



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la**

**Producción**

"Diseño de una Máquina Cortadora por Plasma CNC"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la Obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Kevin Daniel Mirallas Secaira

Pedro Jonathan Portes Rojas

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos primero a Dios por mantenernos con vida y salud, a nuestros padres, amigos, compañeros y familiares por su apoyo incondicional.

A cada uno de los profesores de la ESPOL que han contribuido para nuestra formación académica y profesional, en especial al Ing. Manuel Helguero G. quien ha contribuido con su experiencia en diseños de máquinas para la ejecución del presente proyecto y al M.Sc. Jorge Marcial quien propuso el tema del proyecto y aportó en el proceso de formación del proyecto.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Kevin Daniel Mirallas Secaira

Pedro Jonathan Portes Rojas


M.Sc. Jorge Medardo Marcial Hernandez

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP.



Kevin Daniel Mirallas S.



Pedro Jonathan Portes R.



M.Sc. Jorge Medardo Marcial H.

## RESUMEN

En pequeños y medianos talleres de metalmecánica existe la necesidad de cortar piezas con geometrías complejas, obteniendo un buen acabado en el corte. Actualmente el plasma se lo utiliza 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 máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) está en desarrollo, se propone elaborar el diseño de una máquina CNC de corte por plasma que se la pueda construir localmente.

La metodología de diseño empleada consiste en una etapa de diseño conceptual, en la que se identificaron las variables iniciales y luego fueron comparadas en función de sus características más relevantes para una selección, lo cual permitió el desarrollo de los distintos diseños de formas. La segunda etapa consiste en el diseño detallado, en la que se dimensionaron los distintos componentes que conforman toda la máquina, mediante el uso de ecuaciones de diseño mecánico (diseño de ejes, selección de rodamientos, elementos de transmisión de potencia, etc.), sin dejar a un lado la seguridad del operador. El sistema de control consistió en la selección de los componentes en función de las variables involucradas y el diseño detallado de la máquina.

La capacidad de diseño de la máquina cortadora por plasma CNC es para planchas de acero al carbono con dimensiones máximas de 1220x1220 *mm* y espesor máximo de diseño de 12, 7 *mm* (desde 0,5 *mm*) para un ciclo de trabajo del 100% del equipo plasma (10 minutos de corte continuo). El control numérico implementado en la máquina se encarga de posicionar a la herramienta de corte con precisión, de controlar el encendido y apagado del equipo plasma y mantener una altura uniforme entre la pieza de trabajo y la antorcha.

El diseño de la máquina cortadora por plasma CNC es factible construirlo dentro del país, considerando que los componentes importados representan del total de las partes de la máquina el 9,2% en cantidad y el 20% del costo.

### **Palabras Clave:**

Corte plasma, máquina CNC, capacidad de diseño

## **ABSTRACT**

*In small and medium metal mechanic workshops there's the need to cut parts with complex geometries, getting a nice finish on the cut. Currently the plasma is used manually, which directly contributes in the increase of the production cycles and dependency among man/machine on obtaining a finish on the cut.*

*Nationally the industries who engaged in the production machines CNC (Computer Numerical Control) is under development, proposing to develop the design of a CNC plasma cutting machine that it can be built locally.*

*The design methodology employed consist of a conceptual design stage, where the initial variables were identified and compared in function of its most relevant characteristics for a selection, which allowed the development of different designs forms. The second stage consists in the detailed design, where were sized various components that comprise the entire machine, by use of mechanical design equations (like shaft design, selection of bearings, power transmission elements, etc.) without overlooking the operator safety. The control systems consisted in the selection of components in function of the variables involved and the detailed design of the machine.*

*The design capacity of the CNC plasma cutting machine covers carbon steel plates with maximum dimensions of 1220x1220 mm and maximum design thickness of 12,7 mm (since 0,5 mm) for a duty cycle of 100% of the plasma equipment (10 minutes continuous cutting). The numerical control implemented in the machine is in charge of position the cutting tool with precision, controlling the on and off of the plasma equipment and maintain a uniform height between the workpiece and the torch.*

*The design of the CNC plasma cutting machine is feasible to build in the country, considering that the imported components are 9,2% in quantity and 20% of the cost of the all machine's parts.*

### **Keywords:**

*Plasma cutting, CNC machine, design capacity*

# INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ABSTRACT .....	III
ÍNDICE GENERAL .....	IV
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Descripción del problema .....	1
1.2. Objetivos	
1.2.1. Objetivo General .....	1
1.2.2. Objetivos específicos .....	1
1.2.3. Especificaciones y requerimientos .....	2
1.2.4. Alcance del Proyecto .....	3
1.3. Marco Teórico	
1.3.1. Principios del corte por plasma .....	3
1.3.2. Elementos utilizados en el corte por plasma .....	4
1.3.3. Máquinas herramientas CNC .....	4
1.3.4. Características de una máquina plasma CNC .....	5
1.3.5. Seguridad al operar máquinas herramientas .....	6
CAPÍTULO 2	
2. METODOLOGÍA DE DISEÑO	
2.1. Diseño conceptual	
2.1.1. Parámetros iniciales .....	7
2.1.2. Elementos de la máquina cortadora por plasma CNC .....	13
2.1.3. Sistema de Control.....	14

2.2. Diseño Detallado	
2.2.1. Metodología de diseño.....	17
2.2.2. Selección del equipo plasma .....	18
2.2.3. Diseño del componente para la sujeción de la antorcha (Z) .....	19
2.2.4. Diseño del componente de guiado lineal transversal (X) .....	35
2.2.5. Diseño del componente de guiado lineal longitudinal (Y).....	48
2.2.6. Diseño de la mesa de trabajo .....	56
2.2.7. Implementación del sistema de control .....	57
2.3. Estudio de Costo .....	64

## CAPÍTULO 3

### 3. RESULTADOS

3.1. Características mecánicas.....	73
3.2. Características estructurales .....	73
3.3. Características dinámicas.....	73
3.4. Características de corte.....	74
3.5. Características eléctricas.....	74
3.6. Características electrónicas.....	74
3.7. Características del software CAD/CAM .....	74
3.8. Características de seguridad .....	74
3.9. Características de mantenimiento .....	75

## CAPÍTULO 4

### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Conclusiones .....	76
4.2. Recomendaciones .....	77

BIBLIOGRAFÍA.....	78
-------------------	----

APÉNDICES.....	80
----------------	----

PLANOS ESQUEMÁTICOS

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CAM	Fabricación Asistida por Computadora
CNC	Control Numérico computarizado
THC	Torch Height Control
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
NEMA	National Electrical Manufacturers Association



## SIMBOLOGÍA

V	Voltios
mm	Milímetros
A	Amperaje
Oz	Onzas
In	Pulgadas
t	Tiempo
min	Minutos
°	Grados
kg	Kilogramos
Km	Kilómetros
$mm^2$	Milímetros cuadrados
$m_i$ :	Masas
$W_i$	Pesos.
$P_i; F$	Cargas
[N]	Newton
$\sigma_{max}$	Esfuerzo normal máximo
M	Momento flector
$M_{max}$	Momento flector máximo
C	Distancia más alejada desde del eje neutro
I	Momento de inercia del área
r	Radio
$\pi$	Pi
$S_y$	Esfuerzo de fluencia
FS	Factor de seguridad
MPa	Mega pascales
d	Diámetro
DI	Diámetro interior
OD	Diámetro exterior.
E	Módulo de Young
GPa	Giga pascales
$S_R$	Razón de Esbeltez
$(S_R)D$	Punto de tangencia en SR
$S_{yC}$	Esfuerzo de fluencia a la compresión
A	Área
$mm^4$	Milímetros a la cuarta
K	Radio de giro
$L_{efectiva}$	Longitud efectiva de la columna
$P_{cr}$	Carga unitaria crítica.
$P_{permisible}$	Carga permisible
$T_u$	Torque total para levantar la carga

$T_{su}$	Torque requerido para elevar la carga
$T_C$	Torque requerido para girar el collarín de empuje
$d_p$	Diámetro de paso
$\mu$	Coefficiente de fricción
$d_{avance}$	Avance de la cuerda
N-mm	Newton milímetro
$T_d$	Torque total para bajar la carga
$T_{sd}$	Torque requerido para bajar la carga
$e_{su}$	Eficiencia.
$F_r$	Carga radial
$F_a$	Carga axial
N	Revoluciones por minuto rpm
$P_a$	Carga dinámica equivalente para rodamientos axiales
$P_r$	Carga dinámica equivalente para rodamientos radiales
$C_a$	Capacidad básica de carga dinámica para rodamientos axiales
$C_r$	Capacidad básica de carga dinámica para rodamientos radiales
$L_{10h}$	Vida nominal básica $10^6$ revoluciones
$C_{oa}$	Capacidad básica de carga estática rodamiento axiales
$C_{or}$	Capacidad básica de carga estática rodamiento radiales
$S_0$	Factor de seguridad
$P_{or}$	Carga estática equivalente para rodamientos radiales
$P_{oa}$	Carga estática equivalente para rodamientos axiales
F'	Fuerza primaria
F''	Fuerza secundaria
$r_i, r_j$	Radio desde el centroide
$\eta$	Factor de seguridad contra falla cortante estática
$S_{sy}$	Resistencia mínima de fluencia por cortante
$\tau$	Esfuerzo cortante
$\sigma_{AP}$	Esfuerzo por aplastamiento.
$e_{menor}$	Espesor menor o del material más débil
$\eta_{AP}$	Factor de seguridad de aplastamiento
$y_{max}$	Deflexión máxima
L	Vida nominal [km]
$L_h$	Vida nominal [horas]
$f_H$	Factor de dureza del eje
$f_T$	Factor de temperatura
$f_c$	Factor de contacto
$f_w$	Factor de carga
$n_s$	Frecuencia de carrera
$f_s$	Coefficiente de seguridad estático
$M_{ta}$	Par de arrastre para la transformación del movimiento de rotación en movimiento lineal.

S	Módulo de la sección
$T_{diseño}$	Torque de diseño
$T_{nominal}$	Torque nominal

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Procesos de generación de arco eléctrico (energía eléctrica) y plasma (energía térmica).....	3
Figura 1.2	Sección de una boquilla para cortadora plasma CNC.....	4
Figura 1.3	Flujo de corriente desde la fuente por el transformador y rectificador hasta el electrodo.....	4
Figura 1.4	Interacción entre el computador y máquina herramienta.....	5
Figura 1.5	Aplicaciones como ductos, partes de máquinas, y piezas decorativas.....	5
Figura 2.1	Espesores de corte recomendado para los dos equipos plasma a comparar.....	12
Figura 2.2	Diseño detallado de la máquina cortadora por plasma CNC.....	16
Figura 2.3	Aplicaciones más comunes en corte plasma.....	18
Figura 2.4	Componente vertical Z con sus partes.....	19
Figura 2.5	Piezas para el sistema de sujeción de la antorcha.....	19
Figura 2.6	(a) Modelo de análisis de junta empernada sometida a cortante (R. L. Norton), (b) Esquema para análisis de pernos de sujeción de la antorcha.....	20
Figura 2.7	Esquema de fuerzas que actúan en el sistema de guías del eje Z...	22
Figura 2.8	Husillo de bolas del sistema Z con esquema de la carga a subir y bajar.....	26
Figura 2.9	Líneas de falla en una columna de Euler, de Johnson y corta según R. L. Norton-cap. 2 esfuerzo, deformación unitaria y deflexión.....	27
Figura 2.10	Esquema de fuerza sobre rodamientos axiales en el husillo de bolas eje Z.....	29
Figura 2.11	Esquema de fuerzas aplicadas en la sujeción de los bloques topes de las guías y el husillo de bolas , eje Z.....	31
Figura 2.12	Esquema de fuerzas en la junta empernada del ensamble entre componentes Z y X.....	34
Figura 2.13	Ensamble del componente vertical Z con el componente transversal X.....	35
Figura 2.14	Esquema de fuerzas sobre el sistema de guiado del eje X.....	36
Figura 2.15	Rodamiento lineal usado en cada eje guía del sistema X.....	40
Figura 2.16	Factor de dureza del eje, catálogo NTN-SRN: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.....	41
Figura 2.17	Factor de temperatura, catálogo NTN-SRN: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.....	41
Figura 2.18	Factor de corrección para el $C_r$ , catálogo NTN-SRN: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.....	43
Figura 2.19	Esquema de fuerzas aplicada en el husillo de bolas eje X.....	44
Figura 2.20	Esquema de fuerzas sobre rodamientos radiales del husillo de bolas eje X.....	47

Figura 2.21	Sistema de guiado para el eje Y, conjuntamente ensamblado los componentes X y Z.....	48
Figura 2.22	Detalles del ensamble del conjunto rulinas para el sistema de guiado Y.....	49
Figura 2.23	Esquema de distribución de las carga sobre las guías.....	49
Figura 2.24	Distribución de fuerzas sobre cada rodamiento.....	49
Figura 2.25	Esquema de fuerzas sobre la guía del eje Y.....	50
Figura 2.26	Esquema de fuerzas en junta empernada sometida a cortante del perfil guía de las rulinas.....	52
Figura 2.27	Esquema de fuerzas sobre el husillo de bolas del eje Y.....	55
Figura 2.28	(a) Mesa de trabajo, (b) Distribución de cargas.....	56
Figura 2.29	Simulación estructural de la deformación de la mesa de trabajo.....	56
Figura 2.30	Análisis de tensión en los elementos de la mesa de trabajo.....	57
Figura 2.31	Interacción de control entre usuario y equipo plasma.....	57
Figura 2.32	Guardas de protección.....	62
Figura 2.33	Software de diseño CAD comúnmente usados.....	63
Figura 2.34	Software de envío y generación de código G.....	63
Figura 2.35	Equipo plasma CNC de procedencia China.....	71
Figura 2.36	Equipo plasma CNC de procedencia Norteamericana.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Aplicaciones del corte por plasma.....	7
Tabla 2.2	Voltajes de entrada para fuentes de alimentación.....	9
Tabla 2.3	Tipos de equipos plasma.....	10
Tabla 2.4	Gases para el corte plasma frecuentemente usados.....	11
Tabla 2.5	Elementos para transmisión de potencia.....	13
Tabla 2.6	Sistemas de guiados más comunes.....	14
Tabla 2.7	Actuadores eléctricos rotatorios.....	15
Tabla 2.8	Velocidades de avance recomendados según catálogo equipo plasma.....	40
Tabla 2.9	Factor de contacto, catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.....	42
Tabla 2.10	Factor de carga, catálogo NTN-SRN: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.....	42
Tabla 2.11	Recomendaciones para FS de acuerdo a las condiciones de funcionamiento, catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.....	44
Tabla 2.12	Catálogo NTN-Rodamientos de bolas y de rodillos N0. 2202-VII/S.....	51
Tabla 2.13	Valores mínimos de factor de seguridad So., catálogo NTN-Rodamientos de bolas y de rodillos No. 2202-VII/S.....	52
Tabla 2.14	Factores de aplicación, catálogo Lovejoy coupling solutions.....	58
Tabla 2.15	Datos de desempeño de la junta elastomérica, catálogo Lovejoy coupling solutions.....	59
Tabla 2.16	Valores de torque recomendados para diferentes materiales de elastómeros, y determinar el tamaño del acople.....	60
Tabla 2.17	Selección del número UPC para el tipo de junta elastomérica.....	60
Tabla 2.18	Selección de la serie de la mordaza con el número UPC del elastómero y diámetro del agujero del eje.....	60
Tabla 2.19	Costos de la materia prima de la mesa de trabajo.....	64
Tabla 2.20	Costos del sistema de guiado lineal longitudinal (eje Y)-conjunto de rulas.....	65
Tabla 2.21	Costo del sistema de guiado lineal longitudinal (Y)-accionamiento.....	66
Tabla 2.22	Costos del sistema de guiado lineal transversal (X).....	67
Tabla 2.23	Costos del sistema de sujeción de la antorcha.....	68
Tabla 2.24	Costos de consumibles involucrados en el diseño de la máquina... ..	69
Tabla 2.25	Costos de sistemas mecánicos de protección.....	69
Tabla 2.26	Costos de los componentes electrónicos para el control numérico y del equipo plasma.....	70
Tabla 2.27	Costos de mano de obra directa involucrados en la fabricación.....	70
Tabla 2.28	Costos de mano de obra indirecta, ingeniería del diseño.....	70

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1.	Máquina cortadora por plasma.
Plano 2.	Conjunto sistema sujeción antorcha (Z).
Plano 3.	Partes (1)-Conjunto sujeción antorcha.
Plano 4.	Partes (2)-Conjunto sujeción antorcha.
Plano 5.	Partes (3)-Conjunto sujeción antorcha.
Plano 6.	Conjunto componente de guiado lineal transversal (X).
Plano 7.	Bloque Y-motor.
Plano 8.	Bloque Y.
Plano 9.	Bloque tuerca husillo de bolas (X).
Plano 10.	Partes del componente transversal X.
Plano 11.	Conjunto componente de guiado lineal longitudinal (Y).
Plano 12.	Esquinas soporte chumacera.
Plano 13.	Sistemas de rulinas.
Plano 14.	Partes del sistema longitudinal.
Plano 15.	Conjunto mesa de trabajo.
Plano 16.	Mesa de trabajo.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Descripción del problema

En pequeños y medianos talleres de metalmecánica existe la necesidad de cortar piezas con geometrías complejas, obteniendo un buen acabado en el corte.

En la actualidad el oxicorte y corte por plasma son los métodos de corte comúnmente empleados, pero 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 esta en desarrollo, por lo que se propone elaborar el diseño de una máquina CNC que use como herramienta de corte plasma para ser construida localmente.

### 1.2. Objetivos

#### 1.2.1. Objetivo General

Diseñar una máquina CNC de corte por plasma que sea confiable, de fácil mantenimiento, segura, económicamente accesible para nuestro país y que se la pueda construir empleando materiales disponibles en el mercado local.

#### 1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer las dimensiones de la máquina CNC cortadora por plasma de acuerdo a las aplicaciones a desempeñar en los talleres industriales.
- Determinar los parámetros más importantes en el proceso de corte de las planchas metálicas, para seleccionar el equipo plasma adecuado.
- Realizar el diseño de forma y el respectivo diseño detallado de la máquina cortadora por plasma CNC: lo cual incluye la determinación de dimensiones, sistemas mecánicos-motrices y selección de materiales.
- Diseñar el sistema de sujeción de la antorcha, considerando el factor de ensamble y seguridad.
- Diseño de los mecanismos de desplazamientos en las direcciones X, Y y Z (ver figura 2.1.).
- Seleccionar un software para el envío del código G (lenguaje de construcción) que sea compatible con el software utilizado para el



control de altura y encendido de la antorcha (sistema THC-control de la altura de la antorcha).

- Verificar la compatibilidad entre los software CAD (Diseño Asistido por Computadora) y CAM (Fabricación Asistida por Computadora) con el software utilizado para el envío del código G.
- Seleccionar los componentes de control en base a cada uno de los softwares utilizados.
- Realizar los planos de construcción del diseño de la máquina cortadora por plasma CNC.
- Integrar los conocimientos adquiridos en la carrera acerca del diseño de máquinas, procesos de mecanización y contribuir con el cambio de la Matriz Productiva.

### **1.2.3. Especificaciones y requerimientos**

Se requiere construir piezas de geometría compleja mediante corte por plasma CNC usando como material base planchas metálicas con dimensiones máximas de 1220x2440 mm, lo cual corresponde a dimensiones de planchas comerciales.

Las planchas metálicas a considerar son materiales conductores de electricidad tales como: acero dulce, acero galvanizado, acero inoxidable y aluminio, con el propósito de obtener un excelente acabado superficial en el corte.

La implementación del sistema CNC nos permitirá mecanizar geometrías complejas en un ciclo de trabajo rápido, con precisión en la forma y dimensiones finales.

El sistema mecánico de la cortadora por plasma CNC debe ser de fácil instalación y mantenimiento, considerando los factores de disponibilidad y confiabilidad en la producción.

Los softwares CAD, CAM y el seleccionado para el envío del código G deben brindar al operador una plataforma de sencilla interacción para facilitar el funcionamiento de la máquina CNC.

Se debe implementar sistemas de seguridad para precautelar la integridad del operador, de igual manera proteger al equipo contra factores como humedad, polvo, salpicadura de aceite y residuos generados durante el proceso de corte y algunos factores medios ambientales existentes durante el funcionamiento de la máquina.

Lograr que el diseño final de la máquina CNC sea agradable a la vista e innovador.

#### 1.2.4. Alcance del Proyecto

El diseño de forma 3D, planos de construcción y análisis estructural del equipo se realizarán mediante el uso del software de diseño digital Inventor 2015.

Con el análisis estructural se comprobará la resistencia de la estructura principal y mesa de trabajo. Además con los resultados obtenidos de torque se realizará la selección adecuada de los actuadores en conjunto con los componentes electrónicos y software necesarios para su control.

Finalmente se desarrollará el análisis económico correspondiente estimando un costo total de la máquina y la rentabilidad de construirla dentro del país.

### 1.3. Marco Teórico

#### 1.3.1. Principios del corte por plasma

El corte por plasma está conformado por el proceso térmico, en donde se aplica una gran cantidad de energía en forma de calor sobre la pieza de trabajo logrando fundir el material; y en el proceso eléctrico, en donde se efectúa la transformación de la energía eléctrica en energía térmica, que además conduce esta energía desde la fuente hacia una pieza de trabajo conductora de electricidad.



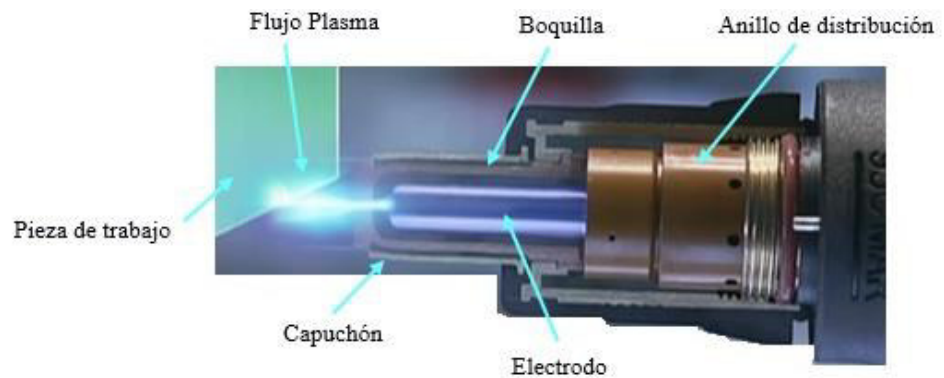
*Figura 1.1 Proceso de generación de arco eléctrico (energía eléctrica) y plasma (energía térmica).*

Los parámetros como la velocidad a la que se genera y transfiere el plasma hacia la pieza de trabajo es de aproximadamente el doble de la magnitud de la velocidad del sonido 2000 Km/h, y las temperaturas alcanzadas superan los 10000 °C, duplicando la temperatura de la superficie del sol 5504 °C. Estos parámetros son los que otorgan la gran precisión en el corte y acabado de la superficie en la pieza de trabajo.

El estado plasma se produce al incrementar la temperatura mediante la generación de un arco eléctrico en medio de un flujo de gas a elevadas presiones.

### 1.3.2. Elementos utilizados en el corte por plasma

La herramienta de corte es el flujo de plasma generado por el arco eléctrico que es producido en el instante en el cual se alimenta con 110 o 220 V de AC al transformador y para luego pasar por un rectificador de la máquina plasma cambiando el voltaje a DC, y finalmente esta corriente es conducida hasta un electrodo dentro de una boquilla. Para generar el arco eléctrico se necesita de dos partes conductoras de electricidad, el electrodo con carga negativa y los lados de la boquilla con carga positiva. Este arco eléctrico se transforma en un estado con gran cantidad de energía llamado plasma, al usar un gas plasmágeno que tiene la capacidad de generar el arco plasma a partir de un arco eléctrico. Para poder transferir el arco plasma se necesita de un flujo del mismo gas a gran presión y que la pieza de trabajo sea conductora de electricidad con carga positiva.



*Figura 1.2 Sección de una boquilla para cortadora plasma CNC.*



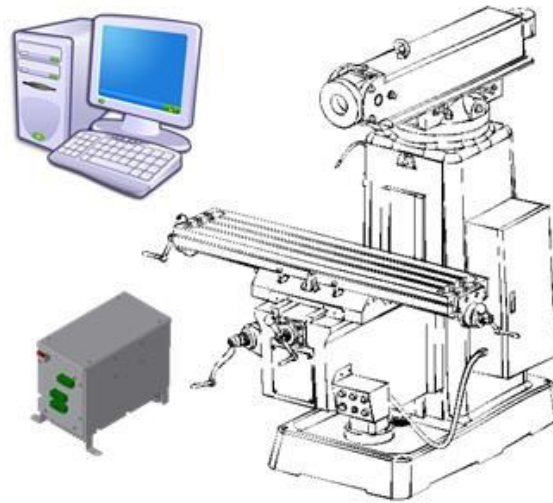
*Figura 1.3 Flujo de corriente desde la fuente por el transformador y rectificador hasta el electrodo.*

### 1.3.3. Máquinas herramientas CNC

Las máquinas herramientas CNC data de los años 50 con origen en MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts) donde se automatizó una fresadora. La tecnología de las computadoras actuales es relativamente más avanzada, permitiendo su uso en las máquinas herramientas con métodos de eliminación de material como arranque

de viruta, electroerosión, estampado y corte, esta interacción entre máquinas es lo que se conoce como CNC.

Las máquinas herramientas CNC para la construcción de las piezas utilizan un código G que se lo puede hacer manualmente o generarlo en un software CAM a partir del CAD 3D.



*Figura 1.4 Interacción entre computador y máquina herramienta.*

#### **1.3.4. Características de una máquina plasma para CNC**

Existen dos tipos de máquinas para corte por plasma, la máquina manual o convencional y la máquina mecanizada. Una máquina mecanizada permite un control CNC y/o manual, lo cual amplía el número de aplicaciones en el corte por plasma.

Dentro de las aplicaciones más comunes desempeñadas con el corte por plasma tenemos las siguientes: corte, corte de separación, ranurado y biselado. Estas aplicaciones con un equipo plasma convencional requieren de habilidades del operador y recursos extras (plantillas, compas, etc.); mientras que con un equipo plasma para control CNC (mecanizado) otorga facilidades y precisión en la fabricación de piezas de geometría compleja.



*Figura 1.5 Aplicaciones como ductos, partes de máquinas, y piezas decorativas.*

- La máquina plasma mecanizada se la puede utilizar para el corte manual y corte con control CNC.
- Al seleccionar una máquina para CNC se deberán considerar factores como el espesor del metal a cortar, la distancia entre la pieza de trabajo y la antorcha, el tipo de gas plasmágeno y los métodos de inicio de corte, ya sea, desde el borde o por perforación.

### **1.3.5. Seguridad al operar máquinas herramientas**

Se considera una máquina como un conjunto de elementos mecánicos utilizados en la transformación de energía durante su funcionamiento.

El operar máquinas herramientas involucra la participación del hombre con la máquina en distintos niveles, efecto que es primordial al momento de tomar las medidas para precautelar la integridad del usuario

Riesgos como: corte, perforación, mutilación, atrapamiento, impactos, etc.; son comúnmente provocados por la pieza de trabajo o incorrecta manipulación de partes de la máquina herramienta.

Los tipos de implementos de seguridad existentes son:

- Resguardo fijo (elementos permanentes en la máquina herramienta como barandas y puertas de vidrio templado)
- Resguardo móvil (elementos de fácil remoción una vez finalizada la operación de la máquina)
- Resguardo con sensores (El sistema de control de la máquina actúa hasta que se completen todas las acciones programadas para el resguardo del usuario, tales como dispositivos de enclavamientos para no iniciar hasta que se cierre la puerta)

Al comenzar a utilizar cualquier máquina herramienta se debe leer el manual de seguridad y antes de accionar cualquier tipo de operación se debe verificar que tanto las protecciones exteriores se encuentre en buen estado como el material base asegurado. El uso de los respectivos EPP (Equipo de protección personal) es asociado a la tarea a efectuar con la máquina herramienta.

-Protección a la cabeza: casco.

-Protección ocular: gafas.

-Protección de las manos: guantes.

-Protección de los pies: botas.

-Protección auditiva; tapones.

Otros aspectos que se debe tomar en cuenta son las medidas de seguridad recomendadas por el fabricante del equipo plasma, detallados en el respectivo manual y normas de seguridad como la ANSI Z49.1 (Seguridad en soldar, cortar y procesos relacionados).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

### 2.1. Diseño conceptual


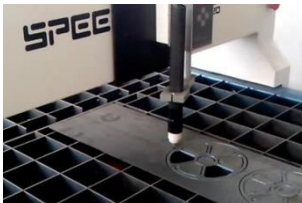
#### 2.1.1. Parámetros Iniciales

Existen un sin número de equipos plasma, la selección de cada uno de ellos está en la necesidad y capacidad que se tenga. Para la selección de la máquina plasma se consideró el rango de espesores de corte, la fuente de alimentación, el máximo espesor a cortar, los materiales a cortar y el factor de utilización.

#### Rango de espesores

Las aplicaciones para la cual será utilizada la máquina plasma definen directamente los espesores necesarios a cortar, estas se muestran en la Tabla 2.1.

*Tabla 2.1 Aplicaciones del corte por plasma.*

Aplicación	Corte convencional	Corte mecanizado
 <p><b>Ductos</b></p>	<p>Se requiere de implementar una plantilla para el trazado manual. Implica mayor inversión de tiempo e intervención hombre-máquina</p>	<p>Se requiere del CAD para cargarlo en el programa de corte. Los tiempos de fabricación mejoran, incrementando la producción, y el factor hombre-máquina disminuye.</p>
 <p><b>Precisión en piezas</b></p>	<p>La precisión se ve afectado por la destreza del operador</p>	<p>La selección de los parámetros y operaciones de corte definen la precisión</p>
	<p>La destreza y capacidad del operador, más el tiempo y precisión requeridos</p>	<p>La creatividad de los diseños pueden ser plasmados en un CAD y programados en la Cortadora CNC.</p>

	<p>imposibilitan la fabricación de este tipo de piezas manualmente</p>	<p>Los tiempos y la producción son factibles para la realización de estas piezas con este método de corte.</p>
	<p>El tiempo empleado para la fabricación, desde la preparación hasta la producción es cuantioso</p>	<p>Para la producción en serie de este tipo de piezas es ventajoso este método de corte</p>
	<p>Factible de realizar</p>	<p>Factible de realizar</p>
	<p>La destreza del operador es fundamental, para mantener el ángulo de incidencia del arco plasma.</p>	<p>Diseño de la sujeción de la antorcha que le permita cambiar el ángulo de incidencia del arco plasma.</p>
	<p>La destreza del operador proporciona la cavidad adecuada.</p>	<p>Diseño de la sujeción de la antorcha que le permita cambiar el ángulo de incidencia del arco plasma.</p>

Las aplicaciones que más desempeñará nuestra máquina plasma CNC son las descritas en la Tabla 2.1, a excepción de los biselados y acanalados, que requieren de una implementación de cambio del ángulo de incidencia del arco plasma. En función de estas aplicaciones estaremos en la capacidad de


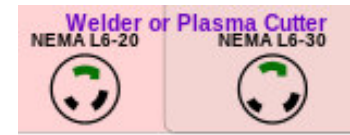
realizar cortes hasta 12,7 mm de espesor en acero. Existiendo la posibilidad de cortar espesores mayores y varios materiales, pero variando el ciclo trabajo.

### Alimentación e intensidad máxima

Los voltajes de entrada de las fuentes de alimentación están relacionados con el tipo de equipos plasma: fuentes desde 120V hasta 600V monofásicas o trifásicas para los equipos plasma manuales; y desde los 200V hasta 600V trifásicas para equipos plasma mecanizados.

A continuación se realizará la comparación de las dos fuentes de alimentación disponible en talleres industriales. Ver tabla 2.2.

