elevadas temperaturas, por lo cual se recomienda utilizar guante de cuero o fibra para evitar lesiones o quemaduras.

Manténgase alejado de la punta de la antorcha, aun después de varios minutos puede estar muy caliente.

Radiación: Los rayos del arco de plasma producen rayos intensos visibles e invisibles (ultravioleta e infrarrojo) que pueden quemar los ojos y la piel.

- Utilice protección para los ojos de conformidad con los códigos locales o nacionales aplicables.
- Colóquese protectores para los ojos (gafas o anteojos protectores con protectores laterales, y bien un casco de soldar) con lentes con sombreado adecuado para proteger sus ojos de los rayos ultravioleta e infrarrojos del arco.

Ruido: La exposición prolongada al ruido propio de las operaciones de corte y ranurado puede dañar la audición.

- Utilice un método de protección de los oídos aprobado al utilizar el sistema de plasma.
- Advierta a las demás personas que se encuentren en las cercanías acerca del peligro que supone el ruido excesivo.

Riesgo eléctrico.

El sistema trabaja con 2 voltajes, la cortadora trabaja con 220 VCA y el control electrónico con 120VCA. El contacto directo con piezas eléctricas conectadas puede provocar un electrochoque fatal o quemaduras graves.

Al hacer funcionar el sistema de plasma, se completa un circuito eléctrico entre la antorcha y la pieza a cortar. La pieza a cortar es una parte del circuito eléctrico, como también cualquier cosa que se encuentre en contacto con ella. Nunca toque el cuerpo de la antorcha o la pieza a cortar. Tome las siguientes medidas preventivas.



-Use guantes y botas aislantes y mantenga el cuerpo y la ropa secos.  
-No se siente, se pare o se ponga sobre cualquier superficie húmeda cuando esté trabajando con el equipo.

-Instale este equipo y conéctelo a tierra según el manual de instrucciones.  
-Inspeccione el cable de alimentación primaria con frecuencia para asegurarse de que no esté dañado ni agrietado.  
-No toque la pieza ni los recortes cuando se está cortando.

### Riesgo Químico.

Humo tóxico: El arco plasma es por sí solo la fuente de calor que se usa para cortar. Según esto, aunque el arco de plasma no ha sido identificado como la fuente de humo tóxico, el material que se corta puede ser la fuente de humo o gases tóxicos que vacían el oxígeno.



El humo producido varía según el metal que está cortándose. Metales que pueden liberar humo tóxico incluyen, pero no están limitados a, acero inoxidable, acero al carbón, cinc (galvanizado), y cobre.

Para reducir el riesgo de exposición a humo:

- Quite todos los recubrimientos y solventes del metal antes de cortar.
- Use ventilación extractora local para quitar humo del aire.
- No inhale el humo. Use una mascarilla y verifique la ventilación.

## **ESPECIFICACIONES**














A continuación, se muestra a bajo la ficha técnica de la máquina CNC cortadora por plasma.

FICHA TECNICA						
REALIZADO POR	ROBALINO			FECHA:	23/7/2018	
MÁQUINA-EQUIPO	Máquina CNC cortadora por plasma	UBICACIÓN	Taller			
FABRICANTE	EMR	SECCION	Corte			
MODELO	ARC188	CODICGO		AÑO FABR.		
MARCA	EMR	INVENTARIO	1		2018	
CARACTERISTICAS GENERALES						
ALTURA	ANCHO	PESO	LARGO	COLOR		
900 mm	1500 mm	76 Kg	2000 mm	Azul/negro		
CARACTERISTICAS TECNICAS			FOTO DE LA MÁQUINA-EQUIPO			
POTENCIA NOMINAL: 3,98 KW/ FUENTE DE ENERGIA 110/220 VCA/ FERCUENCIA 60Hz/Corte de espesor 1 a 10 mm / presión trabajo: 4,5 bar						
FUNCION						
REALIZAR COERTES DE MEDIANA COMPLEJIDAD A PLANCHAS METALICAS DE ACERO BAJO CARBON, ACERO INOXIDABLE ALUMINIO.						
FECHA MANTENIMIENTO					Hora de la parada	
Tipo de Mantenimiento	Causa de la Falla	Tiempo de la parada	hora puesta en marcha	OBSERVACIONES		

Según el manual de funcionamiento de la cortadora Powermax30, recomienda los siguiente.