*Tabla 2.2 Voltajes de entrada para fuentes de alimentación.*

Criterio	Fuente de Alimentación	
	Alternativa 1	Alternativa 2
<b>Voltaje de alimentación</b>	110 V 	220 V 
<b>Factibilidad de conexión</b>	Disponible en cualquier lugar	Requerido en talleres industriales
<b>Corriente de salida</b>	Menor rango amperaje	Mayor rango amperaje
<b>Espesores de corte</b>	Menores	Mayores
<b>Calidad del corte</b>	Buena	Excelente
<b>Capacidad de corte manual</b>	Aplica	Aplica
<b>Capacidad de corte mecanizado</b>	No aplica	Aplica

Teniendo presente la utilidad de una toma 220V en los talleres industriales, se optó por la alternativa 2 debido a la excelente calidad en el corte y la capacidad para poder realizar un corte mecanizado.





## Factibilidad CNC

Definidas las aplicaciones y el espesor a cortar, se selecciona el tipo de antorcha que permita realizar un corte mecanizado con el mejor rendimiento en función de sus cualidades.

Los dos tipos de equipos plasma influirán en la selección del tipo de antorcha. Ver tabla 2.3.

*Tabla 2.3 Tipos de equipos plasma.*

Criterio	Equipo Plasma	
	Convencional	Mecanizado
<b>Control CNC</b>	Se debe implementar	Incorporado
<b>Tiempo de corte en geometrías complejas</b>	Mayor	Menor
<b>Tipos de antorchas</b>	Manual 	Manual y mecanizado 
<b>Interacción hombre/máquina.*</b>	100%	<75%
<b>Espesores de corte</b>	Mayor	Menor
<b>Calidad del corte</b>	Buena	Excelente
<b>Capacidad de corte manual</b>	Aplica	Aplica
<b>Capacidad de corte mecanizado</b>	No aplica	Aplica
<b>Precio</b>	Menor	Aproximadamente un 25% mayor

\* Tomando como referencia a un corte normal, para aplicaciones con cortes de precisión la opción manual no es factible de realizar.

Las cualidades del equipo de plasma mecanizado, lo hace el más adecuado para el uso de un control numérico por computadora, lo cual es esencial para la máquina CNC.

### Materiales a cortar y gases de corte

Existen diferentes tipos de gases para llevar a cabo el proceso de corte por plasma, teniendo los gases plasmágeno que genera el arco plasma, y los gases secundarios encargados del enfriamiento de la antorcha.

Para que el proceso de corte en cualquier tipo de materiales tenga resultados óptimos se debe seleccionar determinados gases plasmágeno o combinación de gases que están en función de sus propiedades físicas.

A continuación se muestra los gases empleados habitualmente para el proceso de corte por método plasma. Ver tabla 2.4.

*Tabla 2.4 Gases para el corte plasma frecuentemente usados.*

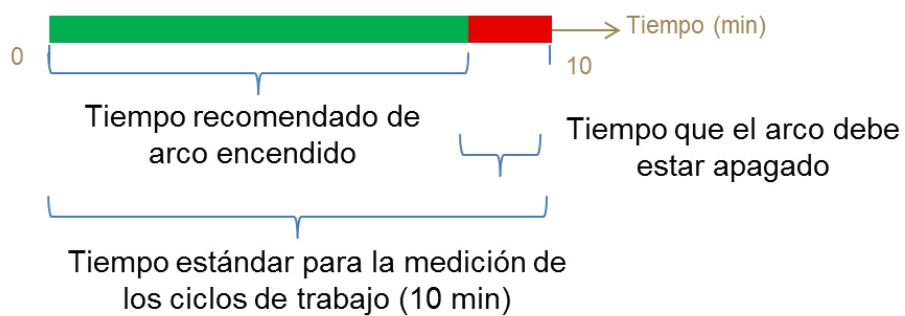
Criterio	Gases para el corte plasma				
	Aire	O2	N2	Ar-H2	N2-H2
Como gas plasmágeno	ok	Ok	ok	ok	ok
Como gas auxiliar	ok	Ok	ok	ok	ok
Calidad del corte	Superficies lisas Sin rebabas Hasta 25.4 mm	Alta para espesores de hasta 32 mm	Alta hasta espesores de 75 mm	Alta para espesores Superior a 75 mm	Alta para espesores Superior a 75 mm
Material a cortar	Acero al carbón y aleaciones Acero inoxidable aluminio	Acero al carbón	Inoxidable y aluminio	Inoxidable y aluminio	Acero al carbón y aleaciones Acero inoxidable Aluminio
Efecto en la composición química	A altas temperaturas formación de óxidos	Formación de óxidos	A altas temperaturas	Prevención de formación de óxidos	Prevención de formación de óxidos
Factor económico	Fácil obtención, Económico	Fácil obtención, pero no económico	Más caro que el oxígeno	----	-----

Como se va a cortar un material de máximo de 12,7 mm de espesor, aire es suficiente para obtener una excelente calidad en el corte, además es un gas económico y de fácil obtención. Y existe la posibilidad de implementar un sistema dual (un mismo gas como plasmágeno y auxiliar).

## Factor de utilización

El factor de utilización involucra el ciclo de trabajo del equipo plasma, este es tomado como el tiempo que debe permanecer encendido el arco plasma dentro de un intervalo de 10 minutos, en un ambiente a temperatura de 40°C. Este parámetro es característico de cada equipo plasma.

El exceder el ciclo de trabajo implica un recalentamiento de la fuente de alimentación, lo cual es importante el tener un sistema de monitoreo para contrarrestar descuidos por parte de los operadores.



Plasma Cutting Tomahawk 625 with machine torch/ Lincoln Electric (\$2.501,00)

Ciclo de trabajo

100% → 24A / 89.6V / 9.5 mm

60% → 29A / 95.8V / 10.5 mm

35% → 40A / 96V / 12.7 mm



Plasma Cutting Tomahawk 1000 with machine torch / Lincoln Electric (\$3.615,00)

Ciclo de trabajo

100% → 40A / 96V / 12.7 mm

50% → 60A / 104V / 16.7 mm

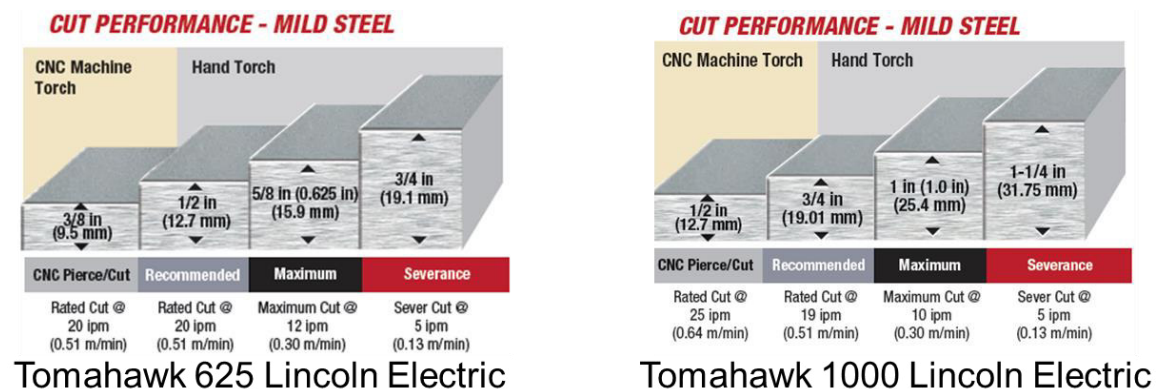




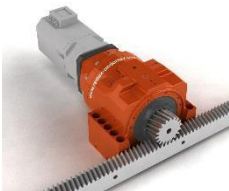
Figura 2.1. Espesores de corte recomendado para los dos equipos plasma a comparar.

Considerada la factibilidad de operar con un equipo plasma al 100% del ciclo de trabajo para el espesor de diseño y existiendo la posibilidad de cortar espesores superiores al de diseño pero a menor ciclo de trabajo, seleccionaremos el equipo plasma Tomahawk 1000 Lincoln Electric.

## 2.1.2. Elementos de la máquina Cortadora por plasma CNC. Sistemas de transmisión de potencia

En máquinas herramientas los sistemas más utilizados son: tornillo de potencia, husillo de bolas y piñón-cremallera. A continuación estos sistemas son comparados: Ver tabla 2.5.

*Tabla 2.5 Elementos para transmisión de potencia.*

	<b>Sistemas de transmisión de potencia</b>		
<b>Criterio</b>	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<b>Elemento de transmisión de potencia</b>	 <b>Tornillo de potencia</b>	 <b>Husillo de bolas</b>	 <b>Piñón-cremallera</b>
<b>CNC</b>	No aplica	Aplica	Aplica si excede los 5000 mm de longitud
<b>Eficiencia</b>	Menor (50%)	Mayor (90%)	Mayor (90%)
<b>Construcción</b>	Fácil	Difícil	Fácil
<b>Precisión de movimiento</b>	Buena	Elevada	Muy Elevada
<b>Velocidad de desplazamiento</b>	Menor	Mayor	5 veces mayor (husillo)
<b>Fricción</b>	Media	Baja	Media
<b>Costo</b>	Bajo	Medio	Elevado

De acuerdo a las dimensiones de la máquina a construir y a la precisión deseada, en el diseño se considera la selección de husillos de bolas.

### Sistemas de guías

En máquinas herramientas los sistemas de guías sirven para soportar las fuerzas generadas por el peso de las partes que comprenden el sistema de transmisión de potencia de cada coordenada. Los más utilizados son: ejes guías, sistemas especiales de guiado y sistemas de rulinas.

A continuación realizaremos la comparación de los sistemas de guiado más utilizados en máquinas herramientas. Ver tabla 2.6.

Tabla 2.6 Sistemas de guiados más comunes.

Criterio	Sistema de guías			
	Alternativa 1		Alternativa 2	Alternativa 3
Elementos de guiado	Ejes guías		 Guiado especial	 Sistema de rulinas
	 Con bocines	 Con rodamientos lineales		
Precisión de desplazamiento	Baja	Alta	Alta	Buena
Fricción	Media	Baja	Mínima	Baja
Calibración y montaje	Fácil	Fácil	Media	Fácil
Lubricación	Alta	Media	Baja	Baja
Costos	Bajo	Económico	Alto	Económico

Cada componente de la máquina a diseñar tendrá sus elementos de guiado considerando la precisión de desplazamiento vs. la carrera, de tal manera que se seleccione el mejor componente de guiado.

Los sistemas para cada componente son los siguientes: componente de guiado lineal Vertical X, con ejes guías y rodamientos lineales; componente de guiado lineal longitudinal Y, con perfil estructural y rodamientos radiales rígidos de bolas (sistema de rulinas); componente de guiado lineal vertical Z, con ejes guías y bocines.

### 2.1.3. Sistema de control

Es el conjunto de componentes que regulan el comportamiento de un sistema con el fin de lograr un determinado funcionamiento. Todos ellos permiten realizar un control automático de la máquina e incluso implementar un sistema de retroalimentación para una auto regulación.

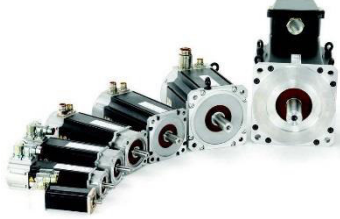
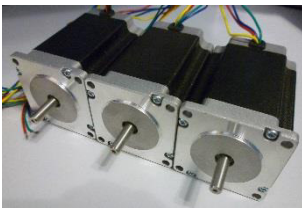
### Actuadores

Son dispositivos cuya función es proporcionar fuerza para actuar o mover algún sistema mecánico. Existen tres posibles fuentes para proporcionar funcionamiento: presión neumática (actuador neumático), presión hidráulica (actuador hidráulico) y fuerza motriz (actuador eléctrico).

Como los actuadores eléctricos son los más utilizados en los sistemas mecatrónicos y específicamente en máquinas CNC donde una unidad de control es la encargada de enviar las ordenes a cada actuador.

Dos tipos de movimientos existen en los actuadores, el lineal y rotacional. Se optó por usar actuadores rotatorios eléctricos, dentro de estos están los servomotores y motores paso a paso. Ver tabla 2.7.

*Tabla 2.7 Actuadores eléctricos rotatorios.*

	<b>Actuadores en máquinas CNC</b>			
<b>Criterio</b>	Alternativa 1		Alternativa 2	
<b>Actuadores Eléctricos</b>	Servomotores		Motores paso a paso	
	Con encoder incremental	Con encoder absoluto	Unipolar	Bipolar
				
<b>Precio</b>	Alto		10-20% del costo de un servomotor	
<b>Torque</b>	Constante, hasta velocidad nominal		Inversamente proporcional a la velocidad	
<b>Retroalimentación</b>	Bucle cerrado		Bucle abierto	
<b>Mantenimiento</b>	Periódicamente cambio de escobillas		Baja necesidad	
<b>Resolución</b>	Desde 500 hasta 2000 pasos/rev. Con posibilidad de cuadruplicar (con codificador)		Estándar de 200 pasos/rev. Con posibilidad de hasta 25000 (con Driver)	

Considerado el factor económico y mantenimiento se seleccionará motores paso a paso.

## 2.2. Diseño Detallado

En la figura 2.2 se detalla los componentes y sub-ensambles que conforman la máquina:

- Componente para la sujeción antorcha (Z):  
Ver Planos Esquemáticos/ lámina 2
- Componente de guiado lineal transversal (X):  
Ver Planos Esquemáticos/ lámina 6
- Componente de guiado lineal longitudinal (Y):  
Ver Planos Esquemáticos/ lámina 11
- Mesa de Trabajo:  
Ver Planos Esquemáticos / lámina 15

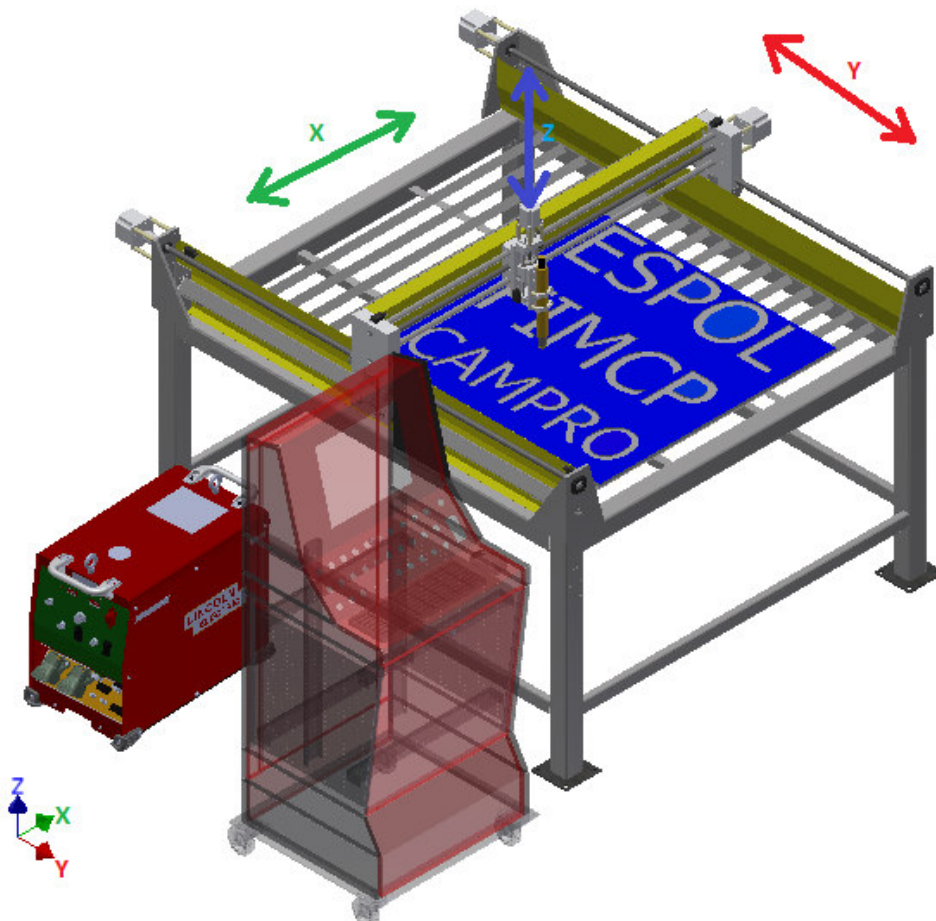
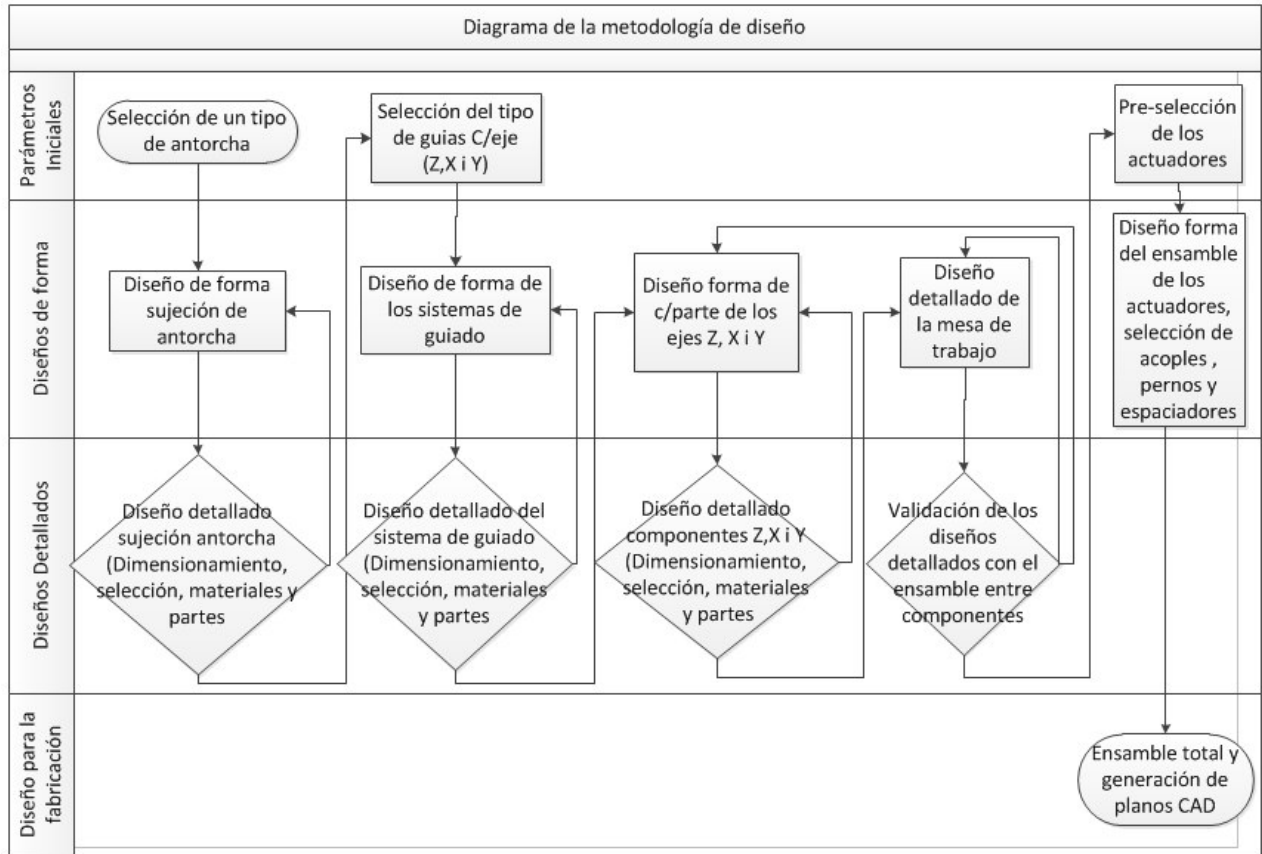


Figura 2.2 Diseño detallado de la máquina cortadora por plasma CNC.

### 2.2.1. Metodología de diseño

La metodología empleada para el diseño de las partes mecánicas es la que se describe en el siguiente diagrama de flujo:





## 2.2.2. Selección del equipo plasma

En la selección del equipo plasma se consideran las siguientes variables:

- **Rango de espesores más frecuente a cortar**

En función de las aplicaciones ya definidas, el mínimo espesor de diseño será de 0,5 mm y el máximo de 12,7 mm.



Figura 2.3. Aplicaciones más comunes en corte plasma.

- **Ciclo de trabajo**

Se optó por operar al 100% (10 minutos de trabajo continuo) con el espesor de diseño máximo, para dar lugar a espesores superiores al máximo pero a ciclos menores al 100%. Ver sección factor utilización Capítulo 2.1

- **Fuente de alimentación e intensidad máxima**

De acuerdo a lo más común en talleres industriales optamos por una fuente de alimentación de 220V y un rango de intensidad de 20-60A.

- **Gases a utilizar**

Se optó por implementar un sistema dual con aire comprimido, considerando la calidad en los cortes en los diferentes materiales y el factor económico.

Aire → Acero al carbón, aleaciones, acero inoxidable y aluminio

O<sub>2</sub> → Acero al carbón

N<sub>2</sub> → Acero inoxidable y aluminio

Mezcla Ar-H<sub>2</sub> → Acero inoxidable y aluminio

Mezcla N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub> → Acero al carbón, aleaciones, acero inoxidable y aluminio

- **Posibilidad de un control CNC**

El sistema THC (Torch Height Control) será aquel que permita realizar el control de la altura de la antorcha, mediante el principio de diferencia de potencial eléctrico entre el electrodo de la antorcha y la superficie del material a cortar.

La antorcha seleccionada es la LC45M "Machine Plasma Torch" (Lincoln Electric Tomahak) que tiene incluido un sensor, el cual emite una señal de retroalimentación al THC antes de iniciar el proceso de corte.

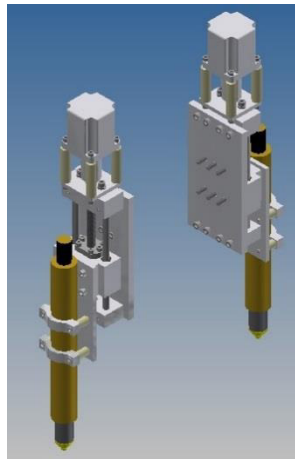
De esta manera se obtendrá un espaciamiento equidistante del material a cortar; los espaciamientos recomendados en función

de los espesores de las planchas a cortar son indicados en las fichas técnicas de los equipos plasma (Ver Apéndice A), el sistema THC es lo que usará para mantener el espaciamiento.

Luego de considerar cada uno de las variables, se selecciona un equipo plasma con antorcha para mecanizado, el mismo que para un sistema de automatización integral cuenta con un conector CNC y el sistema THC incorporado.

### 2.2.3. Diseño del componente para la sujeción de la antorcha (Z)

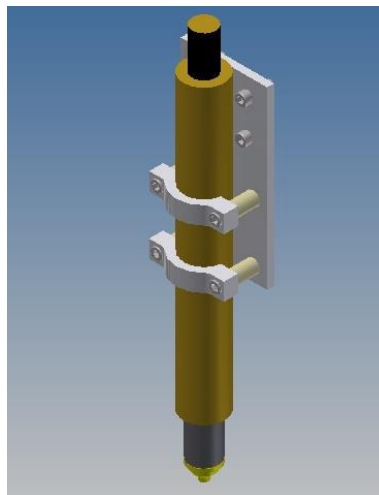
Los detalles del componente sujeción de la antorcha se muestran en la figura 2.4 Ver Planos esquemáticos/ láminas 2, 3, 4, y 5.



*Figura 2.4 Componente vertical Z con sus partes.*

### Diseño de sujeción de la antorcha

En la sujeción de la antorcha se empleará juntas empernadas como se indica en la Figura 2.5:



*Figura 2.5 Piezas para el sistema de sujeción de la antorcha.*

## Junta empernada sometida a cortante en la sujeción antorcha

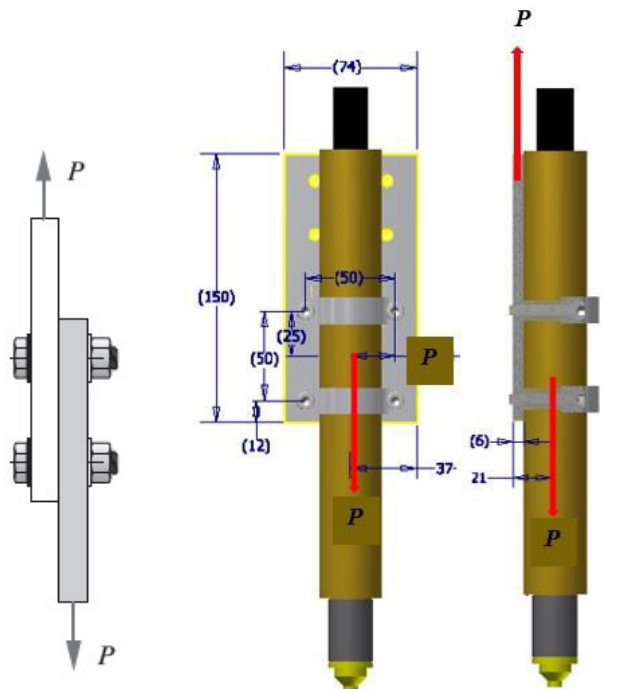


Figura 2.66 (a) Modelo de análisis de junta empernada sometida a cortante (R. L. Norton), (b) Esquema para análisis de pernos de sujeción de la antorcha.

Tomado en cuenta que la parte con peso más significativo de todo el ensamble le corresponde a la antorcha, se despreciará las masas restantes (sujetadores).

$$P = (m_{antorcha} \times g)$$

$$P = (2,31 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$P = 22,66 \text{ [N]}$$

$$F_{c/perno} = P/4$$

$$F_{c/perno} = \frac{22,66 \text{ [N]}}{4}$$

$$F_{c/perno} = 5,66 \text{ [N]}$$

### Análisis del cortante puro

$$\tau = \frac{F_{c/perno}}{\left(\frac{\pi * d^2}{4}\right)}$$

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

$$S_{sy} = \frac{S_y}{2}$$

Se seleccionan pernos Grado de 4.8 (de fácil adquisición):

$$S_y = 340 [MPa]$$

$$S_{sy} = \frac{S_y}{2}$$

$$S_{sy} = 170 [MPa]$$

El factor de seguridad a usar será de 2, recomendado para juntas sometidas a cortante puro.

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

$$\tau = \frac{S_{sy}}{\eta}$$

$$\tau = \frac{170 [MPa]}{2}$$

$$\tau = 85 [MPa]$$

El diámetro de cada perno será de:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F_{c/perno}}{\pi \times \tau}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 5,66 [N]}{\pi \times 85 * 10^6 [N/m^2]}}$$

$$d = 2,9310^{-4} [m] = 0,29 [mm]$$

Por factor de disponibilidad en el mercado y diseño de forma la selección corresponderá a pernos M6 x 35 cuerda basta, y al ser el diámetro de diseño menor que el seleccionado, la junta empernada soportará la carga.

#### Aplastamiento en el perno

$$\sigma_{AP} = \frac{F_{c/perno}}{d \times e_{menor}}$$

$e_{menor} = 6 [mm]$ ; corresponde a la placa de aluminio, en este caso el material más débil  $S_{y,prom.} = 292,5 [N/mm^2]$  – rango  $S_y$  (310 – 275)

$$\sigma_{AP} = \frac{5,66 [N]}{6 [mm] \times 6 [mm]}$$

$$\sigma_{AP} = 0,1572 [N/mm^2]$$

Si el factor de seguridad  $\eta_{AP} > 2$ , no se deforma la placa.

$$\eta_{AP} = \frac{S_y}{\sigma_{AP}}$$

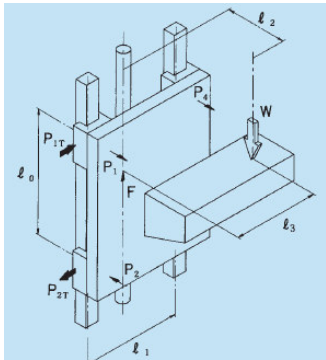
$$\eta_{AP} = \frac{292,5 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{0,1572 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}$$

$$\eta_{AP} > 2$$

### Diseño del sistema de guiado lineal vertical eje Z

Con lo que respecta a sistema de guiado, según lo descrito en el diseño conceptual se tiene que para los ejes Z i X, lo que se denomina ejes guías (ejes macizos) y para el eje Y se construirá un sistema de guías con rulinas (perfil estructural).

La metodología para determinar la distribución de las fuerzas sobre las guías es tomado del catálogo THK Guías de movimiento lineal - Selectos.

Condición de Uso	Fórmulas para el cálculo de cargas
<p>Orientación del eje vertical (el eje se mueve). A velocidad constante o en reposo.</p> 	$P_1 \sim P_4 = \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0}$ $P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_0}$

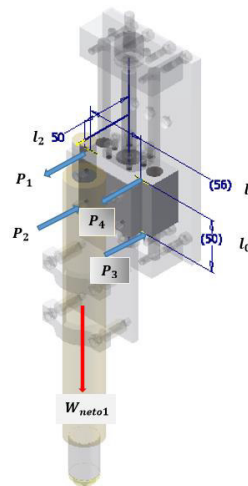


Figura 2.77 Esquema de fuerzas que actúan en el sistema de guías del eje Z.

**Datos:**

Longitud: 175 mm (diseño de forma)

$$l_0 = 50 \text{ mm}$$

$$l_1 = 56 \text{ mm}$$

$$l_2 = 50 \text{ mm}$$

Cargas a soportar por los ejes guías:

$$m_{antorcha} = 2,31 \text{ kg} \rightarrow W_{antorcha} = 22,66 \text{ [N]}$$

$$m_{sujetadores} = 0,044 \text{ kg} \rightarrow W_{sujetadores} = 0,43 \text{ [N]}$$

$$m_{espaciadores} = 0,008 \text{ kg} \rightarrow W_{espaciadores} = 0,07848 \text{ [N]}$$

$$m_{placa1} = 0,116 \text{ kg} \rightarrow W_{placa1} = 1,13 \text{ [N]}$$

$$m_{bloque+tuerca} = 0,333 \text{ kg} \rightarrow W_{bloque+tuerca} = 3,26 \text{ [N]}$$

$$m_{seguridad} = 0,1 \text{ kg} \rightarrow W_{seguridad} = 0,981 \text{ [N]}$$

$$W_{Neto1} = \sum W_i$$
$$W_{Neto1} = 28,54 \text{ [N]}$$

Se usará cojinetes de deslizamiento de bronce fosfórico (bocines) como parte del sistema de guiado debido a que los desplazamientos en el sistema Z son cortos y no frecuentemente repetitivos, el diámetro interior será definido por los ejes guías y el diámetro exterior por el diseño de forma.

**Solución:**

Las cargas que soportarán cada eje de acuerdo al catálogo THK son:

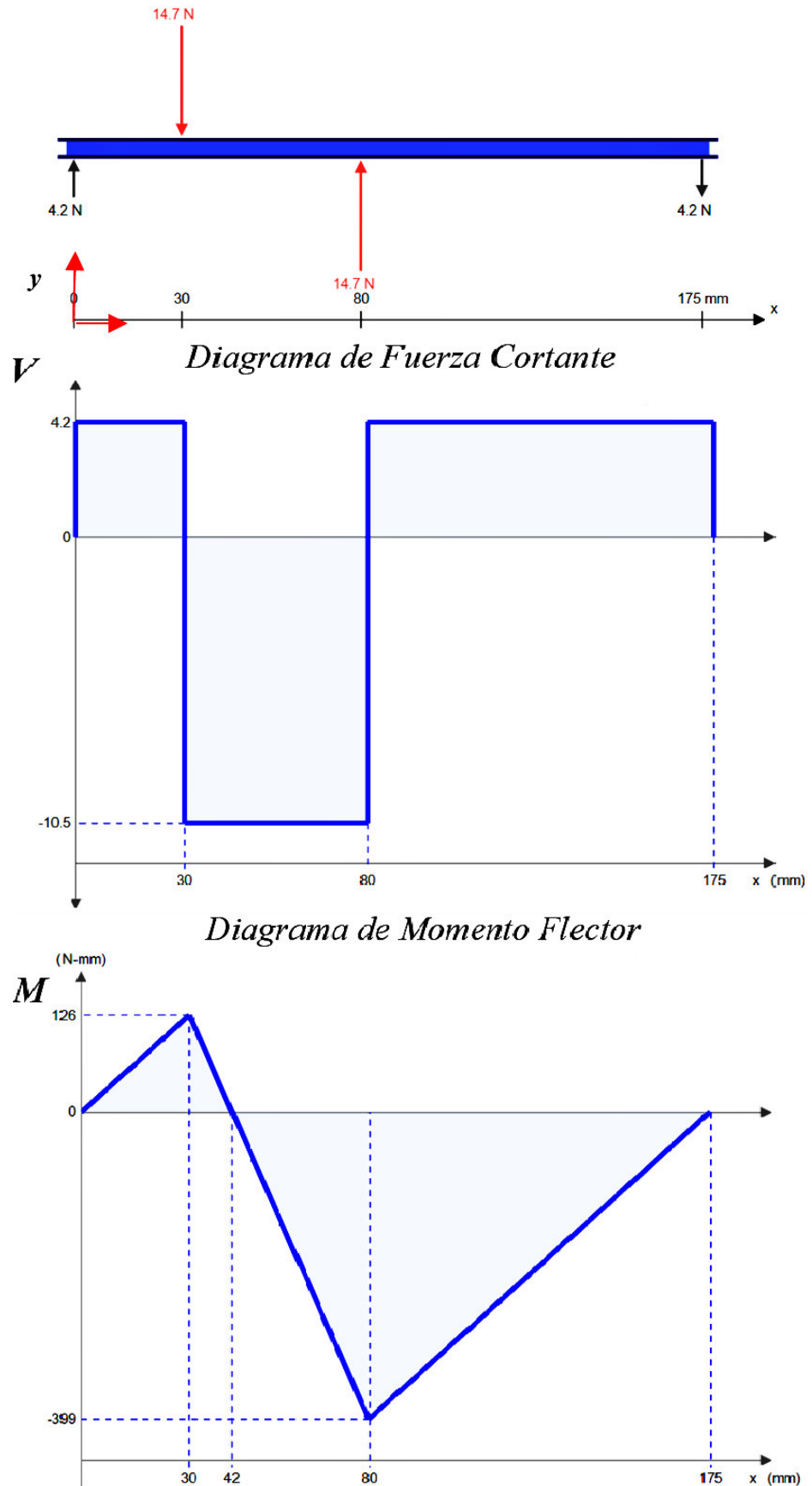
$$W_{C/eje} = 14,27 \text{ [N]}$$

$$P_1 = P_4 = 14,27 \text{ [N]}$$

$$P_2 = P_3 = 14,27 \text{ [N]}$$

Para determinar el diámetro del eje se modelará al eje guía como una viga simplemente apoyada con dos apoyos fijos, "lo cual no es el escenario real sino un modelo de diseño conservador (empotrado en sus dos extremos – escenario real), pero es el más crítico en donde las reacciones llegan a duplicar el valor del escenario real".

Esquema de viga simplemente apoyada para dimensionamiento del eje guía con los diagramas de fuerza cortante y momento flector.



Diámetro de los ejes guías sometidos a flexión:

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{MC}{I}$$
$$M = M_{m\acute{a}x.}$$

Del diagrama de momento flector  $M_{m\acute{a}x.} = 399 [N * mm]$

$$C = r$$
$$I = \frac{\pi r^4}{4}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{4M}{\pi * r^3}$$
$$r = \sqrt[3]{\frac{4M}{\pi * \sigma_{m\acute{a}x.}}}$$

El material usado para los ejes guías es AISI 1045 con  $S_y = 310 [MPa]$  y un Factor de seguridad (FS) de 4:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x.}}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{S_y}{FS}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{310 [MPa]}{4}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x.} = 77.5 [MPa]$$

Por lo tanto;

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 \times 399 [N * mm]}{\pi \times 77.5 [N/mm^2]}}$$

$$r = 1,87 [mm]$$

$$d = 3,74 [mm]$$

Se selecciona ejes guías de  $d = 10 [mm]$ , en sistemas de guiado se recomienda ejes macizos en acero endurecido y rectificado, tolerancia #6 (clase L).

Los bocines tendrán DI de 10 mm, el OD de 14 mm y la longitud de 50 mm están definidos por el diseño de forma.



### Diseño del sistema de transmisión

Como elemento mecánico para transmitir potencia se usará husillos de bola:

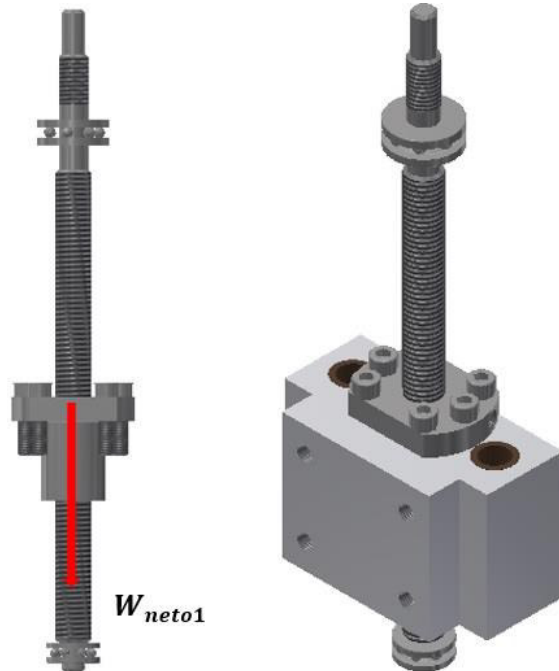


Figura 2.8 Husillo de bolas del sistema Z con esquema de la carga a subir y bajar.

Se analizará al husillo de bolas como una columna sometida a compresión axial con el fin de verificar el pandeo. La carga axial a subir y bajar corresponde a  $W_{Neto1} = 28,54 [N]$ .

#### Datos:

Por diseño de forma y factibilidad de adquisición la longitud del tornillo será de 250 mm, lo cual está relacionado con la longitud de los ejes guías y las partes restantes del componente Z.

El material con el que se realizará el cálculo será un acero AISI 1045 con  $S_y = 310 [MPa]$  y Modulo de Young del acero  $E = 206,8 [GPa]$

#### Solución:

Se utilizará el diámetro nominal para encontrar la razón de esbeltez

$$(S_R)_D = \pi * \sqrt{\frac{2 * E}{S_{yc}}}$$
$$(S_R)_D = \pi * \sqrt{\frac{2 * 206,8 [GPa]}{310 [MPa]}}$$
$$(S_R)_D = 114,75$$

Se asume un diámetro nominal para el husillo de bolas  $d = 12 mm$ :

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \rightarrow 113,09 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \rightarrow 1017,8 \text{ mm}^4$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow 3.01$$

Se tiene además que  $L_{\text{tornillo}} = 250 \text{ mm}$ , y por catálogo de husillos de bolas  $L_{\text{roscada}} = 220 \text{ mm}$ , la longitud de carrera queda restringida a  $L_{\text{carrera}} = 160 \text{ mm}$  por los fines de carrera de 30 mm a cada lado. Para una columna cargada axialmente con ambos extremos articulados  $L_{\text{efectiva}}$ : (Ver Apéndice B para la selección de  $L_{\text{efectiva}}$  de la columna).

$$L_{\text{efectiva}} = 160 \text{ mm}$$

$$S_R = \frac{L_{\text{efectivo}}}{k} \rightarrow 53,15$$

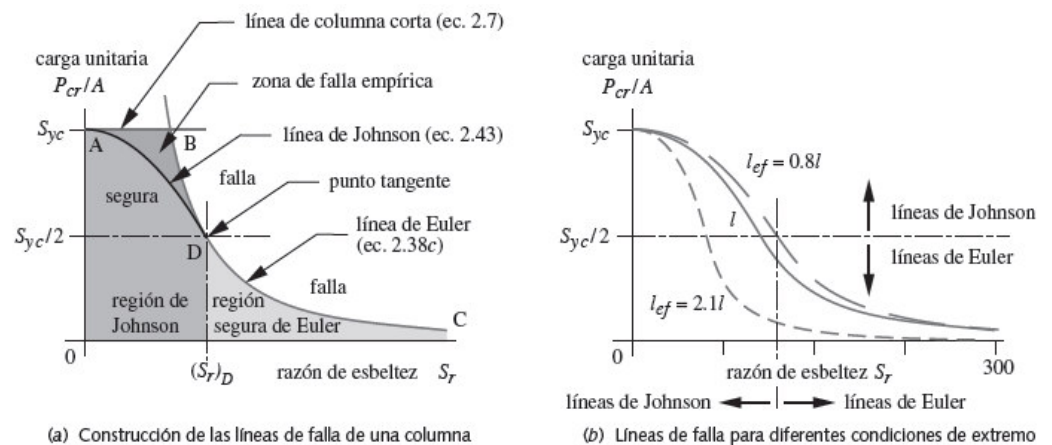


Figura 2.9 Líneas de falla en una columna de Euler, de Johnson y corta según R. L. Norton-cap. 2 esfuerzo, deformación unitaria y deflexión.

Como se puede notar  $(S_R)_D = 114,75$  y  $S_R = 53,15$ , referenciando a la gráfica mostrada arriba con el  $S_R$  encontrado la columna se comporta como una columna de Johnson:

$$P_{cr} = A \times \left[ S_{yc} - \frac{1}{E} * \left( \frac{S_{yc} \times S_R}{2\pi} \right)^2 \right]$$

Primero se encontrara la carga crítica para el diámetro del husillo asumido y luego se verificara la carga permisible con un FS de 4 contra la carga real que soportará el husillo de bolas.

$$P_{cr} = 1.13 * 10^{-4} [\text{m}^2] \times \left[ 310 [\text{MPa}] - \frac{1}{206.8 * 10^3 [\text{MPa}]} \left( \frac{310 [\text{MPa}] \times 53,15}{2\pi} \right)^2 \right]$$

$$P_{cr} = 31271,62 [\text{N}]$$

$$P_{\text{permisible}} = \frac{P_{cr}}{FS} \rightarrow 7,8 [\text{kN}]$$

Teniendo que la carga para elevar el husillo es de apenas  $W_{Neto1} = 28,54 [N]$ , y la carga permisible de  $7,8 [kN]$ , el diámetro asumido resistirá la carga, no se realizará una nueva asunción debido a que diámetros más pequeños son más difíciles de conseguir en el mercado de la longitud deseada.

El husillo de bolas a seleccionar es según el catálogo NTN-SNR Linear Motion: Husillos de bolas, BSH 01204 (diámetro nominal 12 y paso 4 mm) – L=250 mm.

### Torque de subida y bajada

Para determinar el torque se empleará las ecuaciones de R.L. Norton, cap. 11 tornillos de potencia.

#### Para subir la carga:

$$T_u = T_{su} + T_c$$

$$T_{su} = \frac{P \left( \frac{d_p}{2} \right) (\mu \pi d_p + L_{avance})}{\pi d_p - \mu L_{avance}}$$

$$T_{su} = \frac{28,54 [N] \left( \frac{10,81 \text{ mm}}{2} \right) (0,02 * \pi * 10,81 \text{ mm} + 4 \text{ mm})}{\pi * 10,81 \text{ mm} - 0,02 * 4 \text{ mm}}$$

$$T_{su} = 42,60 [N * mm]$$

$$T_c = 0$$

$$T_u = 42,60 [N * mm]$$

#### Para bajar la carga:

$$T_d = T_{sd} + T_c$$

$$T_{sd} = \frac{P \left( \frac{d_p}{2} \right) (\mu \pi d_p - L_{avance})}{\pi d_p + \mu L_{avance}}$$

$$T_{sd} = \frac{28,54 [N] \left( \frac{10,81 \text{ mm}}{2} \right) (0,02 * \pi * 10,81 \text{ mm} - 4 \text{ mm})}{\pi * 10,81 \text{ mm} + 0,02 * 4 \text{ mm}}$$

$$T_{sd} = -30.1 [N * mm]$$

$$T_c = 0$$

$$T_d = -30.1 [N * mm]$$

El torque negativo indica que el sistema requiere de un freno, lo cual es característico de los husillos de bolas, que no son aptos para auto-bloqueo por su baja fricción. En nuestro caso el tipo de actuador tendrá que contrarrestar esta acción de auto-bloqueo.

### Auto-Bloqueo

$$\mu \geq \frac{L_{avance}}{\pi d_p}$$

$$\mu \geq \frac{4}{\pi * 10,81}$$

$$0,02 \geq 0,12 \text{ (falso)}$$

Con esto se confirma que el sistema no es de auto-bloqueo

### Eficiencia de elevación del tornillo

$$e_{su} = \frac{P L_{avance}}{2\pi T_{su}}$$

$$e_{su} = \frac{28,54 [N] * 4 [mm]}{2\pi * 42,60 [N * mm]}$$

$$e_{su} = 0,42$$

El torque mayor corresponde al  $T_u = 42,60 [N * mm]$ , el cuál será considerado en la sección de control para la selección de los actuadores.

### Cojinetes antifricción (rodamientos axiales)



Figura 2.10. Esquema de fuerza sobre rodamientos axiales en el husillo de bolas eje Z.

Para la configuración de los rodamientos axiales solo uno de los dos recibirá toda la carga  $W_{Neto1} = 28,54 [N]$ , se comprobará de todas formas que la selección corresponde a rodamientos axiales, aunque por diseño mecánico la configuración del husillo no funcionaría si se utiliza rodamientos radiales:

$$\frac{F_R}{F_a} \leq 0,55 \rightarrow \text{rod. axial}$$

$$F_R = 0$$

$$F_a = 28,54 [N]$$

$$0 \leq 0,55 \rightarrow \text{rod. axial}$$

### Rodamiento inferior

Diámetro interior= 8 mm (datos técnicos del husillo de bolas)

$N=120 [rev/min]$  (tabla de motor paso a paso)

$$C_a = \left[ \frac{L_{10h} \times 60 \times N}{10^6} \right]^{1/p} \times P_a$$

$L_{10h} = 30 * 10^3 [hr]$  : Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos, husillos de máquinas (Catálogo NTN-Tabla 3.4 *Aplicaciones en maquinarias y vida requerida-referencia* pág. A19)

Rodamiento rigido de bolas:  $p = 3$

$$C_a = \left[ \frac{30 * 10^3 [hr] \times 60 \times 120 [rev/min]}{10^6} \right]^{1/3} \times 28,54 [N]$$

$$C_a = 171,24 [N]$$

El rodamiento axial con la carga más cercana a  $C_a = 171,24 [N]$  es uno de  $C_a = 3,19 [kN]$ , que corresponde a un diámetro exterior por catálogo SKF de 19 mm, se nota que el  $C_a$  del catálogo es superior por lo tanto si soporta esa carga el rodamiento. Ver Apéndice C características del rodamiento seleccionado.

La carga estática  $C_{0a} = 3,8 [kN]$

$$S_0 = \frac{C_{0a}}{P_{0a}}$$

$$S_0 = \frac{3,8 * 10^3 [N]}{28,54 [N]}$$

$$S_0 = 133,14$$

Si  $S_0 \geq 2$ , se tiene un requerimiento de alta precisión, la selección corresponde a un rodamiento axial rígido de bolas BA8 del catálogo SKF.

### Rodamiento Superior

La metodología de cálculo empleada es la misma para el rodamiento inferior, Ver Apéndice D, el rodamiento axial rígido de bolas seleccionado es 51100 SKF.

### Diseño de placa de sujeción bloques ejes guías y husillo Z

Las siguientes cargas serán soportadas por los pernos de sujeción sometidos a cortante puro:

$$W_{Neto1} = 28,54 [N]$$

$$m_{motor} = 0,7 \text{ kg} \rightarrow W_{motor} = 6,86 [N] \text{ (aprox. según catalogos)}$$

$$m_{ejes} = 0,22 \text{ kg} \rightarrow W_{ejes} = 2,15 [N]$$

$$m_{husillo} = 0,175 \text{ kg} \rightarrow W_{husillo} = 1,72 [N]$$

$$m_{bloque \text{ up}} = 0,172 \text{ kg} \rightarrow W_{bloque \text{ up}} = 1,68 [N]$$

$$m_{bloque \text{ down}} = 0,130 \text{ kg} \rightarrow W_{bloque \text{ down}} = 1,28 [N]$$

$$m_{acople} = 0,13 \text{ kg} \rightarrow W_{acople} = 1,27 [N] \text{ (aprox. según catalogos)}$$

$$m_{placa \text{ up}} = 0,046 \text{ kg} \rightarrow W_{placa \text{ up}} = 0,45 [N]$$

$$m_{rod.axial} = 0,02 + 0,0091 \text{ kg} \rightarrow W_{rod.axial} = 0,29 [N]$$

$$m_{seguridad} = 0,1 \text{ kg} \rightarrow W_{seguridad} = 0,981 [N]$$

$$W_{Neto2} = \sum W_i$$
$$W_{Neto2} = 45,22 [N]$$

### Análisis de la Junta empernada sometida a cortante

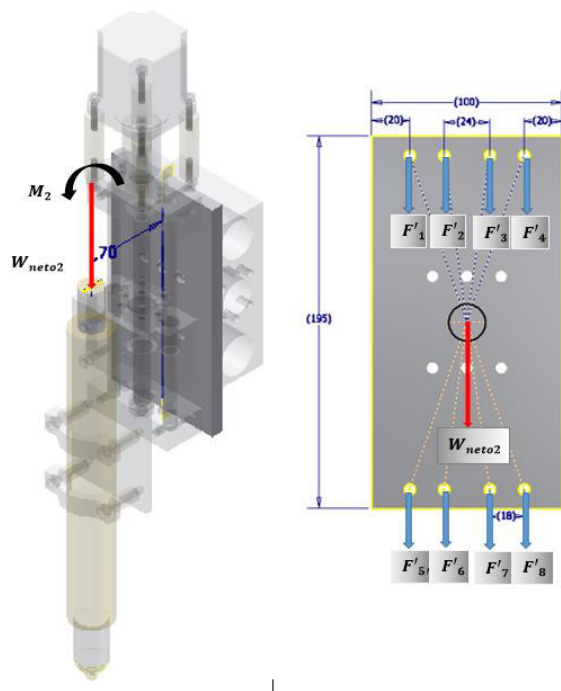


Figura 2.11 Esquema de fuerzas aplicadas en la sujeción de los bloques topes de las guías y el husillo de bolas, eje Z.

### Fuerza primaria ( $F'$ )

$$F' = \frac{W_{Neto2}}{\# \text{ pernos}}$$

$$F' = \frac{45,22 \text{ [N]}}{8} \rightarrow 5,65 \text{ [N]}$$

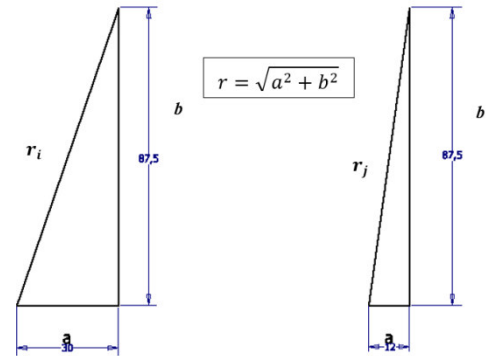
### Fuerza secundaria ( $F''$ )

$$F'' = \frac{r_n M_2}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_n^2}$$

$$r_i = r_1 = r_4 = r_5 = r_8 = 92,5 \text{ mm}$$

$$r_j = r_2 = r_3 = r_6 = r_7 = 88,32 \text{ mm}$$

Los pernos 5 y 8 son los de mayor  $r_n$ , y que están más cerca a la carga  $W_{Neto2}$ :



$$F_8'' = \frac{r_8 M_2}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_8^2}$$

$$F_8'' = \frac{92,5 \text{ mm} \times (45,22 \text{ [N]} * 70 \text{ mm})}{4 \times (88,32)^2 + 4 \times (92,5)^2}$$

$$F_8'' = 4,48 \text{ [N]}$$

$$\vec{F}_8 = \sqrt{(F')^2 + (F'')^2}$$

$$\vec{F}_8 = 7,21 \text{ [N]}$$

### Análisis del cortante puro

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

$$S_{sy} = \frac{S_y}{2}$$

$$\tau = \frac{F_{c/perno}}{A}$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Se recomienda un  $\eta = 2$  para cortante puro, el grado del perno es 5,8 con  $S_y = 420 \text{ N/mm}^2$  y la  $F_{c/perno} = 7,21 \text{ [N]}$

$$\tau = \frac{S_{sy}}{\eta}$$

$$\tau = \frac{(420)}{2} \rightarrow 210 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * F_{c/perno}}{\pi * \tau}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 7,21[N]}{\pi * 210 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}}$$

$$d = 0,21 \text{ mm}$$

La selección corresponde a un perno M6 x 20 mm rosca basta, los cuales soportarán la carga de diseño.

### Aplastamiento en los pernos

$$\sigma_{AP} = \frac{F_{c/perno}}{d \times e_{menor}}$$

$e_{menor} = 10 \text{ [mm]}$ ; corresponde a la placa de aluminio, en este caso el material más débil  $S_y = 292.5 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] - (310 - 275)$

$$\sigma_{AP} = \frac{7,21 \text{ [N]}}{6 \text{ [mm]} \times 10 \text{ [mm]}}$$

$$\sigma_{AP} = 0,12 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Si el factor de seguridad  $\eta_{AP} > 2$ , no se deforma la placa.

$$\eta_{AP} = \frac{S_y}{\sigma_{AP}}$$

$$\eta_{AP} = \frac{292,5 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{0,12 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}$$

$$\eta_{AP} > 2$$



## Junta empernada sometida a cortante entre placa sujeción componente Z y componente X

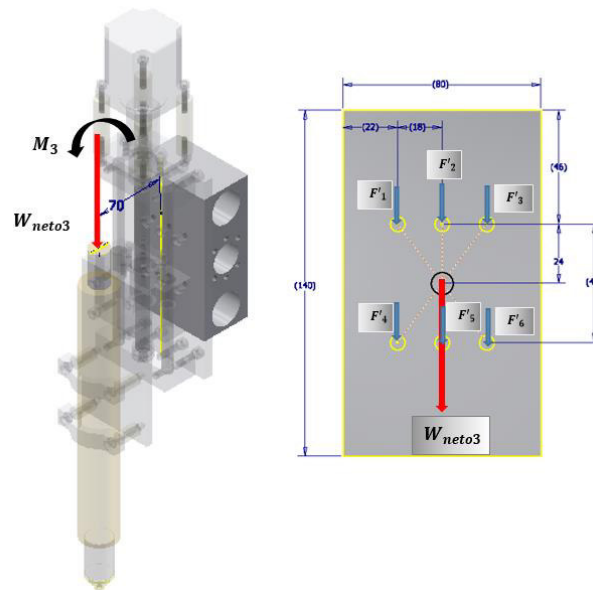


Figura 2.182 Esquemas de fuerzas en la junta empernada del ensamble entre componentes Z y X.

Las siguientes cargas serán soportadas por los pernos de sujeción sometidos a cortante puro:

$$W_{Neto2} = 45,22 \text{ [N]}$$

$$m_{placa2} = 0,513 \text{ kg} \rightarrow W_{bloque\ up} = 5,03 \text{ [N]}$$

$$m_{seguridad} = 0,1 \text{ kg} \rightarrow W_{seguridad} = 0,981 \text{ [N]}$$

$$W_{Neto3} = \sum W_i$$

$$W_{Neto3} = 51,23 \text{ [N]}$$

La metodología de cálculo empleada es la misma detallada para el diseño de placa de sujeción bloques ejes guías y husillo Z, Ver Apéndice E.

Los pernos seleccionados son M6x20 rosca basta.

### 2.2.4. Diseño del componente de guiado lineal transversal (X)

En la Figura 2.13 se detalla las partes que conforman el componente (X), conjuntamente ensamblado con el componente (Z).

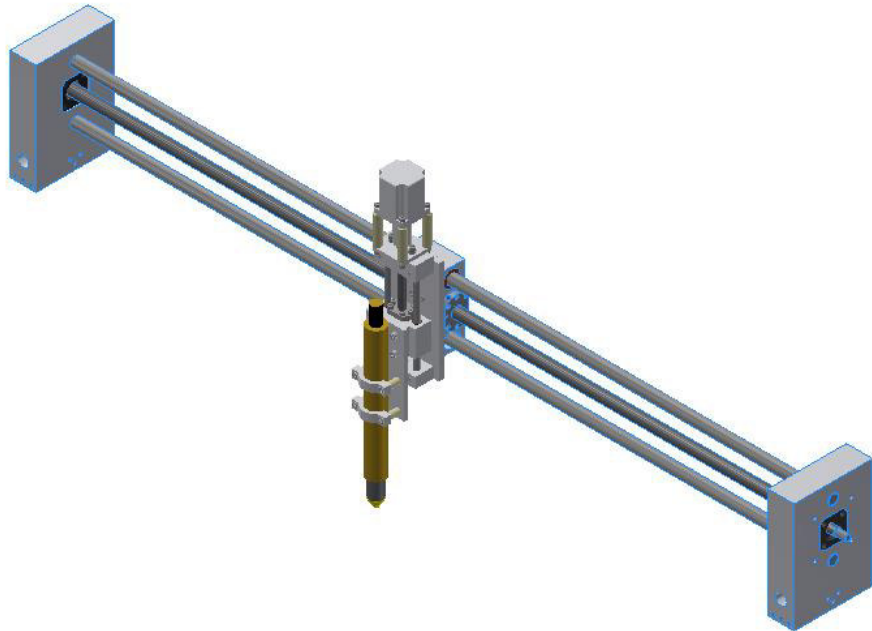
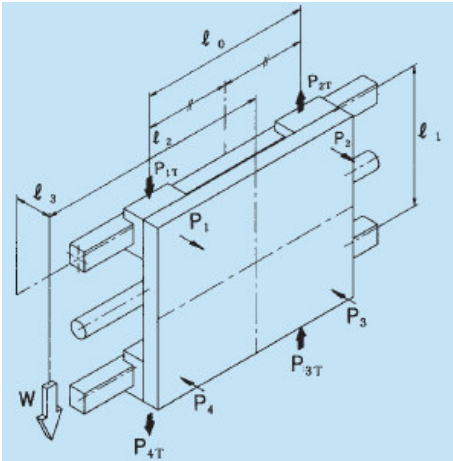


Figura 2.13 Ensamble del componente vertical Z con el componente transversal X.

### Diseño del sistema de guiado lineal eje X

La metodología que se utilizará para determinar la distribución de las fuerzas sobre las guías es tomado del catálogo THK Guías de movimiento lineal-selectos.

Condición de Uso	Fórmulas para el cálculo de cargas
<p>Orientación con montaje en la pared (el bloque se mueve). A velocidad constante o en reposo.</p> 	$P_1 \sim P_4 = \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_1}$ $P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0}$ $P_{2T} \sim P_{3T} = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0}$

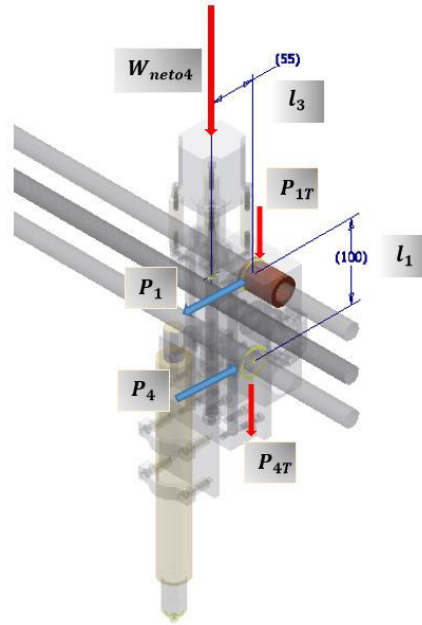


Figura 2.14 Esquema de fuerzas sobre el sistema de guiado del eje X.

**Datos:**

Longitud: 1500 mm (diseño de forma)

$l_0 = 0 \text{ mm} \rightarrow$  un solo rodamiento lineal en cada eje guía

$l_1 = 100 \text{ mm}$

$l_2 = 0 \text{ mm}$

$l_3 = 55 \text{ mm}$

Cargas a soportar por los ejes guías:

$W_{Neto3} = 51,23 \text{ [N]}$

$m_{bloque X} = 1,152 \text{ kg} \rightarrow W_{bloque X} = 11,30 \text{ [N]}$

$m_{seguridad} = 1,0 \text{ kg} \rightarrow W_{seguridad} = 9,81 \text{ [N]}$

$$W_{Neto4} = \sum W_i$$

$$W_{Neto4} = 72,34 \text{ [N]}$$

Se usará cojinetes anti-fricción (rodamientos lineales de bolas) como parte del sistema de guiado, el diámetro interior será definido por los ejes guías y el diámetro exterior por el diseño de forma.

**Solución:**

Las cargas que soportarán cada eje de acuerdo al catálogo THK son:

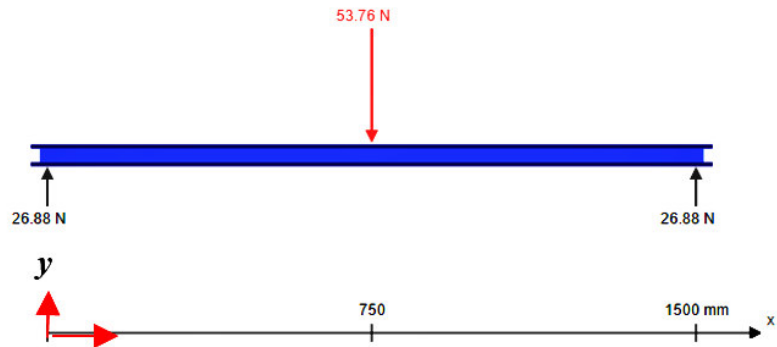
$$P_1 = P_4 = W_{Neto4} \times \frac{l_3}{l_1} \rightarrow 39,78 \text{ [N]}$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{W_{Neto4}}{2} + W_{Neto4} \times \frac{l_2}{l_0} \rightarrow 36,17 \text{ [N]}$$

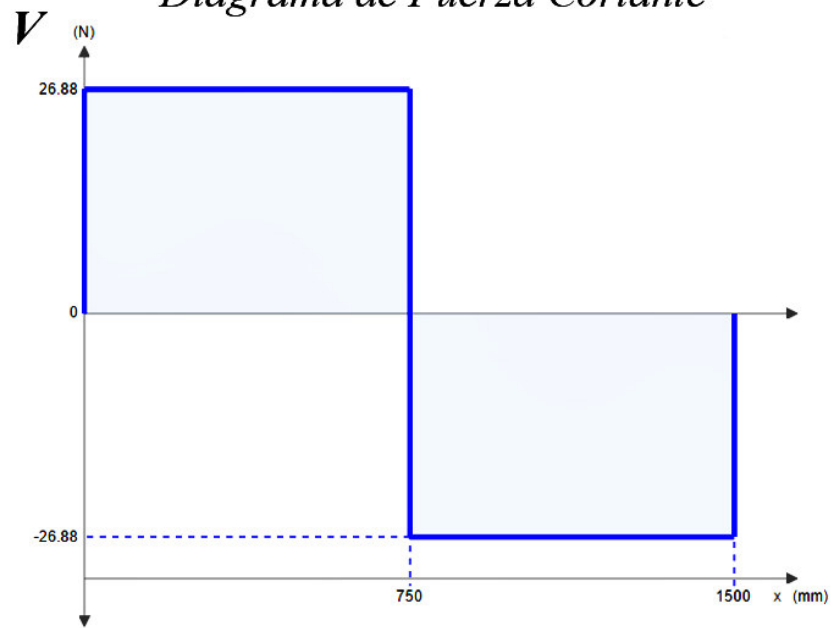
$$W_{c/eje} = \sqrt{(P_i)^2 + (P_{jT})^2}$$
$$W_{c/eje} = \sqrt{(39,78[N])^2 + (36,17[N])^2}$$
$$W_{c/eje} = 53,76 [N]$$

Método de cálculo del diagrama de momento Flector y fuerza cortante ver Apéndice F.