### Símbolos IEC

Los siguientes símbolos pueden aparecer en la placa de datos de la fuente de energía, de las etiquetas de control, en interruptores y en los indicadores LED.

	Corriente directa (DC)		Fuente de energía con inversor
	Corriente alterna (AC)		Las características de la curva Volt/amp son de corriente constante
	Cortes con antorcha de plasma		El indicador luminoso LED muestra que la energía está encendida ("ON")
	Conexión de entrada de alimentación AC		La presión de gas de entrada está baja
	Toma para el conductor de protección (tierra) exterior		Consumibles faltantes o sueltos
	La energía está encendida		La fuente de energía se ha recalentado
	La energía está apagada		

-Para el control de la máquina se necesita una computadora, el cual debe estar instalada el programa Mach3, las características mínimas que debe tener el computador son:

- PC de escritorio (no se admiten computadoras portátiles ) con al menos un puerto paralelo
- Versión de **32 bits** de Windows 2000, Windows XP, Windows Vista o Windows 7 (las versiones de 64 bits no funcionarán)
- CPU de 1 GHz
- 512 MB de RAM
- Tarjeta de video no integrada con 32 MB de RAM (los archivos grandes con código G, especialmente los archivos 3D requerirán una tarjeta de video con 512 MB de RAM o más)

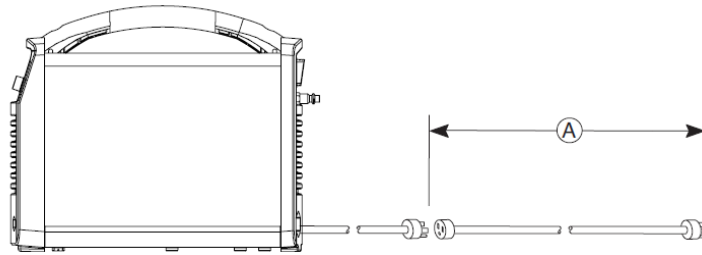
## INSTALACION.

Las conexiones para el funcionamiento de la máquina CNC se dividen en 3 grupos la parte eléctrica, neumática y la parte de control electrónico.

### Parte eléctrica.

Consiste en la alimentación de la cortadora a la línea de 220 VCA y la alimentación del tablero control electrónico de 120VCA.

Usar cable de extensión de tamaño apropiado para la longitud del cable y sistema de voltaje. Usar un cable que cumpla con códigos nacionales y locales.



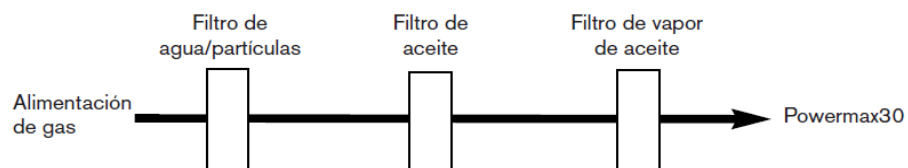
Voltaje de entrada	Fase	Tamaño recomendado para calibre de cable	Largo
120 VCA	1	4 mm <sup>2</sup> (12 AWG)	Hasta 16 m
200 – 240 VCA	1	2 mm <sup>2</sup> (14 AWG)	Hasta 40,5 m

### Parte neumática.

Puede ser comprimida en taller o comprimida en cilindro. Se debe usar un regulador de presión alta en ambos tipos de fuente de energía y debe ser capaz de dotar aire al filtro de la fuente de energía a 100 l/min a 4,5 bar. Para asegurar una presión adecuada a la fuente de energía, fije el regulador a 5,5 a 6,9 bar.

Conecte la fuente de aire comprimido al sistema usando una manguera de 9,5 mm de diámetro interno y con acople de conexión rápida 1/4 NPT, que tenga un acople rápido para la conexión de la manguera.

Se recomienda usar un sistema de filtración coalescente de 3 etapas, la cual consiste en la eliminación de agua, aceite y vapores de aceite como se indica en la figura de abajo:



### Parte electrónica.

-Para el funcionamiento de la parte electrónica se debe conectar el cable USB que va del tablero de control al CPU, este cable alimenta a la tarjeta de interfaz CNC.

- Para la comunicación del computador con la interfaz CNC, se utiliza un cable D25, el cable es de color blanco y contiene un conector Db25 el cual va conectado al puerto paralelo del CPU.



-Por último, se conecta el interruptor de encendido de la antorcha, el cual está en la parte frontal de la cortadora plasma, esta va conectada, mediante un cable de 2 hilos al relé de la interfaz del CNC. Este ayudara accionar la antorcha cuando comience el proceso de corte.