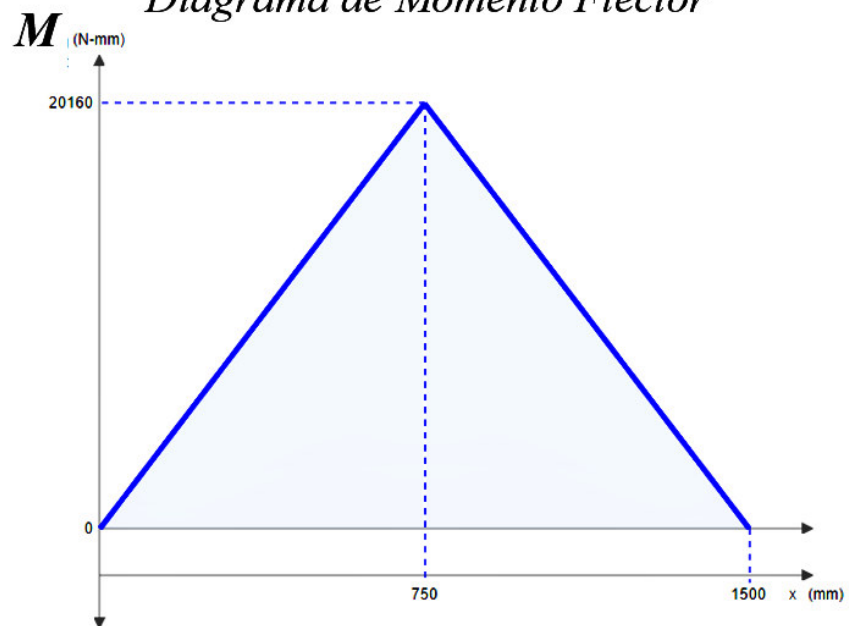
Esquema de viga simplemente apoyada para dimensionamiento del eje guía con los diagramas de fuerza cortante y momento flector.



*Diagrama de Fuerza Cortante*



*Diagrama de Momento Flector*



### Diámetro de los ejes guías sometidos a flexión:

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{MC}{I}$$
$$M = M_{m\acute{a}x.}$$

Del diagrama de momento flector  $M_{m\acute{a}x.} = 20160 [N * mm]$

$$C = r$$
$$I = \frac{\pi r^4}{4}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{4M}{\pi * r^3}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4M}{\pi * \sigma_{m\acute{a}x.}}}$$

El material de los ejes guías será AISI 1045 con  $S_y = 310 [MPa]$ , el Factor de seguridad (FS) de 4:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x.}}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{S_y}{FS}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{310 [MPa]}{4}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x.} = 77.5 [MPa]$$

Por lo tanto;

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 \times 20160 [N * mm]}{\pi \times 77.5 [N/mm^2]}}$$

$$r = 6,91 [mm]$$

$$d = 13,83 [mm]$$

La selección corresponde a ejes guías de  $d = 20 [mm]$  por su facilidad de adquisición. Los rodamientos lineales tendrán DI de 20 mm y OD en función de la carga dinámica.

### Deflexión

$$y_{max.} = -\frac{W_{c/eje} * l^3}{48 * E * I}$$
$$I = \frac{\pi r^4}{4} \rightarrow 7853,9mm^4$$

$$y_{max.} = - \frac{53,76 [N] * (1500 \text{ mm})^3}{48 * 206,8 \times 10^3 \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right] * 7853,9 \text{ mm}^4}$$

$$y_{max.} = -2,32 \text{ mm}$$

La deflexión máxima de 2,32 mm se debe a la carga y al peso de la propia barra; esta no afecta al funcionamiento del corte por plasma debido a que en el componente (Z) se incorporará un sistema THC.

### Rodamientos lineales

Para el sistema de guiado componente (X), se seleccionará rodamientos lineales por su baja fricción y gran precisión para sistemas de continuo desplazamiento.



Figura 2.159 Rodamiento lineal usado en cada eje guía del sistema X.

Para obtener las RPM promedio a las que funcionarán los rodamientos lineales tomaremos una velocidad promedio de desplazamiento en función de las velocidades recomendadas para dos materiales en diferentes espesores, según catálogo del equipo plasma.

Tabla 2.8 Velocidades de avance recomendadas según catálogo equipo plasma.

Esesor [mm]	Vel. Avance recomendada [mm/min]	Vel. promedio [mm/min]
<b>Aluminio</b>		3270
1,2	9150	
12,7	510	
19,1	200	
<b>Acero al carbono</b>		
0,5	9150	
12,7	510	
25,4	100	

$$N = \frac{\text{Vel. avance}}{\text{paso husillo}}$$

$$N = \frac{3270 [mm/min]}{5 [mm/rev]}$$

$$N = 654 [rev/min]$$

La metodología a seguir es la del catálogo NTN-SNR (Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas):

$$L = \left( \frac{C}{F} * \frac{f_H f_T f_c}{f_w} \right)^3 * 50$$

$$F = W_{Neto4} = 72,34 [N]$$

**$f_H$ : factor de dureza del eje**

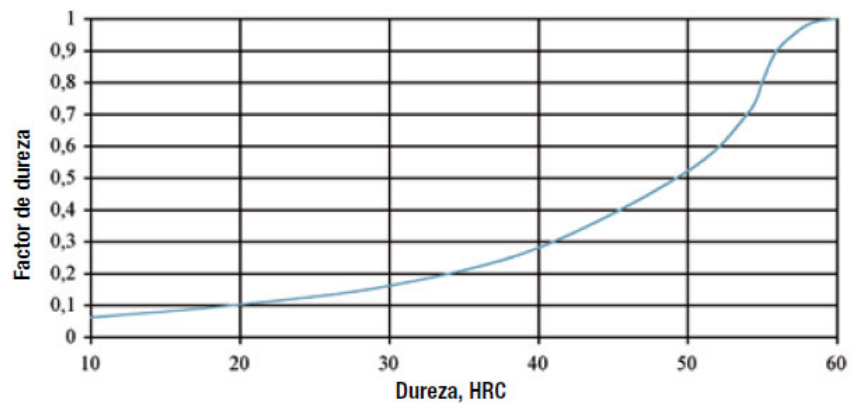


Figura 2.16. Factor de dureza del eje, catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.

Para eje macizo de acero AISI 1045 templado y rectificado la dureza es de 59+6 HRC, el catalogo recomienda que para ejes con dureza menores a 60 HRC se considera el factor de dureza.  $f_H = 1$

**$f_T$ : Factor de temperatura**

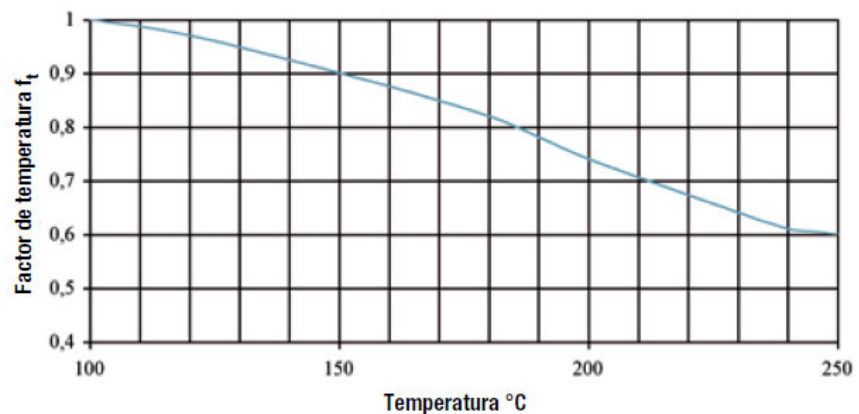


Figura 2.1710 Factor de temperatura, catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.



Recomendación del catálogo: Si la temperatura ambiente del rodamiento lineal de bolas supera los 100 °C durante el funcionamiento, hay que tener en cuenta los efectos negativos de dichas temperaturas altas.

En nuestro caso las temperaturas en el rodamiento no superaran los 27 °C, por lo tanto el  $f_T = 1$

**$f_c$ : Factor de contacto**

Recomendación catálogo: El utilizar varios rodamientos lineales de bolas con separación prácticamente nula entre ellos, el desplazamiento está influenciado por los pares y la precisión del montaje. Lo que resulta difícil obtener una distribución homogénea de las cargas. Para estos casos se deberá tener en cuenta un factor de contacto:

*Tabla 2.9 Factor de contacto, catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.*

Número de rodamientos lineales de bolas montados juntos	$f_c$
1	1,0
2	0,81
3	0,72
4	0,66
5	0,61

Se optará por utilizar un solo rodamiento lineal que tenga la longitud en base al diseño de forma, por lo tanto  $f_c:1$

**$f_w$ : Factor de carga**

Producto de las vibraciones y choques que se generan en las máquinas por los movimientos oscilatorios producidos durante el funcionamiento.

*Tabla 2.10 Factor de carga, catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.*

Condiciones de funcionamiento, velocidad V	$f_w$
Condiciones de funcionamiento normales, $V \leq 0,25$ m/s	1,0...1,5
Condiciones de funcionamiento normales con vibraciones/choques de baja intensidad, $0,25 < V \leq 1,0$ m/s	1,5...2,0
Condiciones de funcionamiento con vibraciones/choques de gran intensidad, $V > 2,0$ m/s	2,0...3,5

De acuerdo a la tabla del catálogo NTN  $f_w = 1,25$

$$C = \left(\frac{L}{50}\right)^{1/3} \cdot \frac{f_H f_T f_c}{f_w}$$

$L$ : vida nominal [km]

$$L = L_h * 2 * s * n_s * 60$$

$L_h$ : vida nominal [hr]  $\rightarrow$  25000 [hr]

$n_s$ : frecuencia de carrera [ $min^{-1}$ ]

La frecuencia de carrera indica el número de ciclos por minuto que realiza por una carrera mínima (x) de 50 mm.

$$t = \frac{x}{Vel. avance} \rightarrow 0,01552 [min]$$

Un ciclo corresponde a una ida y vuelta (vaivén)

$$0,01552 [min] \times 2 = 0,03104 [min/ciclo]$$

$$n_s = \frac{1}{2t} \rightarrow 32,2 [ciclos/min.]$$

$$L = 25000 [hr] * 2 * 50 [mm] * 32,2 [ciclos/min.] * 60$$

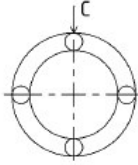
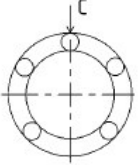
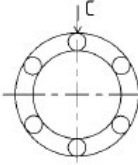
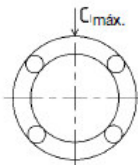
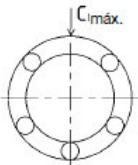
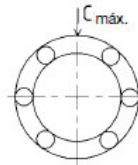
$$L = 4830 [km]$$

$$C = 787,52 [N]$$

Con el catálogo NTN-SNR Linear Motion: Rodamientos lineales de bolas, se selecciona rodamientos BBES20LA con  $C_r = 1440 [N]$ , realizando la corrección por el número de hileras (5, factor 1,28) queda un  $C_r = 1843,2 [N]$ .

### Relación entre los circuitos de bolas y la capacidad de carga

Rodamientos lineales de bolas cerrados y con juego ajustable

Número de circuitos de bolas	3	4	5
C (valor de capacidad de carga según los valores de la tabla)			
$C_{MAX}$ (capacidad de carga máxima)			
Coefficiente de carga $C_{MAX}/C$	1,414	1,463	1,280

La capacidad de carga del rodamiento lineal de bolas (cerrado y con juego ajustable) varía en función del punto de aplicación de la carga y del diámetro. El valor indicado en las tablas indica la capacidad de carga más baja en el caso de una carga aplicada en la parte superior de un circuito de bolas. Si la carga está aplicada entre dos circuitos de bolas, el valor aumenta. La tabla de arriba indica los valores de los factores de corrección en función del número de circuitos de bolas, en cada uno de los casos.

Figura 2.18 Factor de corrección para el  $C_r$ , catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.

Coefficiente de seguridad estático ( $f_s$ )

$$f_s = \frac{C_0}{F_{m\acute{a}x}}$$

$$C_0 = 2740 [N] \times 1,28 \rightarrow 3507,2 [N]$$

$$F_{m\acute{a}x} = 72,34 [N]$$

$$f_s = 56,2$$

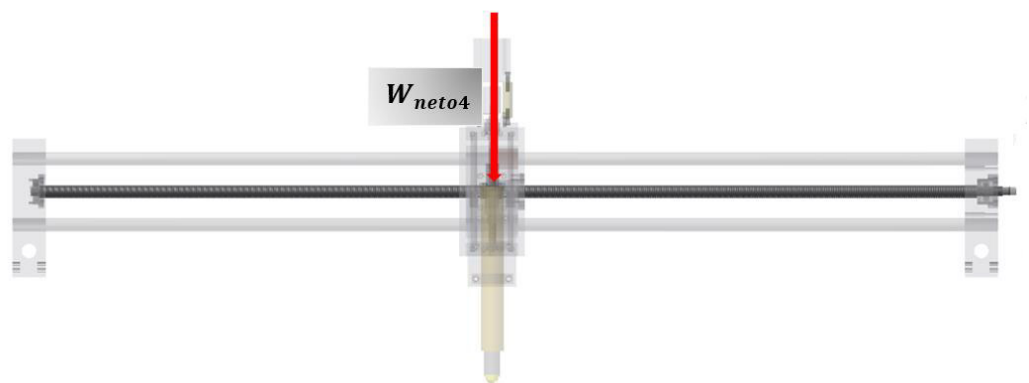
Si  $f_s > 2$

*Tabla 2.11 Recomendaciones para FS de acuerdo a las condiciones de funcionamiento, catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas*

Condiciones de funcionamiento	fs
Condiciones de funcionamiento normales	1 ... 2
Condiciones de choques y vibraciones de baja intensidad	2 ... 4
Condiciones de choques y vibraciones de media intensidad	3 ... 5
Condiciones de choques y vibraciones de gran intensidad	4 ... 6
Parámetros de carga desconocidos	6 ... 15

### Diseño del sistema de transmisión

Como elemento mecánico para transmitir potencia se optó por usar husillos de bola, la figura 2.19 presenta un esquema del ensamble de este husillo. El husillo será modelado como una viga sometida a flexión.



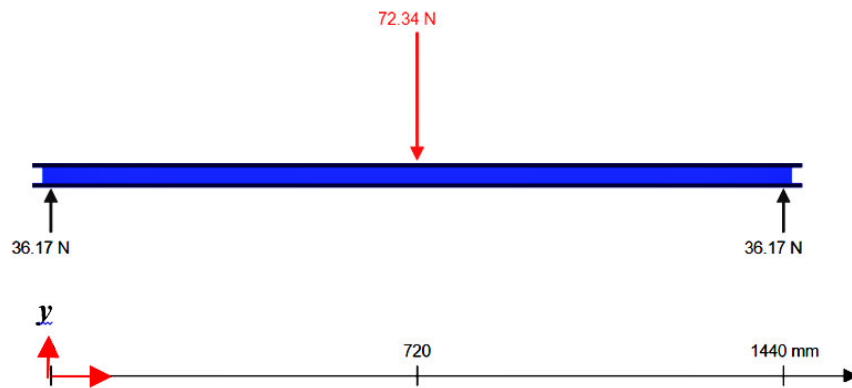
*Figura 2.1911 Esquema de fuerzas aplicada en el husillo de bolas del eje X.*

**Diámetro de husillo sometido a flexión:**

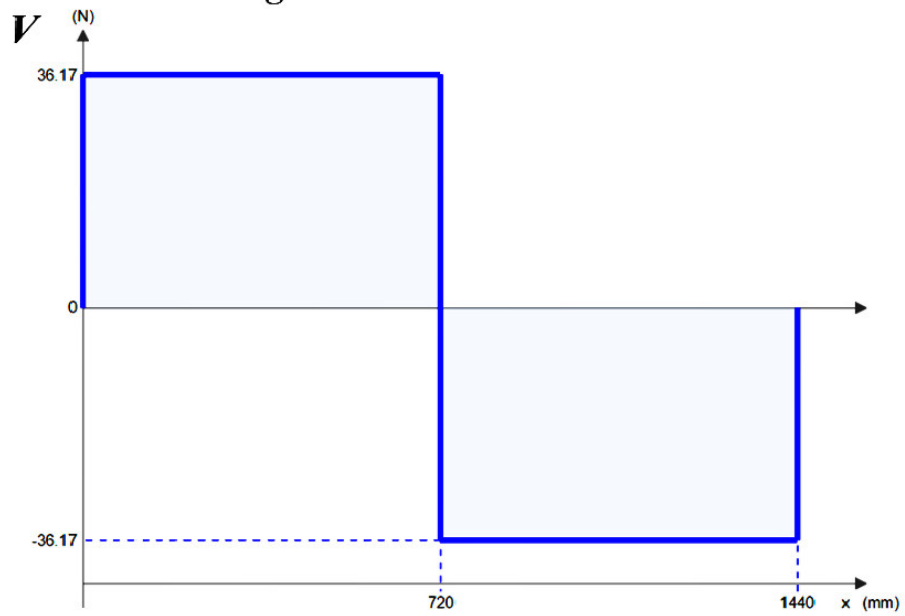
$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{MC}{I}$$

$$M = M_{m\acute{a}x.}$$

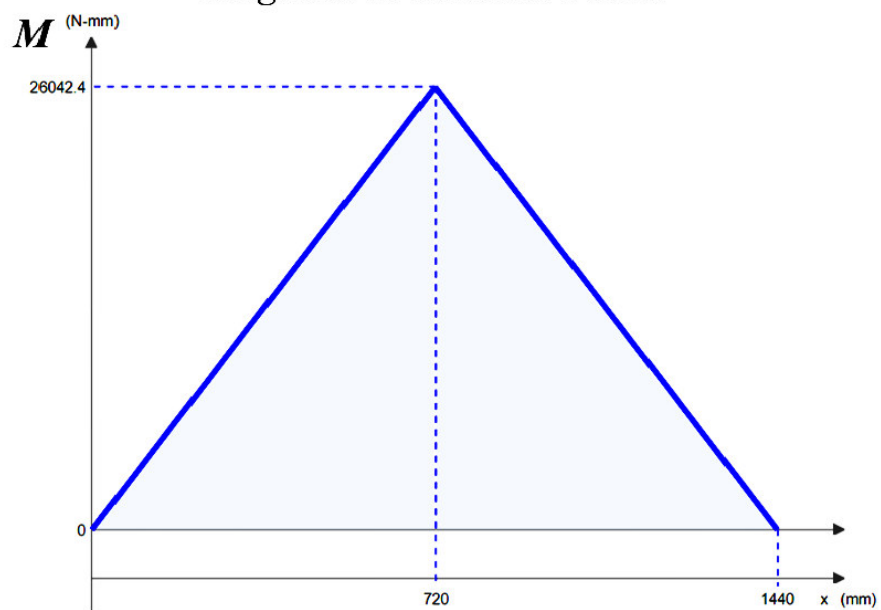
Esquema de viga simplemente apoyada para dimensionamiento del husillo de bolas con los diagramas de fuerza cortante y momento flector.



*Diagrama de Fuerza Cortante*



*Diagrama de Momento Flector*



Del diagrama de momento flector  $M_{m\acute{a}x.} = 26042,4 [N * mm]$

$$C = r$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{4M}{\pi * r^3}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4M}{\pi * \sigma_{m\acute{a}x.}}}$$

El material del husillo de bola es de acero AISI 1045 con  $S_y = 310 [MPa]$ , el Factor de seguridad (FS) de 4:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x.}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{S_y}{FS}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{310 [MPa]}{4}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = 77.5 [MPa]$$

Por lo tanto;

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 \times 26042,4 [N * mm]}{\pi \times 77.5 [N/mm^2]}}$$

$$r = 7,53 [mm]$$

$$d = 15,07 [mm]$$

El husillo de bolas a seleccionar es según el catálogo NTN-SNR Linear Motion: Husillos de bolas, BSH 02005 (diámetro nominal 20 y paso 5 mm) – L=1500 mm. Y tuerca SC 02005-3,8 - Compactada simple con brida según DIN 69051.

### Deflexión

$$y_{max.} = -\frac{W_{Neto4} * l^3}{48 * E * I}$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \rightarrow 7853,9 mm^4$$

$$y_{max.} = -\frac{72,34 [N] * (1500 mm)^3}{48 * 206,8 \times 10^3 [N/mm^2] * 7853,9 mm^4}$$

$$y_{max.} = -3,1 mm$$

Cabe recalcar que el modelo real el husillo no soporta toda la carga, pero se analizó este caso crítico para un diseño más conservador.

### Torque para desplazamiento de la carga

El par de arrastre para la transformación del movimiento de rotación en movimiento lineal, según catálogo NTN-SNR Linear Motion: Husillos de bolas se determina con la siguiente ecuación:

$$M_{ta} = \frac{W_{Neto4} * paso\ husillo}{2\pi * \eta}$$

$\eta$ : 0,9 → Rendimiento del husillo de bolas para par de arrastre.

$$M_{ta} = \frac{72,34 [N] * 5\ mm}{2\pi * 0,9}$$

$$M_{ta} = 63,96\ N \cdot mm$$

### Selección de rodamientos

Se cuenta con el diámetro interno del rodamiento (DI), a partir del husillo de bolas seleccionado, según catálogo del husillo los extremos mecanizados tienen DI de 15 mm. La selección de estos rodamientos son los recomendados por el fabricante del husillo de bolas, los mismos que incluyen en el conjunto husillo de bolas, la serie de estos es 6002

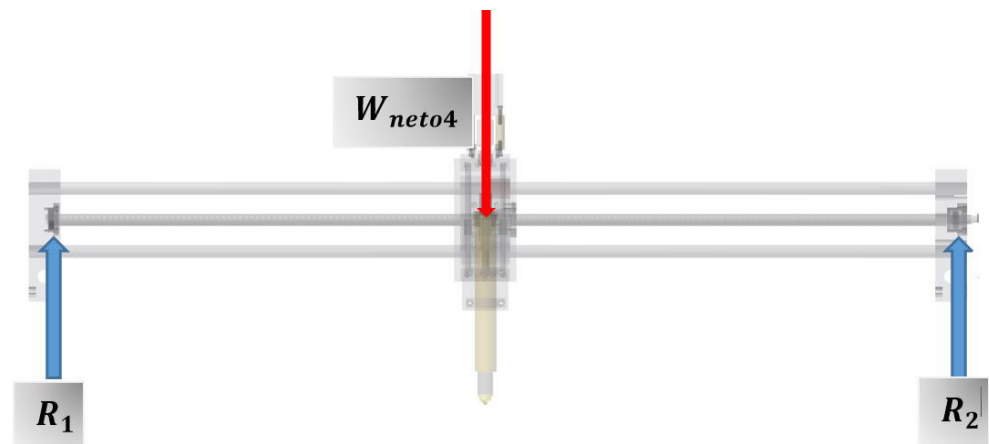


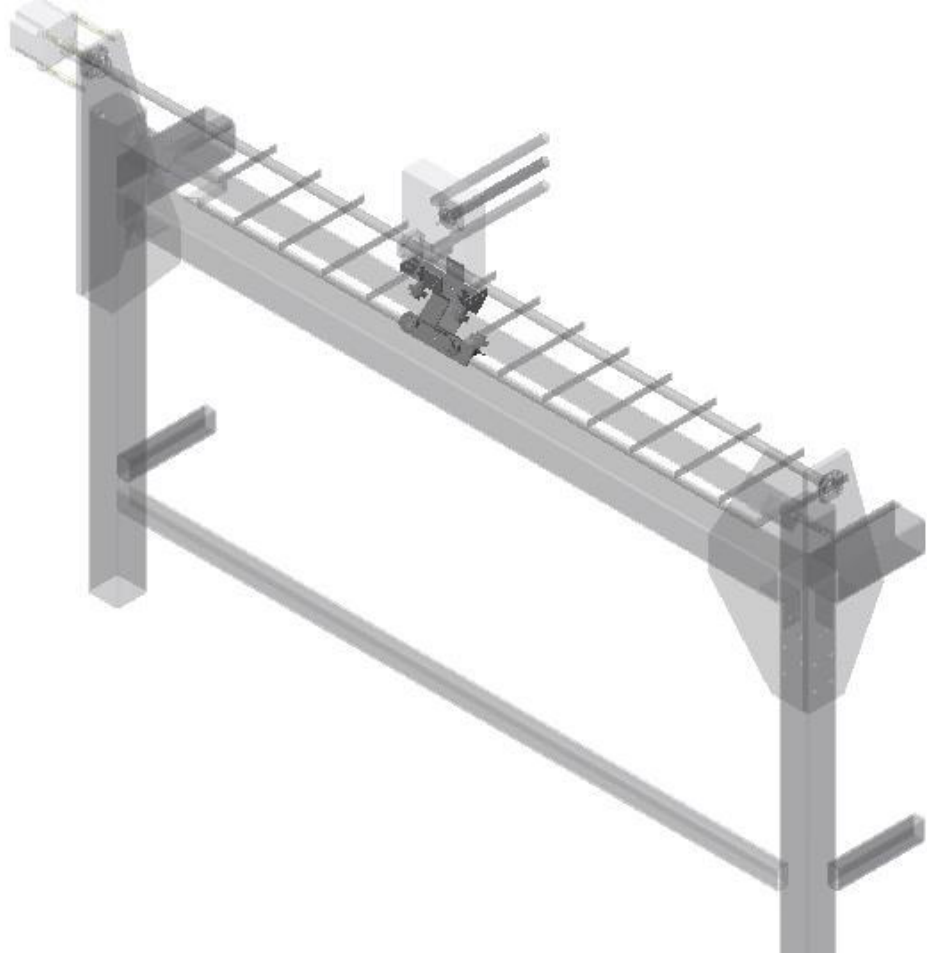
Figura 2.20 Esquema de fuerzas sobre los rodamientos radiales del husillo de bolas eje X.

Los bloques en donde van ensamblados los rodamientos son dimensionados por diseño de forma en base a los componentes del eje X i Y.

## 2.2.5. Diseño del componente de guiado lineal longitudinal (Y)

### Diseño del sistema de guiado lineal eje Y

El esquema para determinar las cargas que actúan sobre cada guía es el siguiente:



*Figura 2.21 Sistema de guiado para el eje Y, conjuntamente ensamblado los componentes X y Z.*

En el diseño de forma del sistema de guiado con rullinas, el análisis corresponderá a determinar las dimensiones del tubo cuadrado detallado en el diseño de forma y comprobar que los rodamientos rígidos de bolas seleccionados por diseño de forma soporten la carga aplicada:

### **Selección de rodamientos de bolas**

La Metodología a emplear corresponde al catálogo NTN – Rodamiento de bolas y de rodillos No. 2202-VII/S

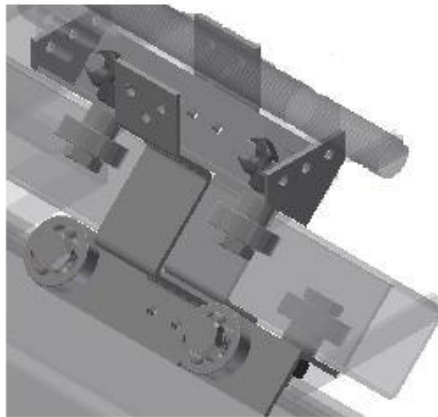


Figura 2.22 Detalles del ensamble del conjunto rulinas para el sistema de guiado Y.

Cargas a soportar por los rodamientos:

$$W_{Neto4} = 72,34 \text{ [N]}$$

$$m_{Ejes\ guias\ x} = 3,7 \text{ kg} \times 2 \rightarrow W_{Ejes\ guias\ x} = 72,52 \text{ [N]}$$

$$m_{Husillo} = 3,5 \text{ kg} \rightarrow W_{Husillo} = 34,3 \text{ [N]} \text{ (catalogo)}$$

$$m_{Tuerca} = 0,36 \text{ kg} \rightarrow W_{Tuerca} = 3,53 \text{ [N]} \text{ (aprox.)}$$

$$m_{rod.\ lineales} = 0,18 \text{ kg} \times 2 \rightarrow W_{Rod.Lineales} = 3,53 \text{ [N]}$$

$$m_{rod.\ radiales} = 0,33 \text{ kg} \times 2 \Rightarrow W_{rod.radiales} = 6,5 \text{ [N]} \text{ (aprox.)}$$

$$m_{Bloques\ Y} = 3,83 \text{ kg} \times 2 \rightarrow W_{Bloques\ Y} = 71,14 \text{ [N]}$$

$$m_{seguridad} = 1,0 \text{ kg} \rightarrow W_{seguridad} = 9,81 \text{ [N]}$$

$$W_{Neto5} = \sum W_i$$

$$W_{Neto5} = 273,67 \text{ [N]}$$

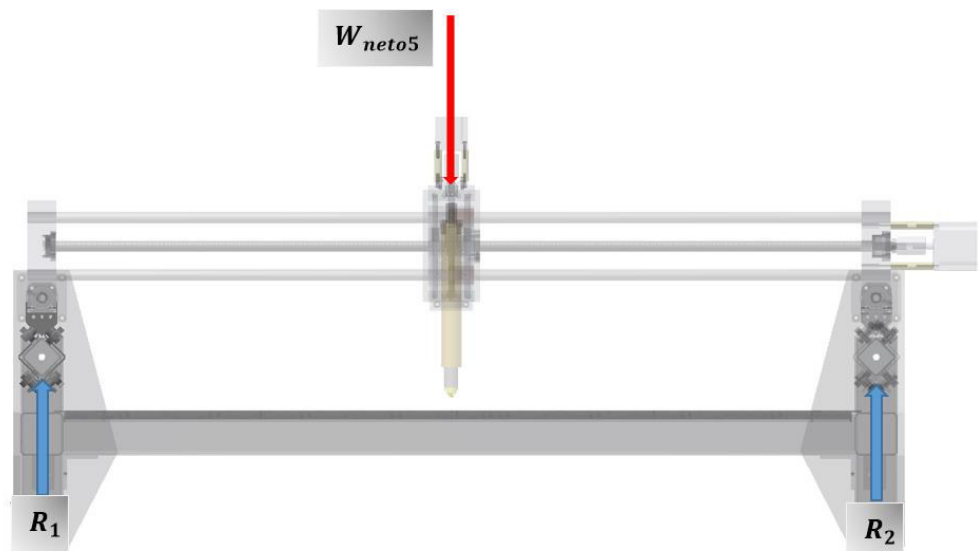


Figura 2.2123 Esquema de distribución de la carga sobre las guías.



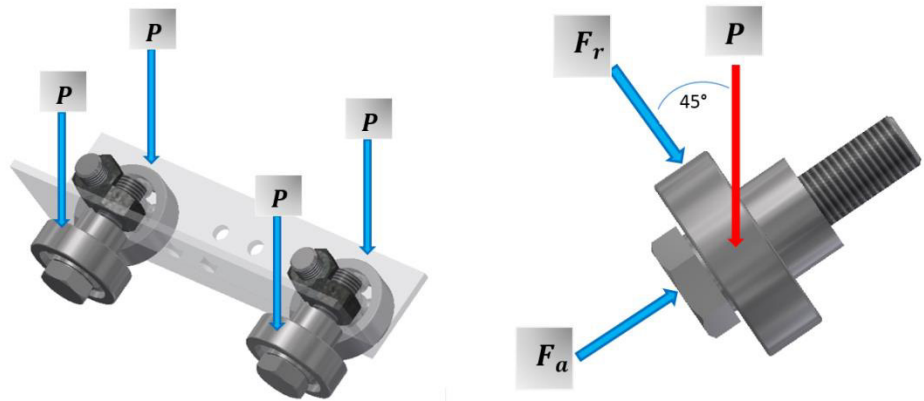


Figura 2.24 Distribución de fuerzas sobre cada rodamiento.

La carga sobre cada rodamiento es  $P = \frac{W_{Neto5}}{8} = 34,20 [N]$ , el cual se descompone en dos fuerzas,  $F_a = P \cos 45^\circ$  y  $F_r = P \sin 45^\circ$ .

La comprobación de si los rodamientos de bolas a seleccionar corresponden a uno radial o axial es mostrada a continuación:

$$\frac{F_r}{F_a} < 0,55 \rightarrow \text{rodamiento axial}$$

$$\frac{24,18 [N]}{24,18 [N]} = 1 < 0,55 \rightarrow \text{FALSO} - \text{rod. radial}$$

$$C_r = \left[ \frac{60 \times L_{10h} \times N}{10^6} \right]^{1/p} \times P_r$$

$N=654 [rev/min]$  → en función de la vel. avance  
 $p: 3$  para rod. bolas

$L_{10h} = 30 \times 10^3 [hr]$  : Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos, husillos de máquinas (Catálogo NTN-Tabla 3.4 Aplicaciones en maquinarias y vida requerida-referencia pág. A19)

$$C_r = [10,5] * P_r$$

$$P_r = X F_r + Y F_a$$

Iniciamos asumiendo un  $X=1$  y  $Y=0$ ;

$$P_r = F_r \rightarrow 24,18 [N]$$

$$C_r = [10,5] \times 24,18 [N]$$

$$C_r^* = 255,3 [N]$$

Haciendo referencia al diseño de forma planteado, se selecciona el rodamiento 6300 según catálogo:

$$C_r = 8,20 \text{ [kN]}$$

$$f_o = 11,4$$

$$C_{ro} = 3,50 \text{ [kN]}$$

$$\frac{f_o * F_a}{C_{or}} \rightarrow \frac{11,4 * 24,18 \text{ [N]}}{3,50 \text{ kN}} \rightarrow 0,078$$

Extrapolando para encontrar  $e$

$$e = 0,1737$$

$$\frac{F_a}{F_r} \rightarrow 1$$

$$\text{Caso } \frac{F_a}{F_r} > e$$

$$X=0,56 \text{ y } Y=2,46;$$

$$P_r = XF_r + YF_a$$

$$P_r = 73,02 \text{ [N]}$$

Recalculando el  $C_r^*$

$$C_r^* = [10,5] \times 73,02 \text{ [N]}$$

$$C_r^* = 766,74 \text{ [N]}$$

Se puede notar que el  $C_r^* = 766,74 \text{ [N]}$  recalculado es menor que el  $C_r = 8,20 \text{ kN}$  según catálogo del rodamiento rígido de bolas 6300, por lo tanto el rodamiento seleccionado es NTN – 6300.

Verificación de la carga estática:

$$S_o = \frac{C_{or}}{P_{or}}$$

$$P_{or} = 0,6F_r + 0,5F_a;$$

$$P_{or} = 0,6 \times 24,18 \text{ [N]} + 0,5 \times 24,18 \text{ [N]} \rightarrow 26,6 \text{ [N]}$$

Para este caso  $P_{or} > F_r$ ; por lo tanto  $P_{or} = 26,6 \text{ [N]}$

$$S_o = \frac{3,50 \times 10^3 \text{ [N]}}{26,6 \text{ [N]}}$$

$$S_o > 2$$

Lo que indica que no existirán problemas por deformaciones excesivas

Tabla 2.12 Catálogo NTN-Rodamientos de bolas y de rodillos No. 2202-VII/S.

**Carga radial dinámica equivalente**

$$P_r = XF_r + YF_a$$

$\frac{f_o \cdot F_a}{C_{or}}$	$e$	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0.172	0.19				2.30
0.345	0.22				1.99
0.689	0.26				1.71
1.03	0.28				1.55
1.38	0.30	1	0	0.56	1.45
2.07	0.34				1.31
3.45	0.38				1.15
5.17	0.42				1.04
6.89	0.44				1.00

**Carga radial estática equivalente**

$$P_{or} = 0,6F_r + 0,5F_a$$

Cuando  $P_{or} < F_r$  use  $P_{or} = F_r$

Tabla 2.13 Valores mínimos del factor de seguridad  $S_0$ , catálogo NTN-Rodamientos de bolas y de rodillos No. 2202-VII/S.

Condiciones de operación	Rodtos. de bolas	Rotos. de rodillos
Requerimiento de alta precisión rotacional	2	3
Requerimiento de precisión rotacional normal (Aplicación universal)	1	1.5
Permite ligero deterioro de la precisión rotacional (Baja velocidad, altas cagas, etc.)	0.5	1

- Notas 1: Para rodamientos axiales de rodillos esféricos, el valor mínimo de  $S_0=4$ .  
 2: Para rodamientos de aguja con cubierta, el valor mínimo de  $S_0=3$ .  
 3: Cuando se presenten cargas de impacto y/o vibración, un factor de carga basado en los requerimientos para cargas de impacto debe ser considerado en la determinación del valor máximo de  $P_0$ .  
 4: Si una considerable carga axial es aplicada a los rodamientos rígidos de bolas o a los de bolas a contacto angular, el óvalo de contacto puede exceder los límites de la superficie de la pista. Para mayor información, por favor contactar a Ingeniería de NTN.

Los pernos que sujetan los rodamientos son M10 x 30 mm, por diseño de forma y el diámetro interno de los rodamientos seleccionados.

### Análisis de la guía como viga sometida a flexión:

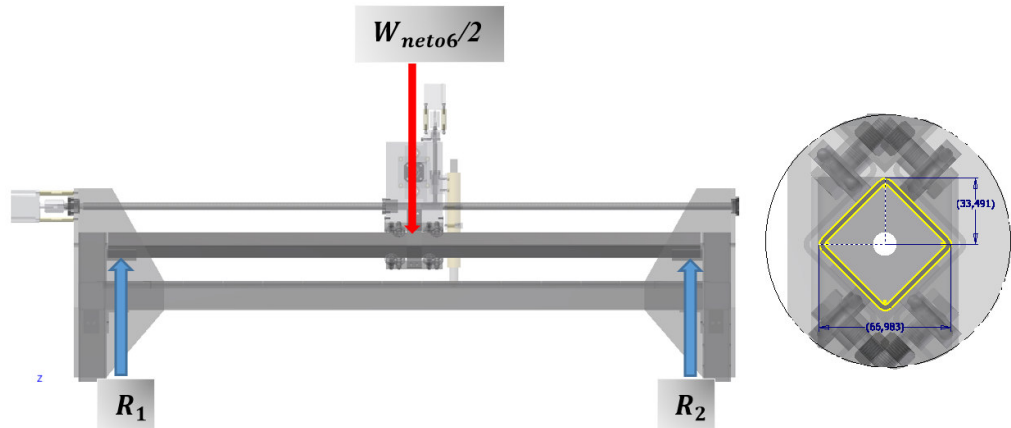


Figura 2.25 Esquema de fuerzas sobre la guía del eje Y.

Longitud: 1564 mm (diseño de forma)

Cargas a soportar por las guías:

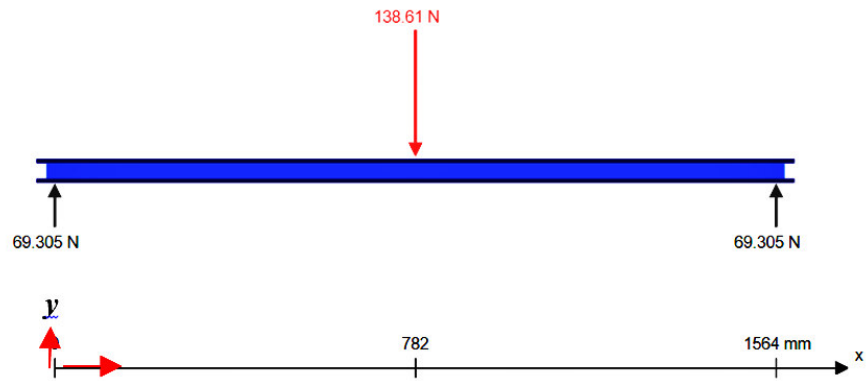
$$W_{Neto5} = 273,67 [N]$$

$$m_{Sist. rulinas} = 1,78 \text{ kg} \times 2 \rightarrow W_{bloque X} = 3,56 [N]$$

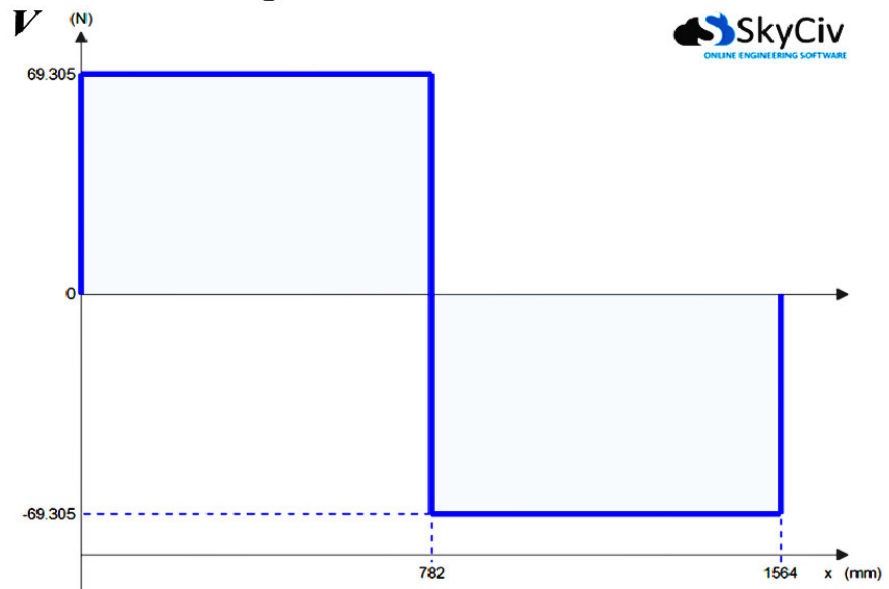
$$W_{Neto6} = \sum W_i$$

$$W_{Neto6} = 277,23 [N]$$

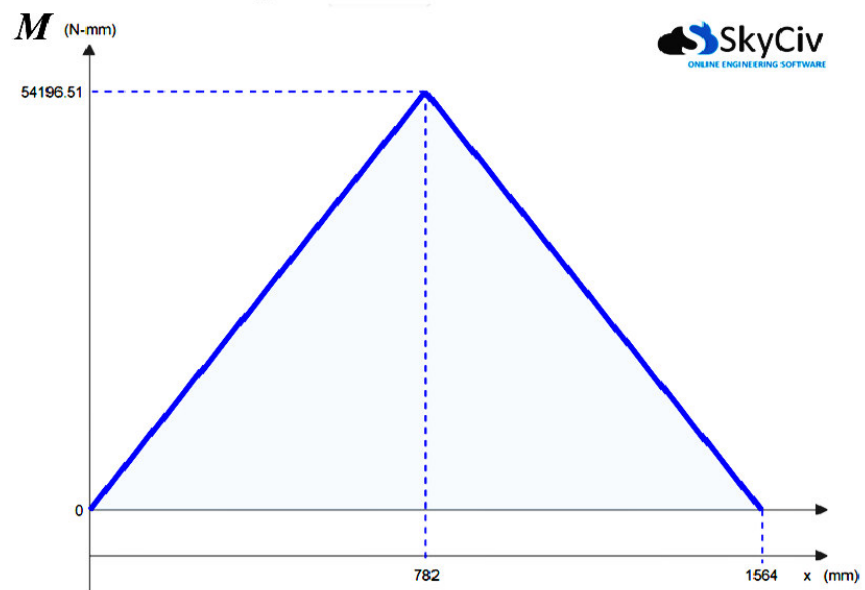
Esquema de viga simplemente apoyada para dimensionamiento perfil guía, con los diagramas de fuerza cortante y momento flector.



*Diagrama de Fuerza Cortante*



*Diagrama de Momento Flector*



Las cargas que soportarán cada perfil guía corresponde a  $W_{Neto6}/2$  :

$$W_{c/guia} = \frac{277,23 [N]}{2} \rightarrow 138,61 [N]$$

$$W_{c/guia} = 138,61 [N]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{MC}{I}$$

$$M = M_{m\acute{a}x.}$$

Del diagrama de momento flector  $M_{m\acute{a}x.} = 54196,5 [N * mm]$

$$S = \frac{I}{C}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{M}{S}$$

$$S = \frac{M}{\sigma_{m\acute{a}x.}}$$

El material de los perfiles guías será ASTM A-500 con  $S_y = 310 [MPa]$  y Factor de seguridad (FS) de 4:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x.}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{S_y}{FS}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{310 [MPa]}{4}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = 77.5 [MPa]$$

Por lo tanto;

$$S = \frac{M}{\sigma_{m\acute{a}x.}}$$

$$S = \frac{54196,5 [N * mm]}{77.5 [N/mm^2]}$$

$$S = 699,3 mm^3 \rightarrow 0,69 cm^3$$

Ver Apéndice G, especificaciones generales del tubo estructural cuadrado DIPAC

Por diseño de forma el perfil seleccionado es un tubo estructural cuadrado 50x50x3 mm, y de los catálogos DIPAC el  $S = 8,48 cm^3$  , ya que lo mínimo es de  $S_{min.} = 0,69 cm^3$ . Lo que implica que si soportará la carga de diseño.

### Análisis de la junta empernada

El diseño de forma muestra la sujeción del perfil guía hacia la bancada mediante pernos.

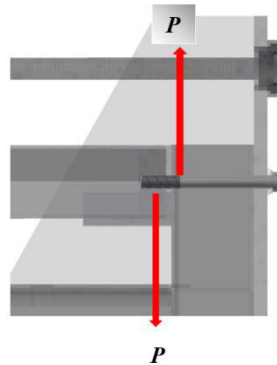


Figura 2.2613 Esquema de fuerzas en junta empernada sometida a cortante del perfil guía de las rulinas.

Ver Apéndice H; Metodología empleada para dimensionar los pernos. Se seleccionó un perno M12 x 120 mm rosca basta, complementado por el diseño de forma.

### Diseño del sistema de transmisión del eje Y

Diámetro de husillo sometido a flexión:

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{MC}{I}$$
$$M = M_{m\acute{a}x.}$$

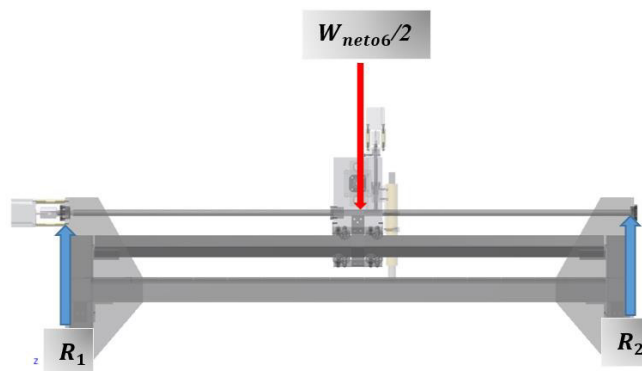


Figura 2.27 Esquema de fuerzas sobre el husillo de bolas del eje Y.

Ver Apéndice I; Metodología de diseño empleada para dimensionar el diámetro del husillo de bolas.

El husillo de bolas a seleccionar es según el catálogo NTN-SNR Linear Motion: Husillos de bolas, BSH 02005 (diámetro nominal 20 y paso 5 mm) – L=1800 mm. Y tuerca SC 02005-3,8 - Compactada simple con brida según DIN 69051.

El torque necesario es  $M_{ta} = 122,5 N \cdot mm$ .

### 2.2.6. Diseño de la mesa de trabajo

Las dimensiones generales de la mesa de trabajo son definidas por la necesidad de cortar planchas metálicas de dimensiones comerciales de  $1220 \times 2440 \text{ mm}$ , considerando los diseños de los componentes longitudinales y transversal se realizaron adecuaciones a la mesa de trabajo. Transversal  $1550 \text{ mm}$ , Longitudinal  $1750 \text{ mm}$  y la altura de  $1000 \text{ mm}$ , conforme a la ergonomía y comodidad para el operador. (Ver planos esquemáticos).

En el análisis estructural efectuado a la mesa de trabajo se realizó un modelo de distribución de carga conservador, en donde la carga presente es de una plancha de acero A36 con dimensiones máximas de  $1220 \times 1220 \times 12,7 \text{ mm}$ , se asume en la simulación estructural que la plancha no tiene rigidez y se deforma.

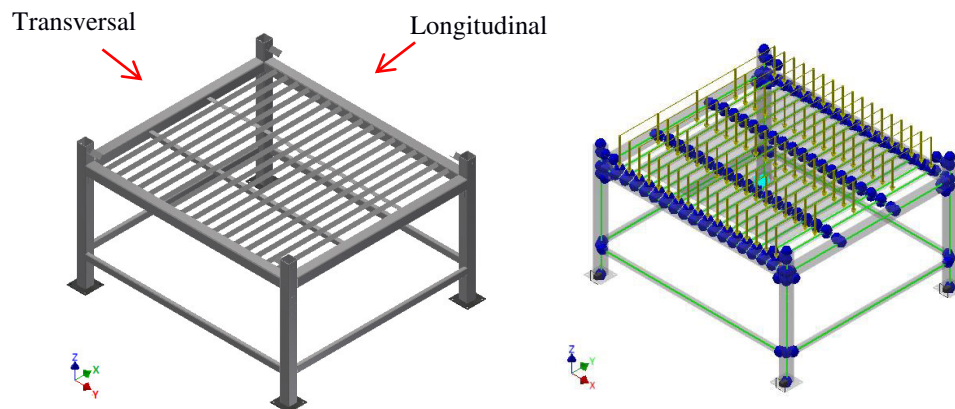


Figura 2.28 (a) Mesa de trabajo, (b) Distribución de cargas.

Los resultados del análisis estructural detallan que las columnas (patas) de la mesa no se pandean, pero que bajo este modelo existiría una deformación máxima de  $\frac{1}{2} \text{ mm}$  en la parte central de la rejilla, lo que en realidad no es significativo y no ocurre debido a que la rigidez de la plancha no permitiría esa deformación.

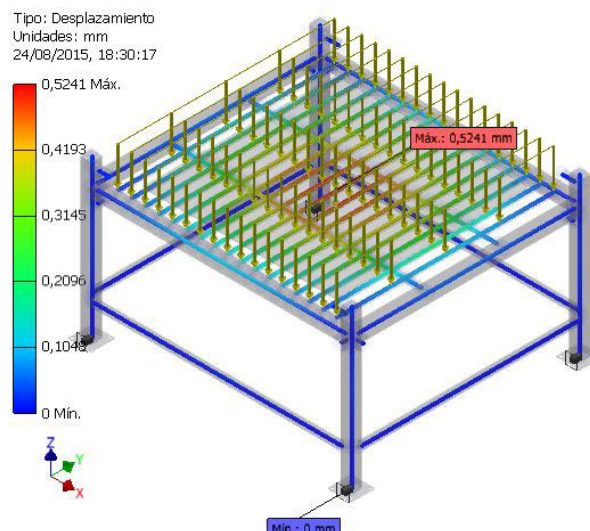


Figura 2.29 Simulación estructural de la deformación de la mesa de trabajo.

En el reporte de resultados se tiene que el esfuerzo máximo es de 18 MPa, lo cual es apenas el 7% de la resistencia del material de los perfiles estructurales del marco y la rejilla (250 MPa).

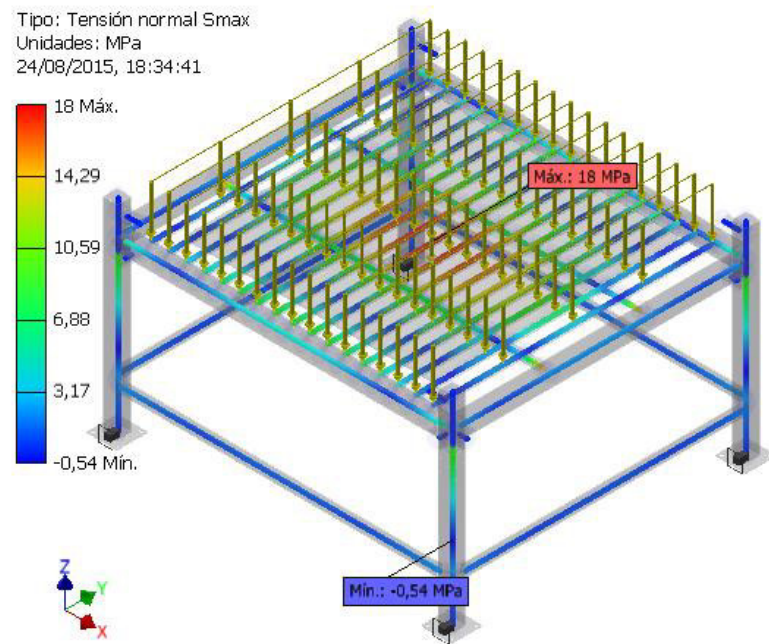


Figura 2.30 Análisis de tensión en los elementos de la mesa de trabajo.

### 2.2.7. Implementación del sistema de control

El siguiente esquema describe la relación entre los diferentes elementos para el control y automatización; La selección de cada uno de estos componentes se realizará a continuación:

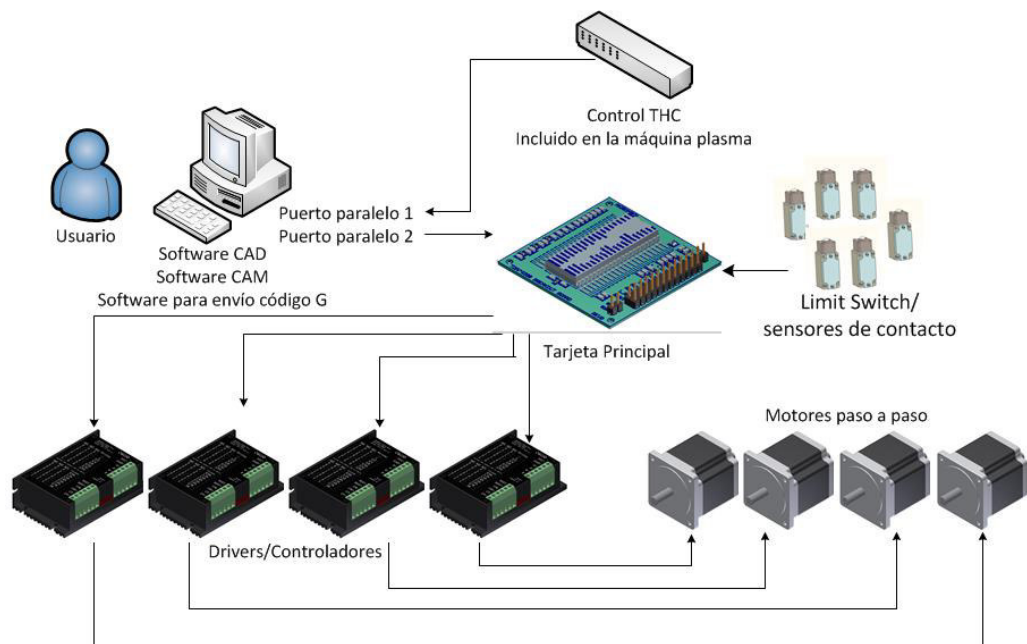


Figura 2.3141 Interacción de control entre usuario y equipo plasma.



### **Selección de actuadores**

El tipo de actuadores a seleccionar son motores paso a paso, descritos en la sección de diseño conceptual/sistema de control. Los parámetros necesarios para la selección son los torques determinados:

$Torque_z = 42,60 N * mm \rightarrow 6,03 oz * in$ , necesario para elevar y bajar la antorcha.

$Torque_x = 63,96 N * mm \rightarrow 9,06 oz * in$ , necesario para el desplazamiento transversal.

$Torque_y = 122,5 N * mm \rightarrow 17,35 oz * in$ , necesario para el desplazamiento longitudinal.

Del catálogo Probotix, se seleccionará los motores a paso en función del torque nominal y considerando el diseño de forma para la sujeción del motor.

La selección corresponde a un motor paso a paso de torque nominal 180 oz\*in híbrido Frame Nema 23, de resolución de la posición de la carga de 1,8°/200 pasos por revolución, 8 wire con posibilidad de conexión unipolar o bipolar. Se opta por seleccionar estos para los tres ejes, teniendo en consideración que están sobre-dimensionados.

### **Selección de acoples para actuadores – transmisión de potencia**

Los acoples que se utilizarán son los del tipo directo flexibles y como elementos flexionantes quijada de goma; Ver Apéndice J. La metodología a seguir para cada unión entre eje conductor y conducido es tomada del catálogo Lovejoy coupling solutions Jaw:

Para el sistema Z se tiene el diámetro del eje conducido (husillo de bolas) de 8 mm y los motores a paso Frame Nema 23 de 6,35 mm de diámetro.

Torque Nominal:  $180 oz * in \rightarrow 1,27 N * m \rightarrow 11,25 lb * in$

Torque de diseño:  $T_{diseño} = T_{nominal} \times factor\ de\ aplicación$

Tabla 2.14 Factores de aplicación, catálogo Lovejoy coupling solutions.

$$T_{diseño} = 1,27 N * m \times 1,5$$

$$T_{diseño} = 1,91 N * m$$

El material seleccionado para la junta es un elastómero NBR de la tabla de datos de desempeño del catálogo, según las características de operación presentes durante el funcionamiento de la máquina.

Tabla 2.15 Datos de desempeño de la junta elastomérica, catálogo Lovejoy coupling solutions.

Notes: ■ 1 indicates: NBR standard shore hardness is 80A ±5A – Except L035-60A. Other softer or harder designs are available in NBR material; consult Lovejoy.  
 ■ 2 indicates: Chemical Resistance chart shown in Engineering Data Section (page ED-9).

Haciendo uso de Tabla 16 del catálogo lovejoy, una vez seleccionado el material del elastómero se deberá seleccionar en función del torque de diseño un tamaño del acople, teniendo presente que se debe seleccionar uno que exceda el torque de diseño, así como también las

dimensiones máximas para los diámetros de los ejes conductor y conducido. La selección corresponde a un acople de tamaño L/AL050 con elastómero NBR para diámetro máximo de 16 mm, lo cual el diámetro máximo del sistema Z es de 8 mm del husillo de bolas y 6, 35 mm del Motor paso a paso.

Tabla 2.16 Valores de torques recomendados para diferentes materiales de elastómeros, y determinar el tamaño del acople.

Jaw Nominal Rated Torque Data

Chart 3

Size	Max Bore		Spider Material							
	In	mm	SOX (NBR) Torque		Urethane Torque		Hytre Torque		Bronze Torque	
			In-lbs	Nm	In-lbs	Nm	In-lbs	Nm	In-lbs	Nm
L035	0.375	9	3.5	0.4	—	—	—	—	—	—
L/AL050	0.625	16	26.3	3.0	39	4.5	50	5.60	50	5.60
L/AL070	0.750	19	43.2	4.9	65	7.3	114	12.90	114	12.90
L/AL075	0.875	22	90.0	10.2	135	15.3	227	25.60	227	25.60
L/AL090	1.000	25	144.0	16.3	216	24.4	401	45.30	401	45.30
L/AL095	1.125	28	194.0	21.9	291	32.9	561	63.40	561	63.40

Para la serie del elastómero con el tamaño del acople L/AL050 según catálogo Lovejoy hacemos uso de la siguiente tabla.

Tabla 2.17 Selección del número UPC para el tipo de junta elastomérica.

L Type Spider UPC Number Selection Table

Spider Type	Coupling Size										
	L035	L050	L070	L075	L090/095	L099/100	L110	L150	L190	L225	L276
SOX (NBR) (Solid)	10118	10194	10406	10621	11070	11494	11724	12001	12274	12409	—
SOX (NBR) (open center)	—	—	10393	10620	10968	11492	11711	37880	37881	12406	12612
Urethane (Solid)	—	37786	10395	—	—	—	—	—	—	12417	—
Urethane (open center)	—	—	10411	10626	11075	11499	11729	12006	12280	—	—
Hytre® (Solid)	—	25307	—	—	—	—	11717	11993	12265	12401	—
Hytre® (open center)	—	—	25308	25309	25310	11486	38097	38098	38099	12400	—
Bronze (open center)	—	10198	10409	10624	11073	11497	11727	12004	12277	34517	25767
Snap Wrap (NBR) w/ring	—	—	—	—	24669	24670	24671	24672	24673	—	—
Snap Wrap (NBR) w/o ring	—	—	—	—	11071	11495	11725	12002	12275	—	—
SOX (NBR) Bulk - pk 25	50115	50116	50117	50118	50119	—	—	—	—	—	—
SOX (NBR) Bulk - pk 10	—	—	—	—	—	51020	50121	50122	—	—	—
Snap Wrap Urethane - solid ring	—	—	—	—	—	41170	41171	—	28284	26093	—
In-Shear Elastomer	—	—	—	—	67576	67577	67578	67579	67580	68559	67581
In-Shear Ring	—	—	—	—	67584	67585	67586	67587	67588	68560	67589

Note: ■ When referencing the Lovejoy UPC number in this table, include 685144 as a prefix to the number shown.

La serie UPC del elastómero seleccionada es 6851544-10194, y para la serie de la mordaza la siguiente tabla es empleada:

Tabla 2.18 Selección de la serie de la mordaza con el número UPC del elastómero y del diámetro de agujero del eje.

L Type Hub - Metric Bore and Keyway UPC Number Selection Table

Bore	Keyway	L035	L050	L070	L075	L090	L095	L099	L100	L110	L150	L190	L225	L276
4	No Keyway	41850	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	No Keyway	47419	46214	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	No Keyway	45872	50351	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	No Keyway	60679	10215	58803	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	No Keyway	55169	41460	46151	—	60945	—	—	—	—	—	—	—	—
9	3 x 1.4	—	41313	56177	44298	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	No Keyway	—	10216	41452	41456	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	3 x 1.4	—	41450	49870	41457	52828	—	—	—	—	—	—	—	—
11	4 x 1.8	—	41314	41453	50811	—	49424	—	—	—	—	—	—	—
12	No Keyway	—	48510	51562	—	48276	—	—	—	—	—	—	—	—
12	4 x 1.8	—	41315	41454	44153	44329	44832	—	55195	—	—	—	—	—
14	No Keyway	—	58036	47505	—	41461	41465	—	—	—	—	—	—	—

La serie de la mordaza seleccionada es 685144-46214 sin chaveta de agujero 5 mm, para posterior mecanizado a medida.

Z: L-050 (2 mordazas) / elastómero 6851440194 / HUB motor 685144 40214 HUB husillo 685144 41460 (sin chavetero).

Para los sistemas X i Y se realizó el mismo procedimiento, los seleccionados son:

X: Diámetro del eje conducido (husillo de bolas) de 10 mm y los motores a paso Frame Nema 23 de 6,35 mm de diámetro.

Corresponde un acople: L-050 (2 mordazas) / elastómero 6851440194 / HUB motor 685144 40214 HUB husillo 685144 48510 (sin chavetero).

Y: Diámetro del eje conducido (husillo de bolas) de 10 mm y los motores a paso Frame Nema 23 de 6,35 mm de diámetro.

Corresponde un acople: L-050 (2 mordazas) / elastómero 6851440194 / HUB motor 685144 40214 HUB husillo 685144 10216 (sin chavetero).

### **Selección de tarjeta principal, controladores y fuente de poder**

La selección de este tipo de elementos se realizará en función de las características y recomendaciones de Probotix, esta tarjeta principal es la que se encargará de traducir los requerimientos del usuario indicados en los Software CAD/CAM y envío del código. La tarjeta a seleccionar tiene la capacidad para el control de 3 ejes básicos más 1 adicional, el control de fines de carrera. Se consideró la compatibilidad con el software para control mediante puerto paralelo, la serie de la tarjeta corresponde a PBZ-RX.

### **Controladores o Drivers**

La selección de los drivers se la realizó en función del amperaje de los motores paso a paso, así como también considerando la recomendación por el Frame del motor, los drivers serán los que den las señales para el accionamiento de los motores paso a paso indicadas por el usuario en el software.

La serie del driver seleccionado de acuerdo a Probotix es MondoStep 4.2 Bipolar, este mismo driver es seleccionado para los cuatro motores paso a paso. VER APENDICE K.