### **Funcionamiento.**

Para echar en marcha, por primera vez la máquina CNC se debe seguir los siguientes pasos:

- Encender la computadora e ingresar al software Mach 3.

- Conectar el cable USB que sale del tablero de control, al puerto USB de la Computadora.
- Conectar el cable Db25 que sale del tablero de control al puerto paralelo de la computadora.
- Encender el tablero de control mediante el selector de inicio.
- Conectar a la línea de alimentación de 110 VCA del tablero de control.
- Revisar e insertar la antorcha en la porta antorcha de la máquina, revisar el ajuste de la altura para el corte de la plancha metálica.
- Conectar la alimentación del equipo a la línea de 220 VCA. Encender el equipo cortador plasma.
- Conectar la manguera que alimenta de aire comprimido al equipo cortador plasma.
- Revisar y regular la presión de aire a 4,5 Bar.
- Revisar la conexión del puerto en el software, en la pestaña Configuraciones/ Port Setup/ Port Adress.
- Revisar el funcionamiento de los ejes con el teclado del computador y sus sistemas de seguridad. Bloque el equipo con el pulsador de emergencia.

### **Corte de una plancha metálica.**

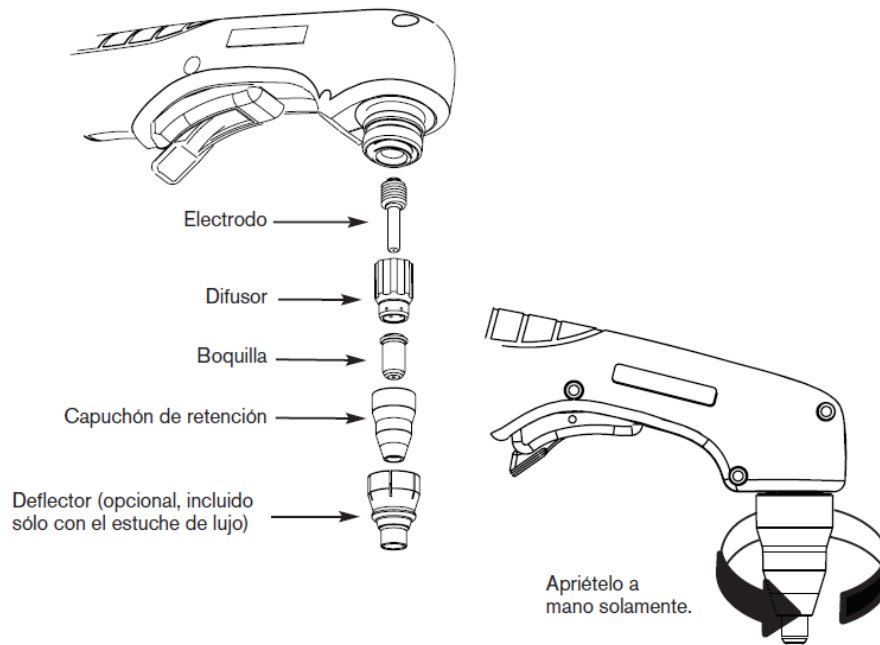
- Ingresar al software Mach3, ingresar Load G code y elija el archivo con los códigos G&M.
- Colocar en posición la plancha metálica sobre la mesa de corte, cuadre la plancha con el borde de la mesa.
- Desbloquear el paro de emergencia
- Posicionar la antorcha en el punto de inicio de corte de la plancha metálica, con la ayuda del teclado de dirección, pulse según lo necesario para posicionar.
- Regular la altura de la antorcha entre la boquilla y la plancha metálica, según las indicaciones del manual de la cortadora plasma.

- Seteo de la máquina dando clic en los ejes X, Y en el recuadro ZeroX y ZeroY. Esto indica a la máquina que se inicia en el punto cero de cada eje.
- Colocar la pinza de tierra de la cortadora en la plancha metálica a ser cortada.
- Dar Click en el recuadro de Cycle Start o Aplastar en el teclado (Alt-R).
- Cuando termine el ciclo la máquina apagará automáticamente la antorcha e indicará en la pantalla el fin del ciclo del programa. Si no programo la máquina para que se alejara de la pieza después del corte, mueva los ejes con el teclado de dirección.
- Active el paro de emergencia.
- Retire la pieza con cuidado y evite el contacto directo puede causar quemaduras por la temperatura de corte.
- Apague el equipo de cortador plasma, luego apague el tablero de control electrónico y salga del programa, este paso realizarlo si ya no va a realizar más cortes.