### **Fuente de Poder**

Para la selección de la fuente de poder se considerará el voltaje nominal y los amperajes mínimos y máximos presentes en la alimentación de poder a los elementos electrónicos, por factibilidad se seleccionará una sola fuente para todo de 24 V – 8,5 A.

### **Selección de sistemas de protección**

A continuación se detallarán los mecanismos y partes que involucren salvaguardar la integridad del operador y la máquina:

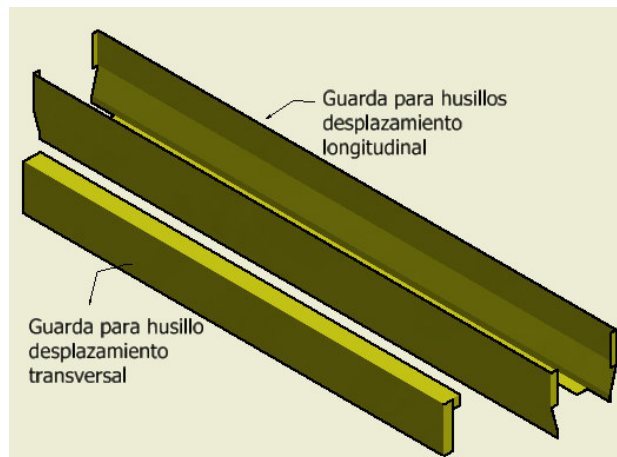
### **Fines de carrera o sensores de contacto**

Este tipo de dispositivo electrónico es ensamblado al final del recorrido o de un elemento móvil, los interruptores de accionamiento los hay normalmente abiertos (NA) y normalmente cerrados (NC). Considerando la confiabilidad del funcionamiento y seguridad seleccionaremos sensores NC, de esta manera cuando algún factor ajeno al funcionamiento y operación, como deterioro del cable, es de fácil identificación la causa raíz del problema. Este tipo de sensores NC es activado cuando es desconectado por el mecanismo de accionamiento, dentro de esto mecanismos de accionamientos más comunes están los pulsadores de émbolos o rodillos.

Los fines de carreras seleccionados por factor ensamble son del tipo QL Micro Limit Switches (Catálogo Panasonic Limit Switches 06-07) AZ4001 para cada uno de los ejes. VER APENDICE L.

### **Guardas de protección**

Ubicadas en los componentes de deslizamiento transversal y longitudinal para asegurar el correcto funcionamiento y limpieza: de los husillos de bolas (transversal y longitudinales) y las rulinas longitudinales. Formadas por planchas metálicas plegadas de 0,5 mm de espesor.



*Figura 2.32 Guardas de protección.*

### **Selección del software libre para control**

La interacción necesaria para el software de control encargado de enviar el código G es con los software CAD y CAM. Para los diseños CAD es suficiente un software de diseño 2D con extensión .DXF (Drawing Exchange Format) el cual es un formato de archivo

informático de intercambio, importación o exportación para la fácil lectura de un croquis 2D a trazar.

El software CAM necesario para generar el código G (LazyCam) forma parte de la plataforma del software para el envío del código G (Mach 3), el Mach 3 se encarga de la interacción entre lo programado y lo ejecutado durante la operación de la máquina.

Este es un software libre con acceso a la versión para estudiantes.

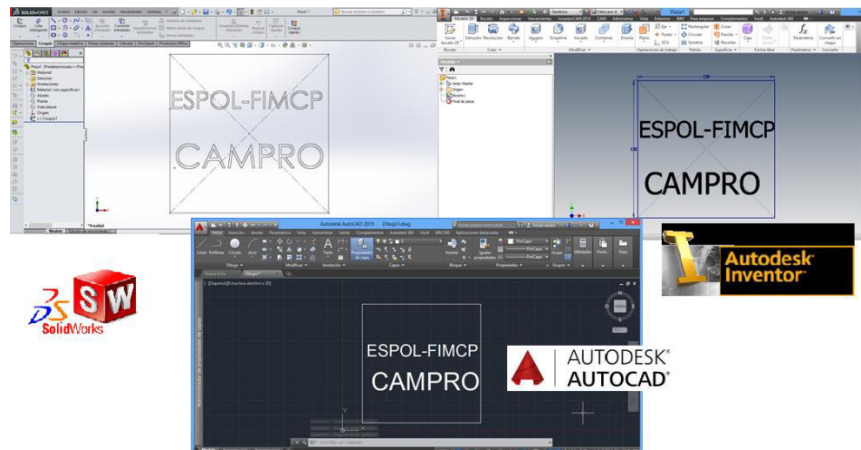


Figura 2.3315 Software de diseño CAD comúnmente usados.

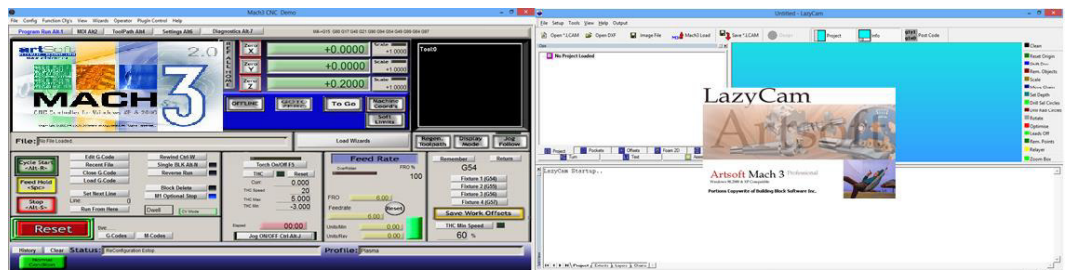


Figura 2.34 Software de envío y generación de código G.

### 2.2.8. Estudio de Costo

Se realizará una estimación de los costos directos según datos obtenidos en cotizaciones realizadas. Ver tabla 2.19, 2.20, 2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25 y 2.26.

Tabla 2.19 Costos de la materia prima de la mesa de trabajo.

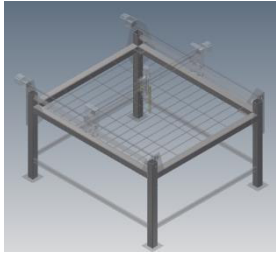
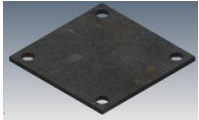

Ensamble	Descripción	Cantidad necesaria (un)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)	
<p><b>Estructura principal</b></p>  <p><b>Bases</b></p>  <p><b>Esquinas</b></p> 	Tubos estructurales cuadrados ASTM A-500 (espesor 2 mm): - 75x2x1000 (4 un) - 75x75x1574 (2 un) - 75x75x1374 (2 un) - 50x50x1364 (2 un)	75x2x6000 2 un	42,30	84,60	
		Tubo estructural rectangular ASTM A-500 (espesor 3 mm): - 30x50x1574 (2 un) - 30x50x1374 (2 un)	50x2x3000 1 un	15,40	15,40
		Perfil L-ángulo ASTM A36 SAE 1008 (espesor 3mm): - 30x30x1374 (17 un) - 30x30x1574 (2 un)	30x50x3 1 un de 6 m	29,94	29,94
			AL30x3x6000 5 un de 6 m	10,64	53,20
		Placas bases A36 (espesor 4mm): 150x150 (4 un)	300x300 1 un 2,82 kg	0,90/kg	2,54
		Plancha acero A36 (espesor 15 mm)/ esquinas soporte chumaceras: 170x500 (1 un) 330x500 (1 un)	500x500 1 un 29,44 kg	0,90/kg	26,95
		Chumaceras de pared para husillo de bolas BCH02005 - FF15/lado deslizante (2 un) - FK15/lado fijo (2 un)	FF15 2 un FK15 2 un	25,00 35,00	50,00 70,00
			Sub-total 1	---	332,63

Tabla 2.20 Costos del sistema de guiado lineal longitudinal (eje Y)-conjunto de rulinas.

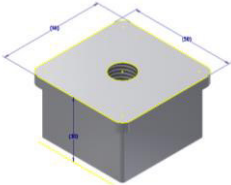
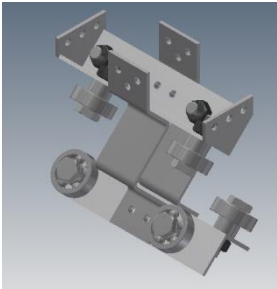
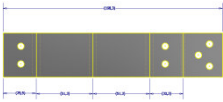
Ensamble	Descripción	Cantidad necesaria (un)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
<p>Tapón guía rulina</p>  <p>Guiado con rulinas</p>  <p>Fleje/Platina</p>  <p><b>Componente Longitudinal Y</b></p>	<p>Bloque aluminio PRODAX:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 50x50x40 (4un)</li> </ul>	<p>50x50x200 1 un 1,35kg</p>	<p>25,76/kg</p>	<p>34,78</p>
	<p>Perfil L-ángulo ASTM A-500 (espesor 4 mm):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 40x40x150 (4 un)</li> <li>- 40x40x70 (4 un)</li> </ul>	<p>AL40x4x1000 1 un de 3 m</p>	<p>11,72</p>	<p>11,72</p>
	<p>Platinas/flejes A36 (espesor 4 mm):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 50x200 (4 un)</li> <li>- 50x55 (4 un)</li> </ul>	<p>PLT 50x1020 1 un de 3 m</p>	<p>4,56</p>	<p>4,56</p>
	<p>Eje hueco A36/ espaciadores rodamientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- OD 14 mm, DI 10 mm x longitud de 10 mm (16 un)</li> </ul>	<p>OD 14 mm DI 10 mm 1 un 200 mm</p>	<p>1,00</p>	<p>1,00</p>
	<p>Rodamientos rígidos de bolas 6300:</p> <p>16 un</p>	<p>16 un</p>	<p>4,15</p>	<p>66,40</p>
		<p>Sub-total 2</p>	<p>---</p>	<p>118,46</p>



Tabla 2.21 Costos del sistema de guiado lineal longitudinal (Y)-accionamiento.

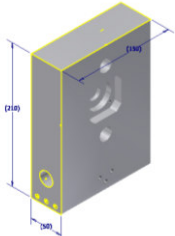
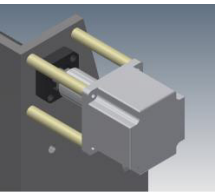

Ensamble	Descripción	Cantidad necesaria (un)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
<p>Bloque Y</p>  <p>Espaciadores motor</p>  <p>Husillo de bolas</p> 	<p>Bloque de aluminio PRODAX</p> <p>- 50x150x250 (2 un)</p>	<p>50x150x250 2 un c/u 5,06 kg</p>	<p>130,42</p>	<p>260,85</p>
	<p>Chumaceras de pared para husillo de bolas BCH02005</p> <p>- FF15/lado deslizante (2 un)</p> <p>- FK15/lado fijo (2 un)</p>	<p>FF15 2 un FK15 2un</p>	<p>25,00 35,00</p>	<p>25,00 35,00</p>
	<p>Husillo de bolas BCH02005 incluido tuerca dp= 20 mm Longitud 1800 mm (2 un)</p>	<p>BCH02005 2 un</p>	<p>160,00</p>	<p>320,00</p>
	<p>Espaciadores motores a paso: Eje macizo DO18 mm Acero inoxidable 304 L100 mm (8 un)</p>	<p>Eje macizo DO 18mm L 800 1 un</p>	<p>36,00</p>	<p>36,00</p>
	<p>Acoples Motor-Husillo Y 2 (un)</p>	<p>Lovejoy 2 un</p>	<p>10,00</p>	<p>20,00</p>
	<p>Micro Limit switch Panasonic tipo Q – AZ4001 (2 un)</p>	<p>2 un</p>	<p>25,00</p>	<p>50,00</p>
		<p>Sub-total 3</p>	<p>---</p>	<p>746,85</p>

Tabla 2.22 Costos del sistema de guiado lineal transversal (X).

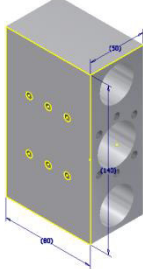

Ensamble	Descripción	Cantidad necesaria (un)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
<p>Bloque X</p>  <p>Husillo de bolas</p> 	<p>Bloque de aluminio PRODAX - 50x80x150 (1 un)</p>	<p>50x80x250 1 un 1,62 kg</p>	41,73	41,73
	<p>Rod. lineales/ejes guías (2 un) NTN-BBES20LA</p>	2 un	35,00	70,00
	<p>Eje calibrado acero plata D 20 mm / L 1500 mm (2 un)</p>	<p>D 20 mm L 2000 mm 2 un</p>	67,00	134,00
	<p>Husillo de bolas BCH02005 incluido tuerca dp= 20 mm Longitud 1500 mm (1 un)</p>	BCH02005 1 un	150	150
	<p>Espaciadores motores a paso: Eje macizo DO18 mm Acero inoxidable 304 L85 mm (4 un)</p>	<p>Eje macizo DO 18mm L 350 1 un</p>	16,00	16,00
	<p>Acoples Motor-Husillo Y 1 (un)</p>	Lovejoy 1 un	10,00	10,00
	<p>Micro Limit switch Panasonic tipo Q – AZ4001 (2 un)</p>	2 un	25,00	50,00
		Sub-total 4	---	471,73

Tabla 2.23 Costos del sistema de sujeción de la antorcha.

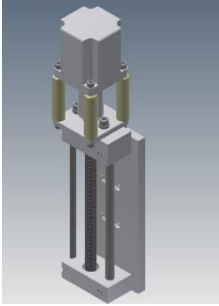
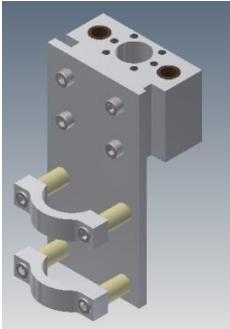
Ensamble	Descripción	Cantidad necesaria (un)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
<p>Sujeción antorcha</p>  	Placa 2 aluminio PRODAX - 100x200x10 (1 un)	100x200x10 1 un 0,54 kg	13,91	13,91
	Bloques up i down - 50x40x100 (2 un)	50x40x200 1 un 1,08 kg	27,82	27,82
	Eje calibrado acero plata D 10 mm / L 200 mm (2 un)	D 10 mm L 410 mm 1 un	25,00	25,00
	Bocines de bronce fosfórico OD 14 mm; DI 10 mm L 50 mm (2 un)	2 un	5,00	10,00
	Husillo de bolas BCH01205 incluido tuerca dp= 12 mm Longitud 250 mm (1 un)	BCH01205 1 un	70	70
	Rod. Axiales rígido de bolas SKF 51100 (1 un) BA8 (1 un)	SKF 51100 BA8	15,00 18,00	33,00
	Bloque aluminio PRODAX - 50x50x150 Bloque tuerca+sujetadores	50x50x150 1 un 1,02 kg	26,28	26,28
	Placa 1 aluminio PRODAX - 80x210x6	80x210x6 1 un 0,27 kg	6,96	6,96
	Espaciadores motores a paso: Eje macizo DO18 mm Acero inoxidable 304 L60 mm (4 un)	Eje macizo DO 18mm L 250 1 un	14,00	14,00
	Acoples Motor-Husillo Y 1 (un)	Lovejoy 1 un	10,00	10,00
	Micro Limit switch Panasonic tipo Q – AZ4001 (2 un)	2 un	25,00	50,00
	Sub-total 5	---	286,97	

Tabla 2.24. Costos de consumibles involucrados en el diseño de la máquina.

Descripción	Cantidad necesaria (un)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Pernos M10 x30 Hexagonal con tuerca	16	0,30	4,80
Pernos M6 x 20 Allen	40	0,15	6,00
Pernos M6 x 15 Allen con tuerca	18	0,15	2,70
Pernos M6 x 15 Allen	24	0,15	3,60
Pernos M5 x20 Allen	25	0,15	3,75
Pernos M6x35 Allen con tuerca	4	0,25	1,00
Pernos M5x35 Allen	12	0,20	2,40
Pernos M6x40 Allen	4	0,30	1,20
Pernos M5x25 Allen con tuerca y arandela de presión	16	0,25	4,00
Pernos M12x120 con arandela y arandela de presión	4	1,00	4,00
Prisioneros M6 x12 Allen	8	0,20	1,60
Galón de thinner	2	10,00	20,00
Galón de pintura anticorrosiva	2	20,00	40,00
Galón de pintura	1	25,00	25,00
	---	<b>Sub-Total 6</b>	120,05
		<b>IVA 12%</b>	14,41
		<b>Total</b>	<b>134,46</b>

Tabla 2.25. Costos de sistemas mecánicos de protección.

Descripción	Cantidad (un)	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Protector de "rulinas" Plancha de acero Espesor 1mm 225x1725	2	\$ 10	\$20,00
Fuelles de protección eje Z	2	\$ 5	\$10,00
Fuelles de protección eje X	2	\$15	\$30,00
Fuelles de protección eje Y	4	\$ 20	\$80,00
	---	<b>Sub-Total 7</b>	\$140,00
		<b>Iva 12%</b>	\$16,80
		<b>Total</b>	<b>\$156,80</b>

Tabla 2.26. Costos de los componentes electrónicos para el control numérico y del equipo plasma.

<b>Sistema de control</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (un)</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
Kit Sttepper Motor Driver 4-Axis 180 oz-in <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4x MondoStep 2.8 Bi-polar Stepper Motor Driver</li> <li>• 3 x Blue 8-wire 180 Oz In Stepper Motors</li> <li>• 1 x PBX-RF Parallel Port Breakout Board (works with Mach3 or LinuxCNC)</li> <li>• 1 x 24Volt 8.5Amp Switching Power Supply</li> <li>• 1 x 6ft. DB25 Male-to-Male Cable</li> <li>• 3 x 10" IDC Cable 10-pin</li> </ul>	1	\$ 600,00	\$600,00
Plasma Cutting Tomahawk 1000 with mahine torch/ lincoln Electirc, mas (THC)	1	\$ 3615	\$3.615,00
Panel de Control "Caja de Control Eléctrico"	1	\$ 150	\$150,00
Cables de Conexión y tubos flexibles de protección		\$100	\$100,00
	---	Sub-Total 8 IVA 12%	\$4.465,00 \$535,8
		<b>Total</b>	<b>\$5.000,80</b>

El costo total de los materiales primas (material directo) es de \$ 7.247,9, los costos de mano de obra (soldador, armador y ayudante/ operador de centro de mecanizado CNC) se los detalla a continuación:

Tabla 2.27. Costos de mano de obra directa involucrados en la fabricación.

<b>Cargo del personal</b>	<b>horas/hombre</b>	<b>Cantidad (hombres)</b>	<b>\$/hora</b>	<b>Sub-total (\$)</b>
Soldador	8	1	2,60	20,80
Armador	8	1	2,60	20,80
Ayudante soldador	7	1	2,20	15,40
Operador centro de mecanizado	64	1	2,90	185,60
Ensamblador de toda la máquina	24	2	2,60	124,80
		Total mano de obra		466,60

Los gastos de ingeniería se los consideran dentro de otros costos como mano de obra indirecta, los que involucran soluciones de ingeniería, planos, etc.

Tabla 2.28. Costos de mano de obra indirecta, ingeniería del diseño.

<b>Cargo del personal</b>	<b>horas/hombre</b>	<b>Cantidad (hombres)</b>	<b>\$/hora</b>	<b>Sub-total (\$)</b>
Ingeniería del diseño de máquina	80	2	7,25	1.160,00
Supervisión técnica	24	1	6,00	144,00
		Total otros costos		1.304,00

Otros costos indirectos de fabricación comprende al uso de las maquinarias utilizadas se estimará que el costo de estas maquinarias con sus respectivos insumos es de aproximadamente unos \$ 500,00.

El costo total de la máquina, el cual incluye costos directos e indirectos, es de \$ 9.518,50. Por ser una estimación de costo agregaremos un costo de imprevistos del 3% del costo directo total (\$ 7.714,5) teniendo que el costo total de la máquina cortadora por plasma CNC sea de \$ 9756,87.

### **Factibilidad del diseño y construcción a nivel nacional de la máquina plasma CNC**

Se realizará la comparación de precios de máquinas CNC existentes en el mercado Internacional, de la misma capacidad de corte (1220x1220 mm, y de espesor de la plancha de acero al carbono de 12,7 mm).



*Figura 2.35 Equipo plasma CNC de procedencia China.*

**Nombre:** Alpha CNC perfil cortador de plasma ap1530, mesa de trabajo de 5' x 10' (1500x3000 mm).

**País de origen:** China, Shanghai.

**Precio:** 7.000,00 (sin envío)

**Peso:** 410 kg

**Costo envió:**

**Otros costos:**

**Referencia del costo equipo plasma:** \$ 3.000,00 (características similares a la seleccionada / 12,7 mm acero al carbono)



*Figura 2.36 Equipo plasma CNC de procedencia Norteamerica*

**Nombre:** ez plasma APC 4' x 4' plasma (1220x1220 mm).

**País de origen:** Unites States

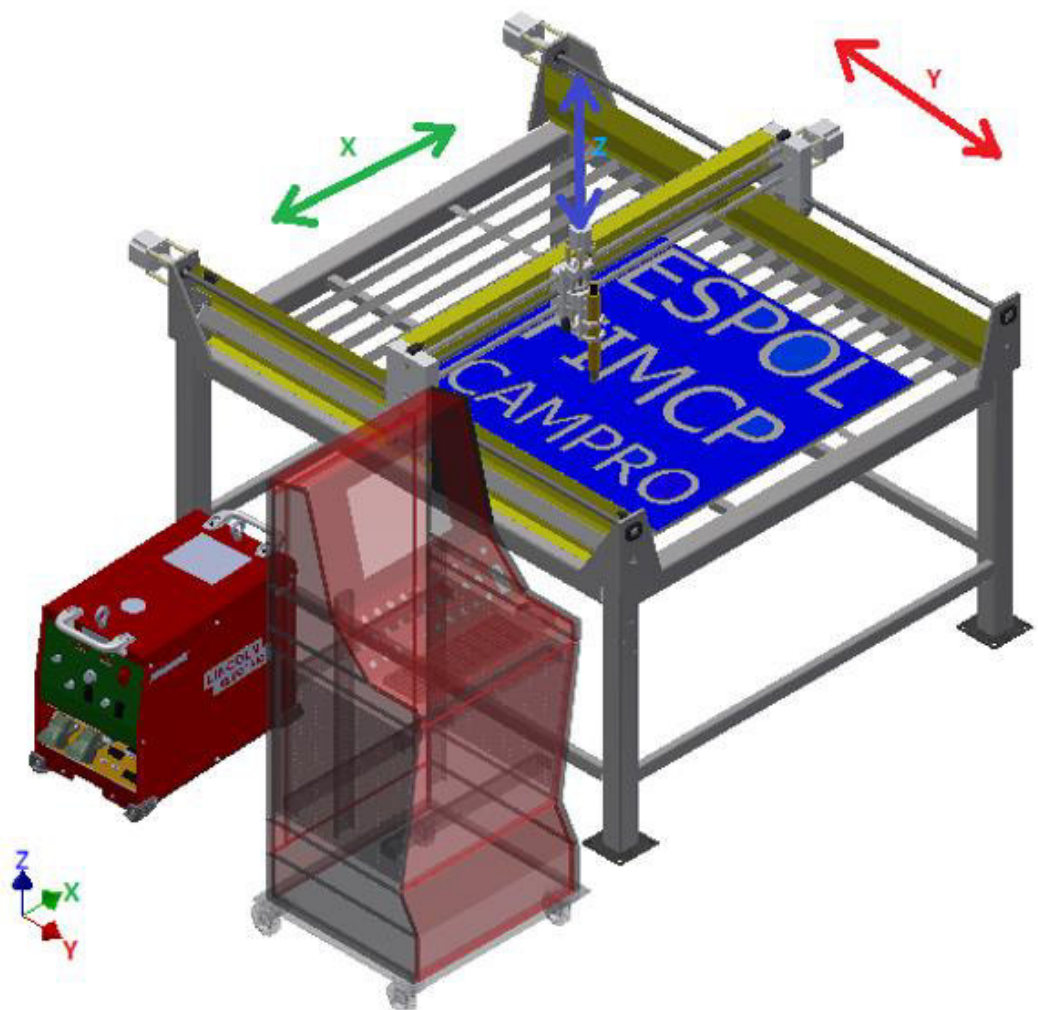
**Precio:** 14.100,00 (sin envío)

**Peso:** 410 kg

**Costo envió:**

**Otros costos:**

**Referencia del costo equipo plasma:** Incluido (características similares a la seleccionada / 12,7 mm acero al carbono)



*Figura 2.2 Diseño detallado de la máquina cortadora por plasma CNC.*

El proyecto realizado a nivel nacional tiene un costo de \$ 9.756, el cual representa aproximadamente entre el 65%-55% del costo de una máquina importada con características similares, lo cual refleja la factibilidad de realizarlo a nivel nacional aportando al cambio de la Matriz Productiva y evitar importaciones de equipos que se pueden diseñar y construir a nivel nacional.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Características mecánicas

- Guiado lineal longitudinal (eje Y): mediante dos perfiles estructurales cuadrados (en orientación romboidal) como guías y sistema de rulinas conformado por 8 rodamiento radiales rígidos de bolas c/u.
- Guiado lineal transversal (eje X): mediante dos guías de ejes macizos y rodamientos lineales con recirculación de bolas.
- Guiado lineal vertical (eje Z): mediante dos guías de ejes macizos y bocines de bronce fosfórico.
- La transmisión para todos los ejes es con husillos de bolas por acople directo a motores paso a paso.

### 3.2. Características estructurales

- Mesa de trabajo (bancada) electrosoldada, conformando un monobloque, diseñada con tubos estructurales de acero A36 laminado en caliente de  $75 \times 75 \times 2 \text{ mm}$ . y  $30 \times 50 \times 3 \text{ mm}$  para rigidez de la estructura, bases formadas con planchas de  $150 \times 150 \times 4 \text{ mm}$ , las que no permiten auto alineación (mecanismo de auto alineación de fácil adaptación).
- Rejilla sobre la cual se asienta la pieza de trabajo con perfiles estructurales AL  $30 \times 30 \times 3 \text{ mm}$ . De acero A36, con  $90 \text{ mm}$  de espaciamiento longitudinal y claro de  $44,6 \text{ mm}$ .
- Sistema de soporte para el guiado longitudinal (eje Y) en placas de acero mecanizadas de  $12 \text{ mm}$  de espesor e instalación fija sobre la mesa de trabajo.
- Sistemas de soporte para el guiado transversal (eje X) en bloques maquinables de aluminio PRODAX de alta resistencia.
- Sistema de sujeción de antorcha de aluminio maquinable, bajo peso y con buenas propiedades mecánicas.

### 3.3. Características dinámicas

- Velocidad máxima de avance de corte de  $9150 \text{ mm/min}$ .
- Recorrido transversal (eje Y):  $1250 \text{ mm}$
- Recorrido longitudinal (eje X):  $1220 \text{ mm}$
- Recorrido perpendicular (eje Z):  $95 \text{ mm}$



### **3.4. Características de corte**

- Con equipo plasma mecanizado Tomahawk 1000 lincoln electric de 40-60 A (serie K2808-2 with machine torch), el sistema de corte mediante un sistema dual con aire comprimido (con posibilidad de emplear otros gases para mejorar el corte en materiales como acero inoxidable y aluminio).
- Espesores de corte en perforación desde 0,5 *mm* hasta 12,7 *mm* a 100% ciclo de trabajo, y a 50% del ciclo hasta 16,7 *mm* en acero al carbono. Configuración del arco para diferente espesores de materiales.
- Control de la altura y encendido de la antorcha mediante el sistema THC.

### **3.5. Características eléctricas**

- Consola de mando CNC móvil, en chapa metálica independiente de la mesa de trabajo y el equipo plasma.
- Alimentación de la red eléctrica del equipo plasma independiente: 208-575 V/ mono o trifásica /50 o 60 HZ.
- Uso de cadena portacables en la distribución de los cables en las partes móviles.

### **3.6. Características electrónicas**

- Fuentes de alimentación de 24 VDC 8,5 A. (protección contra cortocircuito y sobretensiones).
- Sistema de control del movimiento por bipolar chopper driver.
- Control de altura de la antorcha integrado en el control Numérico del equipo plasma.

### **3.7. Características del software CAD/CAM**

- Software para corte versión estudiantil Mach 3 Standard, el cual consta del módulo de envío de código G y generación del código G-código de corte (LazyCAM).
- Compatibilidad con los softwares CAD 2D comúnmente empleados. AutoCAD, Inventor, SolidWorks, etc. El tipo de archivo soportado es DXF.
- Mach 3 es utilizado para realizar la interacción real entre lo programado y lo ejecutado.
- Vista preliminar dinámica.
- Las trayectorias de corte son generadas de manera automática o manual por parte del usuario.

### **3.8. Características de seguridad**

- Sistema de guiado cubierto con protecciones para choques (fines de carrera), polvos, etc.

- Interruptor de paro de emergencia, finales de carrera de posición en cada eje de accionamiento mediante interruptores de contacto.

### **3.9. Características de mantenimiento**

- Elementos de rodadura para cada eje de alta durabilidad.
- Actuadores con frecuencia de mantenimiento mínima.

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Conclusiones

- En el diseño de la máquina cortadora por plasma CNC fue prioridad la seguridad al usuario, un fácil ensamble y mantenimiento.
- La máquina cortadora por plasma CNC satisface la necesidad de los talleres metalmecánicos para crear piezas con geometría compleja en planchas metálicas con gran precisión. Con lo cual se logra aumentar la producción de este tipo de piezas y obtener una buena calidad en el corte.
- La máquina cortadora por plasma CNC diseñada permite realizar cortes de planchas metálicas con dimensiones máximas de 1220x1220 *mm* y espesores desde 0,5 hasta 12,7 *mm*.; Dimensiones máximas que fueron determinadas en función de las dimensiones estándar de las planchas metálicas y de los componentes de cada sistema de la máquina cortadora.
- Con el máximo espesor de diseño (12,7 mm acero al carbono) a cortar se selecciona el equipo plasma que satisfaga este espesor con el 100% (10 minutos de corte continuo) del ciclo de trabajo, existiendo la posibilidad de cortar espesores mayores de hasta 16,7 mm pero con ciclos de trabajos de 50% (5 minutos de corte continuo), evitando el sobrecalentamiento y posterior avería de los componentes eléctricos del equipo plasma.
- El diseño de los componentes mecánicos de la máquina plasma se lo realizó optimizando materiales; y debido a que no existen fuerzas de reacción relacionadas con la operación de corte, los actuadores seleccionados no requieren de una retroalimentación en la precisión del posicionamiento de la antorcha.
- El control numérico (CN) consiste en posicionar a la herramienta de corte, controlar el encendido/apagado del equipo plasma y mantener una altura uniforme entre la pieza de trabajo y la antorcha mediante el censado del diferencial de potencial eléctrico (control THC).
- El software Mach 3 para el control numérico e interacción real entre lo programado y ejecutado incorpora una herramienta adicional (LazyCAM) para generar el código G, mantiene compatibilidad con los software CAD que generen un archivo con extensión DXF.
- El diseño de la máquina cortadora por plasma CNC permite realizar su construcción con más del 90% de materiales disponibles en el mercado local. Los componentes importados representan el 9,2% en cantidad y el 20% del costo total de los elementos.
- El costo total del diseño y construcción a nivel nacional de la máquina cortadora por plasma CNC es de \$ 9.756,87.

## 4.2. Recomendaciones

- Realizar un diseño de la sujeción de la antorcha tanto como para una antorcha manual y una mecanizada realizando ligeros ajustes para su configuración.
- Implementar un sistema de ventilación para contrarrestar la generación excesiva de humo en procesos de corte de larga duración.
- Implementación en el control numérico por computadora un mando para el control manual de cada uno de los ejes de acción de la máquina plasma, control que esté vinculado con la interacción real entre lo programado y lo ejecutado.
- La adaptación de un sistema mecánico que permita a la máquina cortadora realizar cortes de biselado y ranurado, así como también incorporar al sistema mecánico de la antorcha un mecanismo que permita realizar el corte en tuberías.
- La rejilla de la mesa de trabajo posee la capacidad de cortar piezas de hasta 44,6 *mm* en el sentido longitudinal, esta distancia puede ser acortada mediante una mejora en el diseño de la rejilla.