Según el manual de funcionamiento de la cortadora Powermax30, recomienda lo siguiente.

Para operar la antorcha de 30Amperios, se debe tener un juego completo de partes de consumibles instalado: un capuchón de retención, boquilla, difusor y electrodo. También se puede usar un deflector opcional.

Con el interruptor apagado, posición OFF (O), verificar que los consumibles de la antorcha estén instalados como aparecen.



Si la fuente de energía se recalienta porque se excede el ciclo de trabajo, el LED de temperatura se iluminará, el arco se apagará, y el ventilador seguirá funcionando. Para reanudar el corte, espere que se apague el LED de temperatura.

#### Fallas comunes de cortes

La antorcha no corta por completo la pieza en que se trabaja. Las causas pueden ser:

- La velocidad de cortar es demasiado rápida.
- Los consumibles están gastados.
- El metal que se corta es demasiado grueso.
- La abrazadera de trabajo no está bien adjuntada a la pieza que se va a cortar.

El arco chisporrotea y la durabilidad de los consumibles es menor que lo que se anticipaba.

Las causas pueden ser:

- Hay humedad en la fuente de gas.

#### **MANTENIMIENTO.**

A continuación, se detalla el mantenimiento que debe realizarse para la conservación y el buen funcionamiento de la máquina CNC cortadora por plasma.



## Plan de mantenimiento de la Máquina CNC Cortadora por Plasma

Parte	Actividad de mantenimiento	Insumo	Cantidad	Tiempo	Frecuencia	Observaciones
Estructura	Limpieza de las guías. Limpieza general	Guipe	1/4 libra	30 min	Diario	Limpiar antes de cada corte, las guías lineales
Bancada móvil eje Y	Lubricación de los patines	Grasa NLGI2	1gr/punto	6 min	Mensual	Existe 4 patines, se debe lubricar cada uno. Puede ser multi propósito
Transmisión	Inspección de las bandas dentadas			10 min	Trimestral	Revisar que no hay agrietamientos o deformaciones en la banda, realizar cambio si es necesario.
Bancada móvil eje X	Inspección de rodamientos	lana	1 u	5 min	semestral	Verificar que no haya holgura en los rodamientos
Transmisión	tensado de las bandas dentadas	destornillador	1 u	10min	Mensual	Si es necesario verificar el ajuste de la banda
Antorcha	Inspección limpieza de los consumibles	cepillo metálico	1 u	5min	diario	Realizar esta actividad antes de cortar.
Antorcha	Cambio de la boquilla	boquilla	1 u	2 min	según necesidad	Según el espesor se desgasta mas rápido la boquilla.
Antorcha	Cambio de la boquilla	electrodo	2 u	2min	según necesidad	Según el espesor se desgasta más rápido la boquilla.
Motores	Revisar el desgaste de las poleas			20 min	Anual	
Motores	Chequear la condición del motor			1	Anual	Medir la resistencia de las bobinas
Transmisión	cambio de banda dentada	banda dentada	6 m	1h	2400 horas	
Línea de aire	Revisar y purgar los filtros.			5min	Semanal	

Tablero de control eléctrico	reajuste de borneras de las terminales de conexión	destornillador	1 u	30 min	Anual	
Revisado:				Aprobado:		

### Posibles Fallas de funcionamiento y sus causas.

Nº	Falla	Causa
1	Al cortar un círculo esta no tiene la forma correcta.	-Revisar Compensación de herramienta de giro en el software. -Revisar y comprobar la calibración del número de pasos por vuelta del motor.
2	La máquina no se activa	Revisar si algún paro de emergencia está activado o final de carrera.
3	No se activa la antorcha al momento de realizar el corte.	-Revisar si está encendida la cortadora plasma. Revisar si está conectado el interruptor de la cortadora al tablero de control.
4	Los cortes no son exactos.	-Revisar el tensado de las bandas. -Revisar el número de pasos en el software. -Revisar el estado de las guías, realizar la limpieza.
5	Se detuvo la máquina en medio proceso de corte.	-Revisar fuente de energía si se desconectó. -Revisar si el equipo está a una toma de tierra.
6	Los cortes no son continuos.	-Revisar el estado de la boquilla y el electrodo. -Revisar la presión del aire y el sistema de filtrado.