## BIBLIOGRAFÍA

1. THK, Catálogo de guías de movimiento lineal (Selectos).
2. Norton Robert L., (2011), Tornillo de potencia (Ed. 4) Cap11. Diseño de Máquinas, México, México: Pearson Educación de México.
3. Fausto Maldonado Galarza, Diseño de una Máquina Fresadora CNC para Mecanizado de Prototipos de Barcos en Madera, Proyecto de Graduación-ESPOL.
4. Gratis momento de flexión Online Diagrama Calculadora y Fuerza de corte Diagrama Calculadora | Momento de Flexión y Cortante Calculadora Diagrama Fuerza. (s. f.). Consultado 9 de agosto de 2015, a partir de <http://bendingmomentdiagram.com/es/free-calculator/>
5. NTN, Catálogo general de rodamientos.
6. NTN-SNR Linear Motion, Catálogo de husillo de bolas.
7. NTN-SNR Linear Motion, Catálogo de rodamientos lineales de bolas.
8. Lovejoy, Catálogo de acoplamiento de mordaza.
9. Fundamentos Corte por Plasma | Lincoln Electric. (s. f.). Consultado 15 de mayo de 2015, a partir de <http://www.lincolnelectric.com/es-es/support/welding-how-to/Pages/plasma-cutting-basics-detail.aspx>
10. Máquinas para Corte por Plasma o Pantógrafos | De Máquinas y Herramientas. (s. f.). Consultado 16 de mayo de 2015, a partir de <http://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/maquinas-para-corte-por-plasma>
11. RoldanSoft. (2013). *Cómo funciona el cortador de plasma - Discovery MAX*. Consultado 23 de mayo a partir de <https://www.youtube.com/watch?v=K7UJgJ9Ewe0>
12. Tomahawk® 625 Plasma Cutter - K2807-1, -2. (s. f.). Consultado 17 de mayo de 2015, a partir de [http://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/pages/product.aspx?product=Products\\_PlasmaCutter-Tomahawk-625\(LincolnElectric\)&producttype=pc](http://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/pages/product.aspx?product=Products_PlasmaCutter-Tomahawk-625(LincolnElectric)&producttype=pc)
13. Command THC - control de altura de la antorcha | Hypertherm. (s. f.). Consultado 24 de mayo de 2015, a partir de [http://www.hypertherm.com/es/Products/Automated\\_cutting/Torch\\_height\\_controls/Legacy\\_THC\\_products/command\\_thc.jsp#2](http://www.hypertherm.com/es/Products/Automated_cutting/Torch_height_controls/Legacy_THC_products/command_thc.jsp#2)
14. El corte con plasma exitoso depende de los consumibles - TheFabricator.com. (s. f.). Consultado 27 de mayo de 2015, a partir de <http://www.thefabricator.com/article/cuttingweldprep/el-corte-con-plasma-exitoso-depende-de-los-consumibles>
15. Tipos de gas | Gases utilizados | Procedimiento | Plasma | Tecnología de corte | Kjellberg Finsterwalde. (s. f.). Consultado 30 de mayo de 2015, a partir de <http://www.kjellberg.de/Tecnologia-de-corte/Plasma/Procedimiento/Gases-utilizados/Tipos-de-gas.html>
16. Características de los gases | Gases utilizados | Procedimiento | Plasma |

- Tecnología de corte | Kjellberg Finsterwalde. (s. f.). Consultado 6 de junio de 2015, a partir de <http://www.kjellberg.de/Tecnologia-de-corte/Plasma/Procedimiento/Gases-utilizados/Caracteristicas-de-los-gases.html>
17. PROBOTIX™ :: STEPPER MOTORS. (s. f.). Consultado 10 de junio de 2015, a partir de <http://www.probotix.com/CNC-CONTROL-SYSTEMS/STEPPER-MOTORS>
  18. spitkoom.1.pdf. (s. f.). Consultado 5 de julio de 2015, a partir de <http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/engranaje/spitkoom.1.pdf>
  19. pdf\_acionstruccion.pdf. (s. f.). Consultado 12 de julio de 2015, a partir de [http://www.thyssen-iberica.es/htm/pdf\\_acionstruccion.pdf](http://www.thyssen-iberica.es/htm/pdf_acionstruccion.pdf)
  20. Item # 68514446214, L Type Hubs without Keyway - Metric Bores On Lovejoy, Inc. (s. f.). Consultado 26 de julio de 2015, a partir de <http://catalog.lovejoy-inc.com/item/iature-jaw-style-motion-control-couplings-l-series/l-type-coupling-hubs-w-o-keyway-metric-nbsp-/68514446214>
  21. Motores Paso a Paso. (s. f.). Consultado 1 de agosto de 2015, a partir de <http://www.orientalmotor.com.mx/productos/motores-paso-a-paso.html>
  22. TODOPRODUCTIVIDAD: Motor por pasos o servomotor. (s. f.). Consultado 8 de agosto de 2015, a partir de <http://todoproductividad.blogspot.com/2009/10/motor-por-pasos-o-servomotor.html>

# APENDICES

# APÉNDICE A

PLASMA CUTTING

## Tomahawk® 1000

**Processes**  
Plasma Cutting, Gouging

**For These Materials**  
Mild Steel, Brass, Stainless Steel,  
Copper, Aluminum

**Product Number**  
K2808-1 Tomahawk® 1000 with Hand Torch  
K2808-2 Tomahawk® 1000 with  
Machine Torch

**Input Power**  
208-575/1/3/50/60  
**Rated Output Current/Duty Cycle**  
50% 60A@10.4V  
100% 40A@9.6V  
**Output Range**  
20-60A  
**Air Pressure Required**  
87-109psi (6-7.5 Bar)

**Air Flow Rate**  
80psi@275 SCFH  
(5.5 bar@130 Liters/min)  
**Weight/Dimensions (H x W x D)**  
45 lbs. (20.4 kg)  
15.2 x 8.5 x 22.1 in.  
(385 x 215 x 561 mm)

See back for complete specs

### Plasma Cutting - Anywhere, Anytime

The Tomahawk® 1000 plasma cutting system is portable enough to use on the jobsite and rugged enough to use on up to one inch material in a production environment. Hook up the compressed air, grab the torch and start cutting.

#### FEATURES

- ▶ **PowerConnect® Technology** – Automatically senses and adjusts to input power for a range of 200 up to 600 volts, single or three phase, 50 or 60 hertz. Cutting output remains constant throughout the entire input voltage range.
- ▶ **Continuous Output Control** – Focus the arc for different material thicknesses.
- ▶ **Touch Start™ System** – Reliable plasma arc initiation without high frequency.
- ▶ **Front Panel Purge Control** – Makes it easy to set the air flow rate without initiating the plasma arc.
- ▶ **Cool Operation, Long Consumable Life** – New electrode and nozzle design save you money in the long run.
- ▶ **Added Safety** – Our Parts-in-Place™ system detects correct installation of consumables and torch.
- ▶ **Engine Drive Compatible** – Select a Lincoln Electric Ranger® or Vantage® to power your Tomahawk® in remote locations.
- ▶ **CNC (Computer Numeric Control) and Robotic Plasma Cutting** – Set up a fast, reliable production cutting cell with the optional machine torch.

#### APPLICATIONS

- ▶ On site maintenance
- ▶ Service tasks
- ▶ Construction sites
- ▶ Demolition work
- ▶ Rental
- ▶ Production/Fabrication
- ▶ Robotic plasma cutting

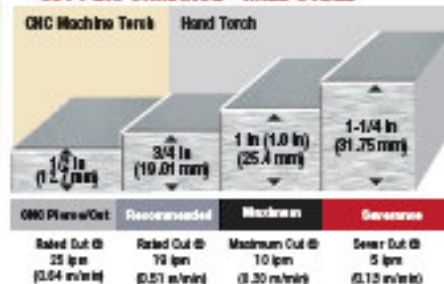


K2808-1 Shows

#### WHAT'S INCLUDED

- K2808-1 Includes:
- ▶ LC65 hand torch
  - ▶ 25 ft. (7.5 m) cable
  - ▶ Air regulator and pressure gauge
  - ▶ Internal water separator
  - ▶ Work clamp and cable
  - ▶ Spare consumables
  - ▶ Input power cord

#### CUT PERFORMANCE - MILD STEEL



Two Year Extended  
Warranty Available  
One Year Warranty On Torch

F23 Rated



Publication E11-308 | Issue Date 05/15  
© Lincoln Global, Inc. All Rights Reserved.

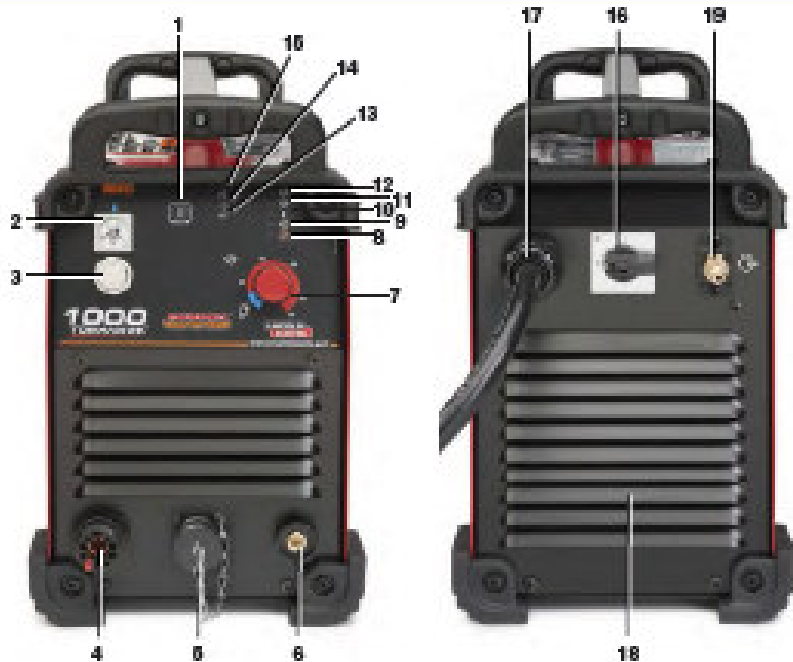
THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY  
22801 St. Clair Avenue • Cleveland, OH 44117-1199 • U.S.A.  
PH: +1.216-491-8100 • www.lincolnelectric.com

**LINCOLN**  
**ELECTRIC**  
THE WELDING EXPERTS®



## KEY CONTROLS

- 1 Mode Pushbutton
- 2 Air Pressure Gauge
- 3 Regulator Adjustment
- 4 Torch Connection
- 5 CMC Connector - for automation integration
- 6 Work Lead Connection
- 7 Output Current and Air Purge Control
- 8 Parts-in-Place (PIP) LED Indicator (Yellow)
- 9 Gas Pressure LED Indicator (Yellow)
- 10 Thermal Status LED Indicator (Yellow)
- 11 Output Status LED Indicator (Red)
- 12 Power On/OFF LED Indicator (Green)
- 13 Gauge Mode – for removing material (Red)
- 14 Expanded Metal Mode – for cutting on grid work (Red)
- 15 Cut Mode LED Indicator - for solid piece (Red)
- 16 On/OFF Power Switch
- 17 Input Cable
- 18 Cooling Fan
- 19 Air Inlet For External Compressed Air



## LINCOLN ELECTRIC TORCH HEAD DESIGN

### TORCH DESIGN FOR OPTIMAL STARTING AND PERFORMANCE

<p><b>Starting</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Air pressure pushes the electrode back</li> <li>• Ignition takes place on the 'shoulder'</li> <li>• No damage to the tip</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>↓</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extended consumable lifetime</li> <li>• Consistent starting without high frequency</li> </ul>	<p><b>Performance</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enhanced swirling airflow</li> <li>• Improved radius and electrode/nozzle design</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>↓</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• More concentrated arc</li> <li>• Faster cutting times</li> <li>• Greater thickness cutting capacity</li> </ul>	<p><b>Lifetime</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Internal cooled electrode keeping the tip cool</li> <li>• New torch head and electrode and nozzle design</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>↓</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Increases life of consumable components</li> <li>• Lower operating costs</li> </ul>

**ACCESSORIES**



**GENERAL OPTIONS**  
**Accessory Bag**  
 Canvas bag can be used to store your welding accessories and tools.  
 Order K3071-1



**LC65M Machine Plasma Torch 25 ft.**  
 Add this machine torch for use on CNC plasma cutting tables.  
 Order K2848-3 25 ft (7.5 m)



**LC65 Hand Plasma Replacement Torch**  
 Includes 25 ft (7.5 m) or 50 ft (15 m) torch cable and one set of all required torch expendable parts.  
 Order K2848-1 25 ft (7.5 m)  
 K2848-2 50 ft (15 m)

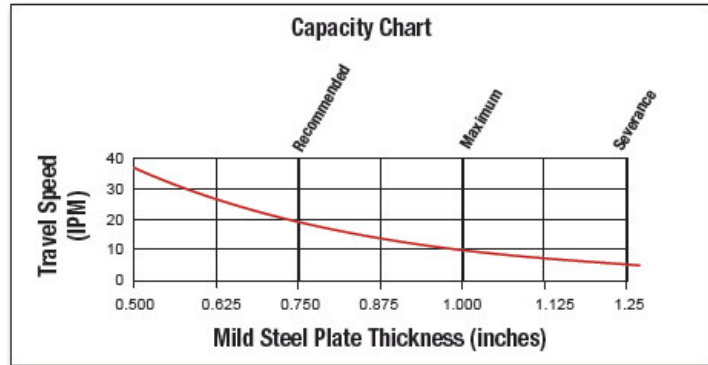


**Small Canvas Cover**  
 Protect your Tomahawk® when not in use. Made from red canvas that is flame retardant, mildew resistant and water repellent.  
 Order K2377-1



**PLASMA CUTTING OPTIONS**  
**Plasma Circle Cutting Guide Kit**  
 For cutting circles from 2 in. to 40 in. (50.8 - 1016 mm) in diameter. Works with all LC series plasma torches.  
 Order K2886-1

**CUTTING PERFORMANCE – MILD STEEL**



- Aluminum cutting speeds are typically 10-20% faster than mild steel.
- Stainless steel cutting speeds are typically 10-20% slower than mild steel.

Datos experimentales de las distancias entre antorcha y pieza de trabajo. Referencia: Hypertherm – powermax 45 / sistema de corte por arco plasma. Equipo plasma de similares características al seleccionado (Lincoln Electric 40-60 A).

**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				0,2	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 con protección T45m**

**Acero inoxidable  
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	119	10160*	123			
	0,8					8650	117	10160*	121			
	0,9					8100	115	10160*	119			
	1,5				0,2	3750	113	4700	118			
45	0,9	1,5	3,8 mm	250%	0,0	7600	112	10160*	109			
	1,5					8100	112	10160*	125			
	1,9				0,1	7100	118	9144	115			
	2,7				0,3	4050	118	5080	116			
	3,4				0,4	3050	121	3810	118			
	4,8				0,5	1780	122	2159	118			
	6,4				0,6	1100	124	1397	120			
	9,5				0,8	760	126	813	121			
	12,7				Se recomienda arranque desde el borde				350	132	457	128
	19,1				Se recomienda arranque desde el borde				175	136	229	131

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

Consumibles con protección T45m

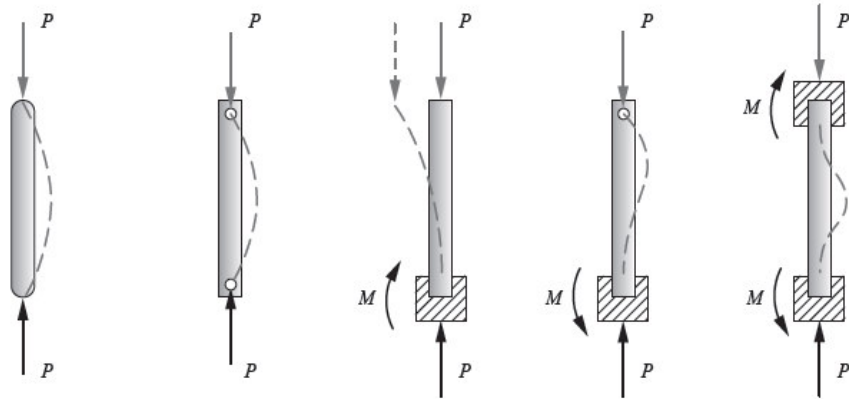
Aluminio  
Métrico

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	1,2	1,5	3,8 mm	250%	0,0	9150	117	10160*	120	
	1,5				0,2	8650	118	10160*	121	
	1,9					5450	118	6860	121	
45	1,5	1,5	3,8 mm	250%	0,0	9150	116	10160*	114	
	1,9					8650	117	10160	116	
	2,7					7100	120	9144	119	
	3,4				0,1	5600	122	7112	120	
	4,8				0,2	2550	123	3302	120	
	6,4				0,3	2050	123	2540	120	
	9,5				0,5	840	130	1067	125	
	12,7				Se recomienda arranque desde el borde		510	134	635	130
	19,1				Se recomienda arranque desde el borde		200	143	254	138

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

## APÉNDICE B



(a) Redondeada-redondeada (b) Articulada-articulada (c) Empotrada-libre (d) Empotrada-articulada (e) Empotrada-empotrada

Varias condiciones de extremo para columnas y sus curvas de deflexión resultante (las cargas aplicadas se muestran en gris; las reacciones, en negro) (las cargas aplicadas se muestran en gris; las reacciones, en negro)

**Tabla 2-4 Condiciones de extremo y factores de longitud efectiva de la columna**

Condiciones de extremo	Valores teóricos	Recomendados por la AISC*	Valores conservadores
Redondeada-redondeada	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$
Articulada-articulada	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$	$l_{ef} = l$
Empotrada-libre	$l_{ef} = 2l$	$l_{ef} = 2.1l$	$l_{ef} = 2.4l$
Empotrada-articulada	$l_{ef} = 0.707l$	$l_{ef} = 0.80l$	$l_{ef} = l$
Empotrada-empotrada	$l_{ef} = 0.5l$	$l_{ef} = 0.65l$	$l_{ef} = l$

Fuente: Norton Robert L., (2011), Compresión axial: columnas (Ed. 4) Cap. 2. Diseño de Máquinas, México, México: Pearson Educación de México.

## APÉNDICE C

Principal dimensions				Basic load ratings		Speed ratings		Designations	
d	D	H	H <sub>1</sub>	dynamic C	static C <sub>0</sub>	Reference speed	Limiting speed	Bearing	Seat washer
mm				kN		r/min		-	
8	19	7	-	3,19	3,8	12000	17000	BA 8	-

Catálogo online SKF, [www.skf.com/co/products/bearings-units-housings/ball-bearings/index.html](http://www.skf.com/co/products/bearings-units-housings/ball-bearings/index.html)

## APÉNDICE D

### Rodamiento superior

Usando la misma metodología, nótese que los diámetros por catálogo del husillo en ambos extremos son diferentes:

Diámetro interior= 10 mm

$N=120$  [ $rev/min$ ] (tabla de motor a paso)

$$C_a = \left[ \frac{L_{10h} \times 60 \times N}{10^6} \right]^{1/p} \times P_a$$

$L_{10h} = 30 * 10^3$  [hr] : Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos, husillos de máquinas (Catálogo NTN-Tabla 3.4 *Aplicaciones en maquinarias y vida requerida-referencia* pág. A19)

Rodamiento rigido de bolas:  $p = 3$

$$C_a = \left[ \frac{30 * 10^3 \text{ [hr]} \times 60 \times 120 \text{ [rev/min]}}{10^6} \right]^{1/3} \times 28,54 \text{ [N]}$$

$$C_a = 171,24 \text{ [N]}$$

El rodamiento axial con la carga más cercana a  $C_a = 171,24$  [N] es uno de  $C_a = 9,95$  [kN], que corresponde a un diámetro exterior por catálogo SKF de 24 mm, notese que el  $C_a$  de catálogo es superior por lo tanto si soporta esa carga el rodamiento.

La carga estática  $C_{0a} = 15,3$  [kN]

$$S_0 = \frac{C_{0a}}{P_a}$$

$$S_0 = \frac{15,3 * 10^3 [N]}{28,54 [N]}$$

$$S_0 > 2$$

Dimensiones principales				Capacidades de carga básica		Velocidades nominales		Referencias	
d	D	H	H <sub>1</sub>	dinámica	estática	Velocidad de referencia	Límite de velocidad	Rodamiento	Arandela del asiento
mm				kN	C <sub>0</sub>	rpm		-	-
10	24	9	-	9,95	15,3	9500	13000	<b>51100</b>	-

Catálogo online SKF, [www.skf.com/co/products/bearings-units-housings/ball-bearings/index.html](http://www.skf.com/co/products/bearings-units-housings/ball-bearings/index.html)

Si  $S_0 \geq 2$ , se tiene un requerimiento de alta precisión, la selección corresponde un rodamiento axial rígido de bolas 51100 del catálogo SKF.



## APÉNDICE E

### Análisis de la Junta empernada sometida a cortante

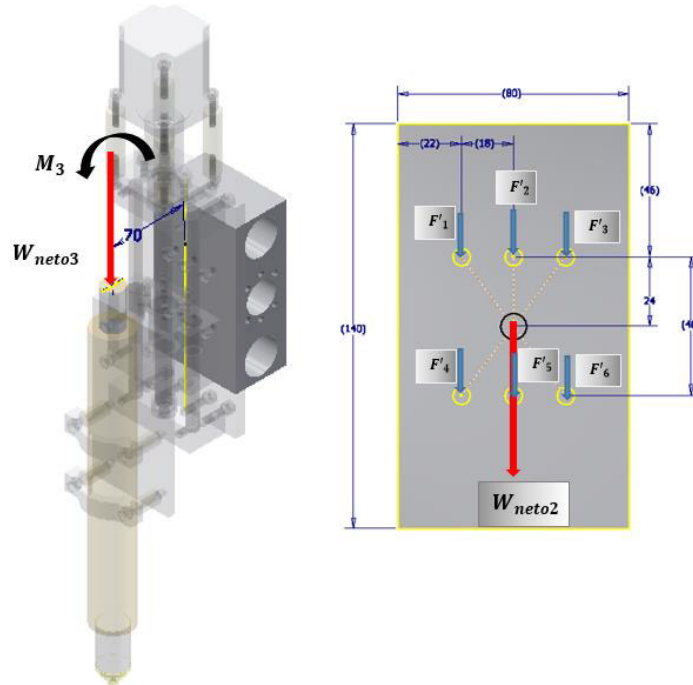


Figura 2.12. Esquemas de fuerzas en la junta empernada del ensamble entre componentes Z y X.

#### Fuerza primaria ( $F'$ )

$$F' = \frac{W_{Neto3}}{\# \text{ pernos}}$$

$$F' = \frac{51,23 \text{ [N]}}{6} \rightarrow 8,53 \text{ [N]}$$

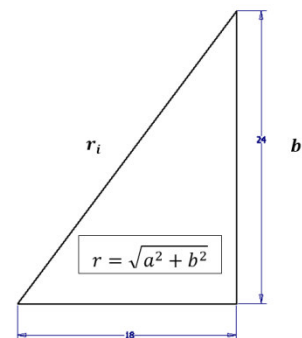
#### Fuerza secundaria ( $F''$ )

$$F'' = \frac{r_n M_2}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_n^2}$$

$$r_i = r_1 = r_3 = r_4 = r_6 = 30 \text{ mm}$$

$$r_j = r_2 = r_5 = 24 \text{ mm}$$

Los pernos 4 y 6 son los de mayor  $r_n$ , y que están más cerca a la carga  $W_{Neto3}$ :



$$F_6'' = \frac{r_6 M_2}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_6^2}$$

$$F_6'' = \frac{30 \text{ mm} \times (51,23 \text{ [N]} * 70 \text{ mm})}{2 \times (24)^2 + 4 \times (30)^2}$$

$$F_6'' = 22,63 \text{ [N]}$$

$$\vec{F}_6 = \sqrt{(F')^2 + (F'')^2}$$

$$\vec{F}_6 = 24,18 \text{ [N]}$$

### Análisis del cortante puro

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

$$S_{sy} = \frac{S_y}{2}$$

$$\tau = \frac{F_{c/perno}}{A}$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Se recomienda un  $\eta = 2$  para cortante puro, el grado del perno es 5,8 con  $S_y = 420 \text{ N/mm}^2$  y la  $F_{c/perno} = 24,18 \text{ [N]}$

$$\tau = \frac{S_{sy}}{\eta}$$

$$\tau = \frac{(420)}{2} \rightarrow 210 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * F_{c/perno}}{\pi * \tau}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 24,18 \text{ [N]}}{\pi * 210 \text{ [N/mm}^2\text{]}}}$$

$$d = 0,38 \text{ mm}$$

La selección corresponde a un perno M6 x 20 mm rosca basta

### Aplastamiento en los pernos

$$\sigma_{AP} = \frac{F_{c/perno}}{d \times e_{menor}}$$

$e_{menor} = 10 \text{ [mm]}$ ; corresponde a la placa de aluminio, en este caso el material más débil  $S_y = 292,5 \text{ [N/mm}^2\text{]} - (310 - 275)$

$$\sigma_{AP} = \frac{24,18 \text{ [N]}}{6 \text{ [mm]} \times 10 \text{ [mm]}}$$

$$\sigma_{AP} = 0,40 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Si el factor de seguridad  $\eta_{AP} > 2$ , no se deforma la placa.

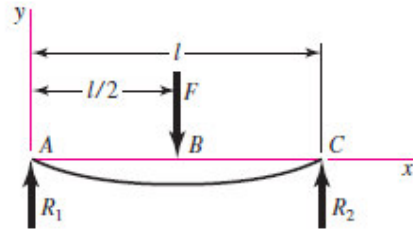
$$\eta_{AP} = \frac{S_y}{\sigma_{AP}}$$

$$\eta_{AP} = \frac{292,5 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}{0,40 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]}$$

$$\eta_{AP} > 2$$

## APÉNDICE F

### 5 Apoyos simples: carga central



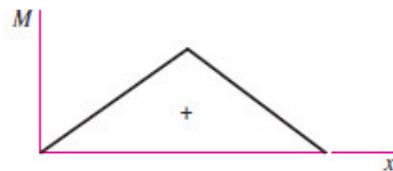
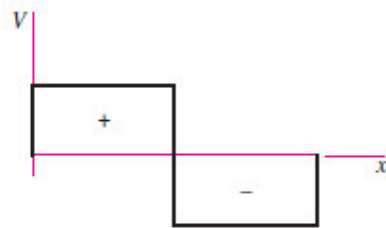
$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

$$V_{AB} = R_1 \quad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \quad M_{BC} = \frac{F}{2}(l - x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

$$y_{\text{máx}} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$



Fuente: Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett., (2008), Análisis de carga y esfuerzo/ Anexo A-Tabla A-9 (Ed. 8) Cap. 3. Diseño de Ingeniería mecánica de Shigley, México, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

# APÉNDICE G

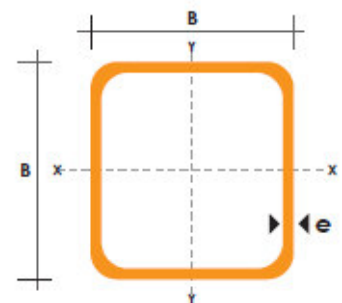
## TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6 mts.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesor</b>	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97



Fuente: Catálogo DIPAC productos de acero\_catálogo de acero

## APÉNDICE H

### Análisis del cortante puro

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau}$$
$$S_{sy} = \frac{S_y}{2}$$
$$\tau = \frac{F_{c/perno}}{A}$$
$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Se recomienda un  $\eta = 2$  para cortante puro, el grado del perno es 5,8 con  $S_y = 420 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

$$F_{c/perno} = \frac{W_{Neto6}}{4} \rightarrow 69,3 \text{ [N]}$$

$$\tau = \frac{S_{sy}}{\eta}$$

$$\tau = \frac{(420)}{2} \rightarrow 210 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * F_{c/perno}}{\pi * \tau}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 69,3 \text{ [N]}}{\pi * 210 \text{ [N/mm}^2\text{]}}}$$

$$d = 0,64 \text{ mm}$$

La selección corresponde a un perno M12 x 110 mm rosca basta, por diseño de forma.

### Aplastamiento en los pernos

$$\sigma_{AP} = \frac{F_{c/perno}}{d \times e_{menor}}$$

$e_{menor} = 10 \text{ [mm]}$ ; corresponde al tapón de aluminio, en este caso el material más débil  $S_y = 292,5 \text{ [N/mm}^2\text{]} - (310 - 275)$

$$\sigma_{AP} = \frac{69,3 \text{ [N]}}{6 \text{ [mm]} \times 10 \text{ [mm]}}$$

$$\sigma_{AP} = 0,12 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Si el factor de seguridad  $\eta_{AP} > 2$ , no se deforma la placa.

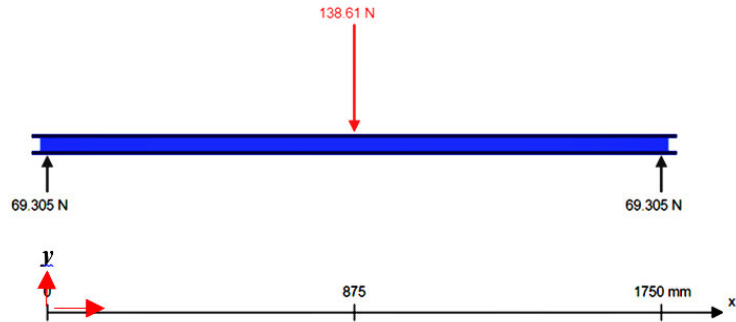
$$\eta_{AP} = \frac{S_y}{\sigma_{AP}}$$

$$\eta_{AP} = \frac{292,5 \text{ [N/mm}^2\text{]}}{[N/mm}^2\text{]}$$

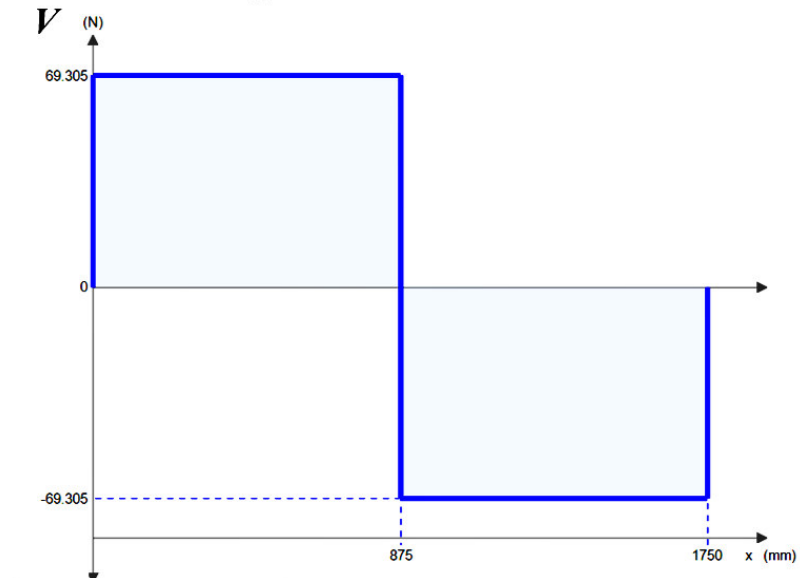
$$\eta_{AP} > 2$$

# APÉNDICE I

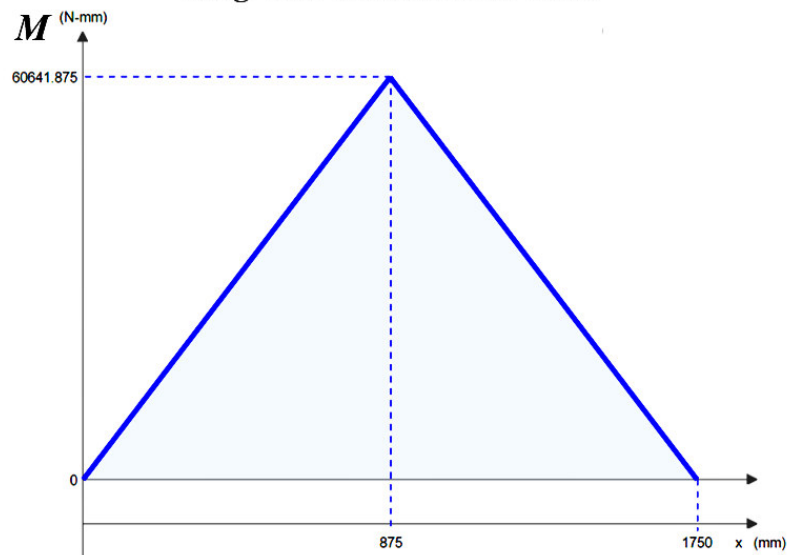
Esquema de viga simplemente apoyada para dimensionamiento del husillo de bolas, con los diagramas de fuerza cortante y momento flector.



*Diagrama de Fuerza Cortante*



*Diagrama de Momento Flector*



Del diagrama de momento flector  $M_{m\acute{a}x.} = 60641,87 [N * mm]$

$$C = r$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{4M}{\pi * r^3}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{4M}{\pi * \sigma_{m\acute{a}x.}}}$$

El material del husillo de bola es de acero AISI 1045 con  $S_y = 310 [MPa]$ , el Factor de seguridad (FS) de 4:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x.}}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{S_y}{FS}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = \frac{310 [MPa]}{4}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x.} = 77.5 [MPa]$$

Por lo tanto;

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 * [N * mm]}{\pi * 77.5 [N/mm^2]}}$$

$$r = 9,98 [mm]$$

$$d = 19,97 [mm]$$

El husillo de bolas a seleccionar es según el catálogo NTN-SNR Linear Motion: Husillos de bolas, BSH 02005 (diámetro nominal 20 y paso 5 mm) – L=1800 mm. Y tuerca SC 02005-3,8 - Compactada simple con brida según DIN 69051 tipo.

Deflexión

$$y_{max.} = -\frac{W_{Neto6}/2 * l^3}{48 * E * I}$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4} \rightarrow 7853,9 mm^4$$

$$y_{max.} = -\frac{138,61 [N] * (1800 mm)^3}{48 * 206,8 * 10^3 [N/mm^2] * 7853,9 mm^4}$$

$$y_{max.} = -10,36 mm$$

Cabe recalcar que el modelo real el husillo no soporta toda la carga, pero se analizó este caso crítico, para un diseño más conservador.



Par de arrastre para la transformación del movimiento de rotación en movimiento lineal, según catálogo NTN-SNR Linear Motion: Husillos de bolas

$$M_{ta} = \frac{W_{Neto6}/2 * \text{paso husillo}}{2\pi * \eta}$$

$$M_{ta} = \frac{138,61 [N] * 5 \text{ mm}}{2\pi * 0,9}$$

$$M_{ta} = 122,5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

# APÉNDICE J



Table of Contents

## Jaw

### Overview

JW

#### Jaw Type Couplings

The Jaw Type couplings from Lovejoy are offered in the industry's largest variety of stock bore/keyway combinations. These couplings require no lubrication and provide highly reliable service for light, medium, and heavy duty electrical motor and internal combustion power transmission applications.

##### Features

- Fail-safe – will still perform if elastomer fails
- No metal to metal contact
- Resistant to oil, dirt, sand, moisture and grease
- More than 850,000 combinations of bore sizes
- Most types available from stock in 24 hours

Applications include power transmission to industrial equipment such as pumps, gear boxes, compressors, blowers, mixers, and conveyors. Lovejoy's Jaw Type couplings are available in 24 sizes from a minimum torque rating of 3.5 in-lbs to a maximum torque rating of 170,004 in-lbs and a bore range of .125 inches to 7 inches. Lovejoy's standard bore program covers AGMA, SAE, and DIN bore/keyway and spline bore combinations.

The Lovejoy Jaw Type coupling is available in a variety of metal hub and insert materials. Hubs are offered in sintered metal, aluminum, bronze, steel, stainless steel, and ductile iron.

##### L Type

- Coupling offers standard shaft-to-shaft connection for general industrial duty applications
- Standard L Type coupling hub materials are either sintered iron (L035-L190) or cast iron (L225-L276)

##### LC Type

- Uses the standard L Type hubs with a snap wrap spider and retaining ring
- Suited for applications over 1,750 RPM

##### AL Type

- Aluminum hubs offer light weight with low overhung load and low inertia
- Excellent resistance to atmospheric conditions, perfect for corrosive environment applications

##### SS Type

- The SS Type coupling provides maximum protection against harsh environmental conditions
- Sizes SS075-SS150 available from stock, other sizes available on request



L Type

LC Type



AL Type Jaw

SS Type



RRS Type

## APÉNDICE K



## MondoStep 4.2 Bi-Polar Stepper Motor Driver

### Bi-polar Stepper Motor Chopper Driver

- Perfect for standard Nema 23 motors
- High performance, cost-effective
- Supply voltage up to +50VDC
- Output current up to 4.2A
- Pure-sinusoidal current control technology
- Pulse input frequency up to 300 KHz
- TTL compatible and optically isolated input
- Automatic idle-current reduction
- 15 selectable resolutions, up to 25600 steps/rev
- Step/Direction and CW/CCW modes
- Short-circuit, over-voltage, over-current and over temperature protection

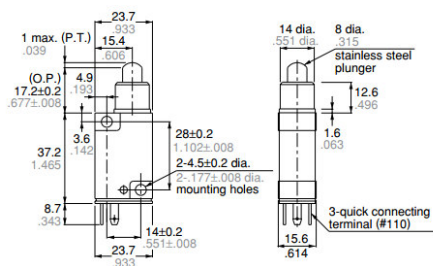
# APÉNDICE L

## 2. Exposed terminal type

Push plunger



AZ4001



Note) The following types are also available. Roller plunger: AZ4002  
 Cross roller plunger: AZ4003 Roller arm: AZ4004  
 Adjustable rod: AZ4007 Adjustable roller arm: AZ4008

## 3. Socket with cord type

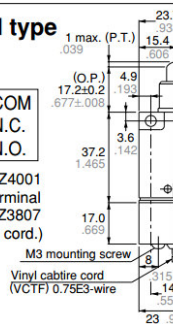
Push plunger



AZ4701

Black : COM  
 Red : N.C.  
 White : N.O.

(Set with AZ4001 exposed terminal type and AZ3807 socket with cord.)



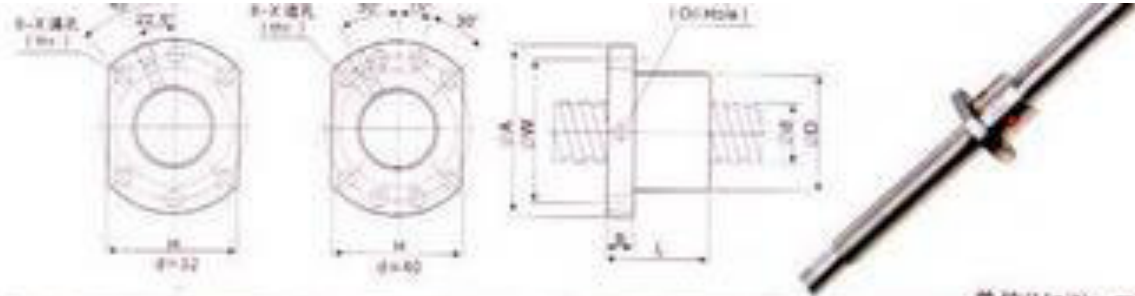
Note) The following types are also available. Roller plu  
 Cross roller plunger: AZ4703 Roller arm: AZ4704  
 Adjustable rod: AZ4707 Adjustable roller arm: AZ4708

Fuente: General Catalog\_Limit switches/Panasonic ideas for life.

## APÉNDICE LL

### Características de los husillos de bolas

#### Husillo de bolas eje Z (Longitud=250mm)



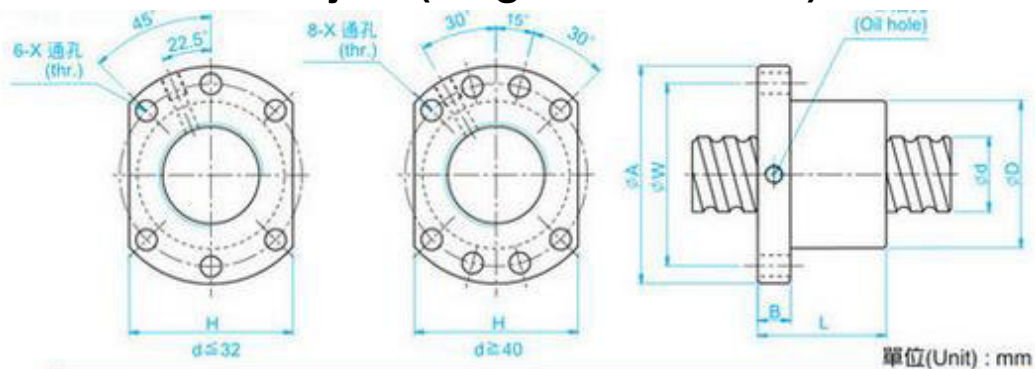
单位(Unit): mm

l: 导程 Lead Da: 球径 Ball Dia. N: 球圈数 Number of Circuite K: 刚性 Stiffness(Kgf/ $\mu$ m)

Ca: 动额定负荷 Basic Dynamic Rating Load(Kgf) Coa: 静额定负荷 Basic Static Rating Load(Kgf)

型号 Type	滚珠丝杠、螺母之基准数据 Dimensions														
	d	l	Da	D	A	B	L	W	X	H	Q	N	Ca	Coa	K
SFU1204-4	12	4	2.381	24	40	10	40	32	4.5	30		4	593	1129	12.5
SFU1604-4	16	4	2.381	28	48	10	40	38	5.5	40	M6	4	629	1270	35
SFU1605-3		5	3.175	28	48	10	43	38	5.5	40	M6	3	765	1240	17
SFU1605-4		5	3.175	28	48	10	50	38	5.5	40	M6	4	780	1790	20
SFU1610-3/2		10	3.175	28	48	10	47	38	5.5	40	M6	3	721	1249	15
SFU2005-3	20	5	3.175	35	58	10	43	47	6.5	44	M6	3	860	1710	22
SFU2005-4		5	3.175	35	58	10	51	47	6.6	44	M6	4	1130	2380	25
SFU2010-3/2	25	10	3.175	35	58	10	47	47	6.6	44	M6	3	830	1680	20
SFU2505-3		5	3.175	40	63	10	43	51	6.6	48	M6	3	980	2300	32
SFU2505-4		5	3.175	40	63	10	51	51	6.6	48	M6	4	1280	3110	35
SFU2510-4		10	4.762	40	63	12	65	51	6.6	48	M6	4	1944	3877	33
SFU2510-4/2	32	10	3.175	40	63	10	54	51	6.6	48	M6	4	1150	2950	30
SFU3205-4		5	3.175	50	81	12	52	65	9	62	M6	4	1450	4150	40
SFU3206-4		6	3.175	50	81	12	57	65	9	62	M6	4	1720	4298	47
SFU3210-4		10	6.350	50	81	14	90	65	9	62	M6	4	3390	7170	79
SFU4005-4	40	5	3.175	63	93	14	55	78	9	70	M8	4	1610	5330	49
SFU4010-4		10	6.350	63	93	14	93	78	9	70	M8	4	3910	9520	50
SFU5010-4	50	10	6.350	75	110	16	93	93	11	85	M8	4	4450	12500	65
SFU5020-4		20	7.144	75	110	16	138	93	11	85	M8	4	4644	14327	59.5
SFU6310-4	63	10	6.350	90	125	18	98	108	11	95	M8	4	5070	16600	80
SFU6320-4		20	9.525	95	135	20	149	115	13.5	100	M8	4	7573	23860	84.1
SFU8010-4	80	10	6.350	105	145	20	98	125	13.5	110	M8	4	5620	21300	90
SFU8010-6		10	6.350	105	145	22	118	125	13.5	110	M8	6	7810	31800	100
SFU8020-4		20	9.525	125	165	25	154	145	13.5	130	M8	4	8485	30895	84.1

## Husillo de bolas eje X (Longitud=1500mm) 2 Husillos de bolas eje Y (longitud= 1800mm)



I: 導程 Lead Da: 珠徑 Ball Dia. n: 珠圈數 Number of Circuits K: 剛性 Stiffness (Kgf/μm)  
Ca: 動額定負荷 Basic Dynamic Rating Load (Kgf) Coa: 靜額定負荷 Basic Static Rating Load(Kgf)

型號 Model No.	滾珠螺桿、螺帽之基準數據 Dimensions														
	d	l	Da	D	A	B	L	W	X	H	Q	n	Ca	Coa	K
SFU01204-4	12	4	2.5	24	40	10	40	32	4.5	30		1x4	902	1884	26
★ SFU01604-4	16	4	2.381	28	48	10	40	38	5.5	40	M6	1x4	973	2406	32
★ SFU01605-4	16	5	3.175	28	48	10	50	38	5.5	40	M6	1x4	1380	3052	32
★ SFU01610-3	16	10	3.175	28	48	10	57	38	5.5	40	M6	1x3	1103	2401	26
SFU02004-4	20	4	2.381	36	58	10	42	47	6.6	44	M6	1x4	1066	2987	38
★ SFU02005-4	20	5	3.175	36	58	10	51	47	6.6	44	M6	1x4	1551	3875	39
SFU02504-4	25	4	2.381	40	62	10	42	51	6.6	48	M6	1x4	1180	3795	43
★ SFU02505-4	25	5	3.175	40	62	10	51	51	6.6	48	M6	1x4	1724	4904	45
SFU02506-4	25	6	3.969	40	62	10	54	51	6.6	48	M6	1x4	2318	6057	47
SFU02508-4	25	8	4.762	40	62	10	63	51	6.6	48	M6	1x4	2963	7313	49
★ SFU02510-4	25	10	4.762	40	62	12	85	51	6.6	48	M6	1x4	2954	7295	50
SFU03204-4	32	4	2.381	50	80	12	44	65	9	62	M6	1x4	1296	4838	51
★ SFU03205-4	32	5	3.175	50	80	12	52	65	9	62	M6	1x4	1922	6343	54
SFU03206-4	32	6	3.969	50	80	12	57	65	9	62	M6	1x4	2632	7979	57
SFU03208-4	32	8	4.762	50	80	12	65	65	9	62	M6	1x4	3387	9622	60
★ SFU03210-4	32	10	6.35	50	80	12	90	65	9	62	M6	1x4	4805	12208	61
★ SFU04005-4	40	5	3.175	63	93	14	55	78	9	70	M8	1x4	2110	7988	63
SFU04006-4	40	6	3.969	63	93	14	60	78	9	70	M6	1x4	2873	9913	66
SFU04008-4	40	8	4.762	63	93	14	67	78	9	70	M6	1x4	3712	11947	70
★ SFU04010-4	40	10	6.35	63	93	14	93	78	9	70	M8	1x4	5399	15500	73
★ SFU05010-4	50	10	6.35	75	110	16	93	93	11	85	M8	1x4	6004	19614	85
★ SFU05020-4	50	20	7.144	75	110	16	138	93	11	85	M8	1x4	7142	22588	94
SFU06310-4	63	10	6.35	90	125	18	98	108	11	95	M8	1x4	6719	25358	99
SFU06320-4	63	20	9.525	95	135	20	149	115	13.5	100	M8	1x4	11444	36653	112
★ SFU08010-4	80	10	6.35	105	145	20	98	125	13.5	110	M8	1x4	7346	31953	109
SFU08020-4	80	20	9.525	125	165	25	154	145	13.5	130	M8	1x4	12911	47747	138

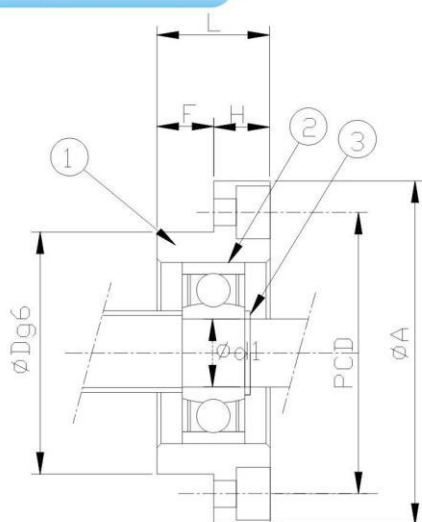
## 丝杆支撑座系列

### FF 系列 ( 圆形支撑侧 )

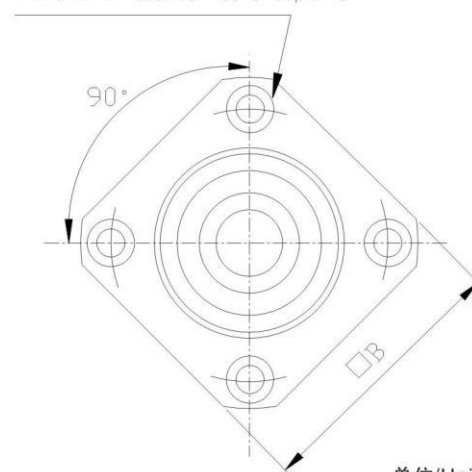
编号/Part No.	部品名称/Part name	数量/Qty
1	轴承座本体/Housing	1
2	轴承/Bearing	1组/1set
3	C型扣环/Snap ring	1



### FF



4- $\varnothing X \times \varnothing Y \times Z$   
4-X drill  $\varnothing Y$  counter bore depth Z



单位/Unit: mm

型号 Model No.	轴径 Shaft diameter d1	L	H	F	Dg6	A	PCD	B	X	Y	Z	使用轴承 Bearing	使用C型扣环 Snap ring
FF06	6	10	6	4	22 -0.007 -0.02	36	28	28	3.4	6.5	4	606ZZ	S 06
FF10	8	12	7	5	28 -0.007 -0.02	43	35	35	3.4	6.5	4	608ZZ	S 08
FF12	10	15	7	8	34 -0.009 -0.025	52	42	42	4.5	8	4	6000ZZ	S 10
FF15	15	17	9	8	40 -0.009 -0.025	63	50	52	5.5	9.5	5.5	6002ZZ	S 15
FF17	17	20	11	9	50 -0.009 -0.025	77	62	61	6.6	11	6.5	6203ZZ	S 17
FF20	20	20	11	9	57 -0.010 -0.029	85	70	68	6.6	11	6.5	6204ZZ	S 20
FF25	25	24	14	10	63 -0.010 -0.029	98	80	79	9	14	8.5	6205ZZ	S 25
FF30	30	27	18	9	75 -0.010 -0.029	117	95	93	11	17	11	6206ZZ	S 30

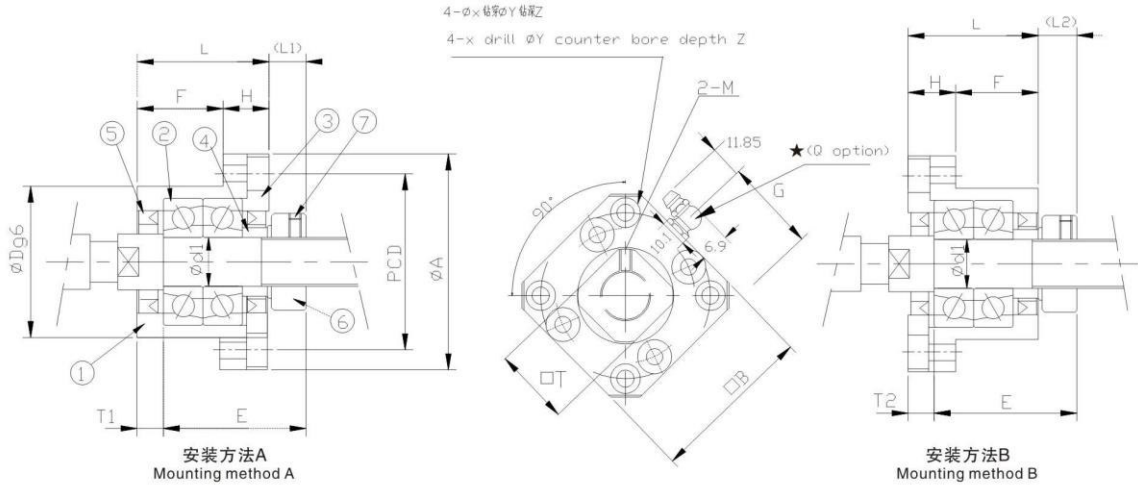
## 丝杆支撑座系列

### FK系列（圆形固定侧）

编号/Part No.	部品名称/Part name	数量/Qty
1	轴承座本体/Housing	1
2	轴承/Bearing	1组/1set
3	压板/Holding lid	1
4	间隔圈/Collar	2
5	轴封/Seal	2
6	锁固螺帽/Lock nut	1组/1set
7	内六角止付螺丝附铜片 Hexagon socket-head Setscrew ( with set piece )	2



### FK10--FK30

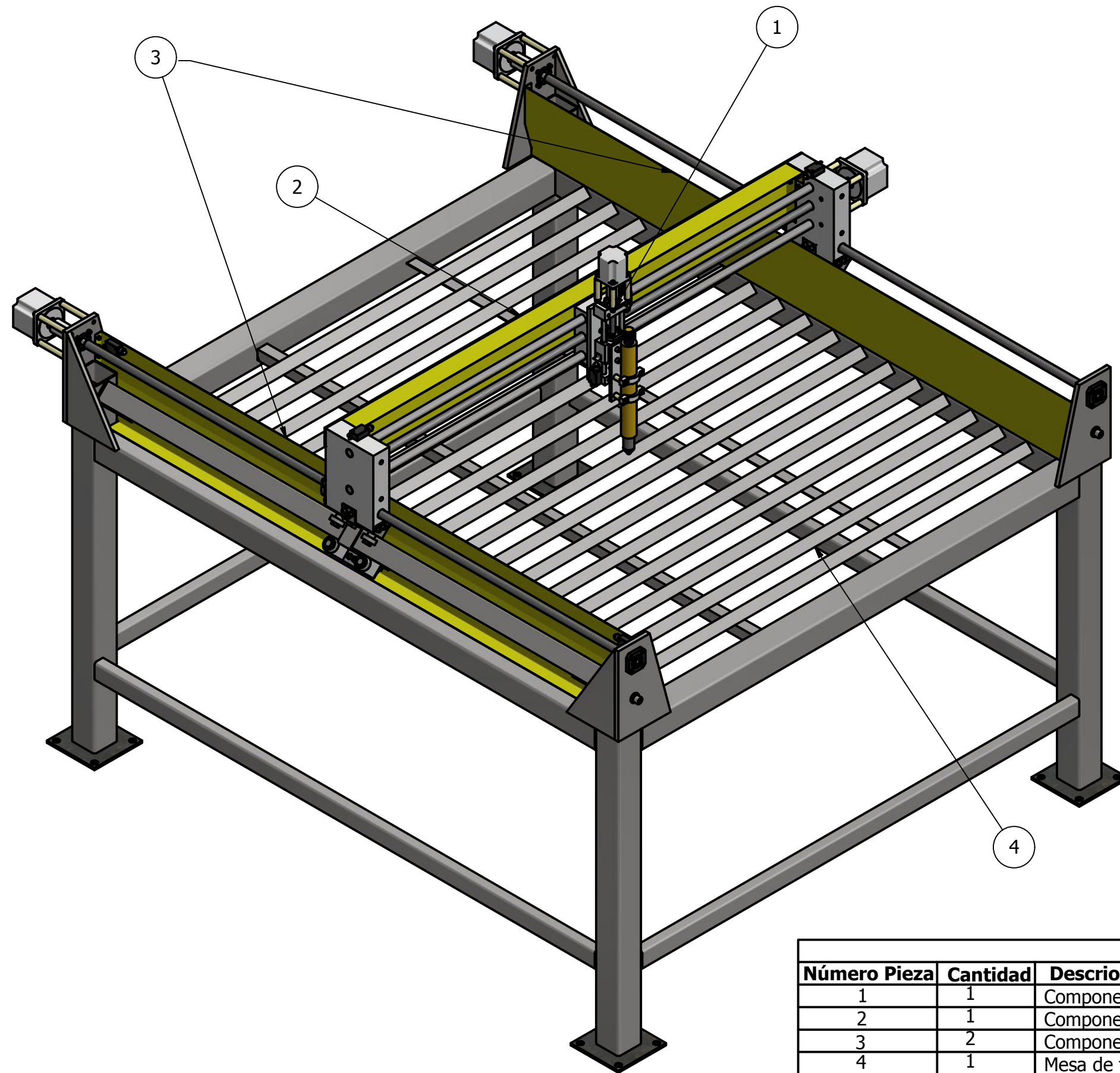


单位/Unit: mm

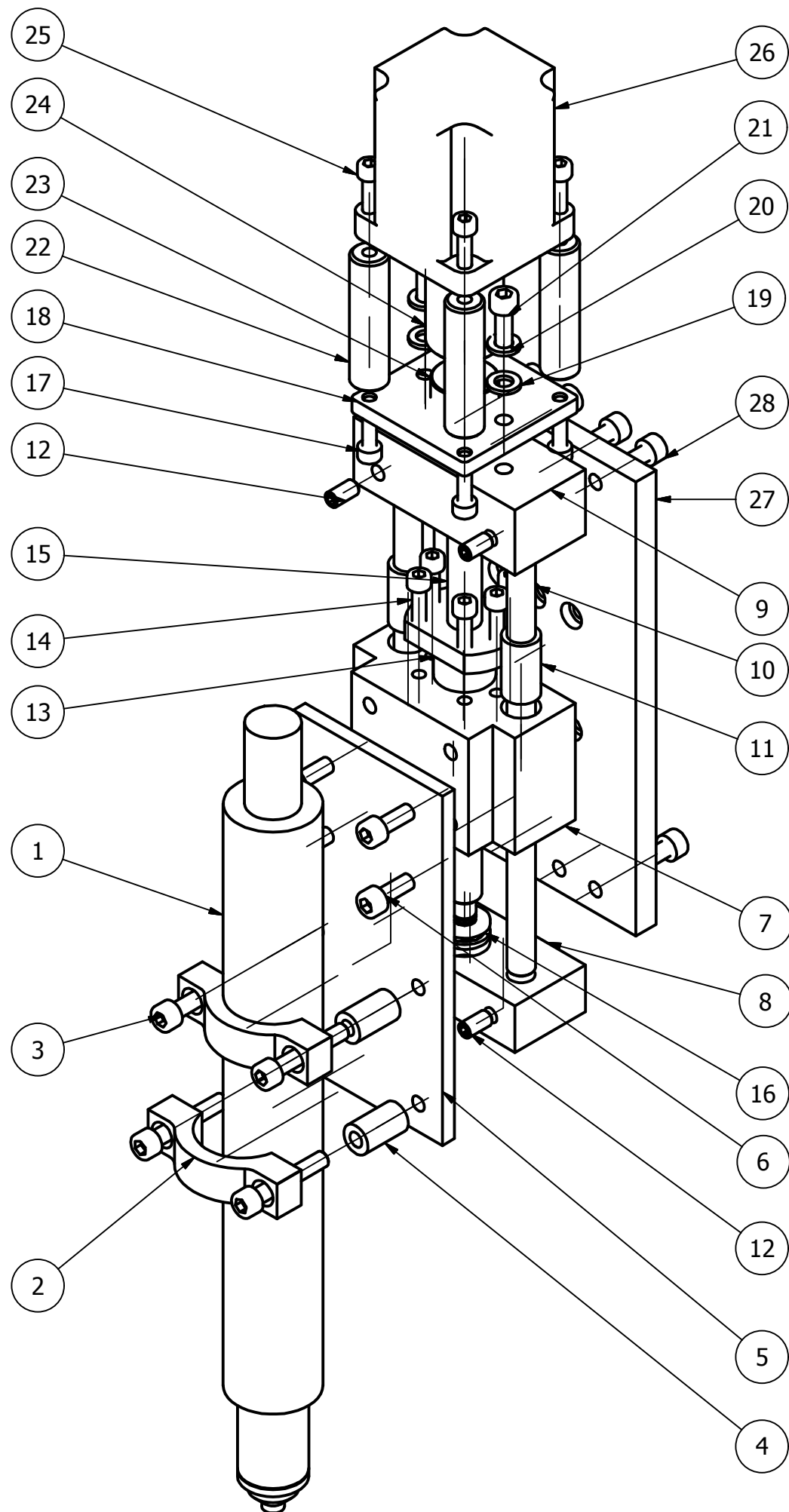
型号 Model No.	轴径 Shaft diameter d1	L	H	F	E	Dg6	A	PCD	B	安装方法A Mounting method A		安装方法B Mounting method B		X	Y	Z	M	T	G	Q
										L1	T1	L2	T2							
FK10	10	27	10	17	29.5	34 <sup>-0.009</sup> <sub>-0.025</sub>	52	42	42	7.5	5	8.5	6	4.5	8	4	M3	16	-	-
FK12	12	27	10	17	29.5	36 <sup>-0.009</sup> <sub>-0.025</sub>	54	44	44	7.5	5	8.5	6	4.5	8	4	M4	19	-	-
FK15	15	32	15	17	36	40 <sup>-0.009</sup> <sub>-0.025</sub>	63	50	52	10	6	12	8	5.5	9.5	6	M4	22	-	-
FK17	17	45	22	23	47	50 <sup>-0.009</sup> <sub>-0.025</sub>	77	62	61	11	9	14	12	6.6	11	10	M4	24	-	-
FK20	20	52	22	30	50	57 <sup>-0.010</sup> <sub>-0.029</sub>	85	70	68	8	10	12	14	6.6	11	10	M4	30	34	M6
FK25	25	57	27	30	60	63 <sup>-0.010</sup> <sub>-0.029</sub>	98	80	79	13	10	20	17	9	15	13	M5	35	39	M6
FK30	30	62	30	32	61	75 <sup>-0.010</sup> <sub>-0.029</sub>	117	95	93	11	12	17	18	11	17.5	15	M6	40	46	M6



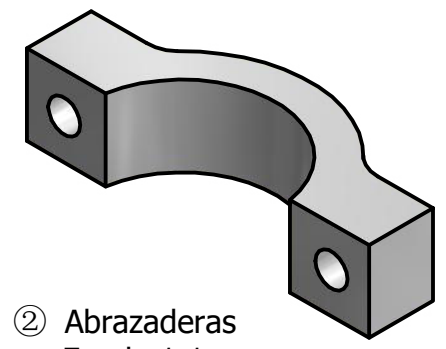
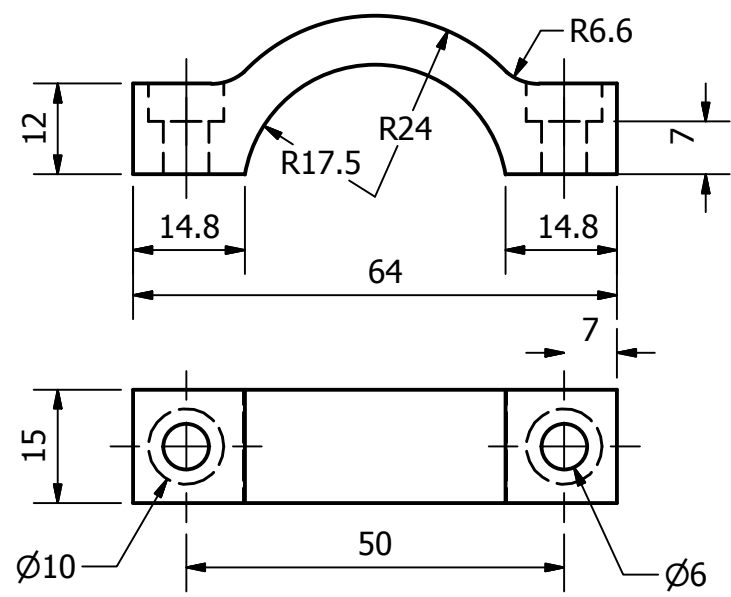
# PLANOS ESQUEMÁTICOS



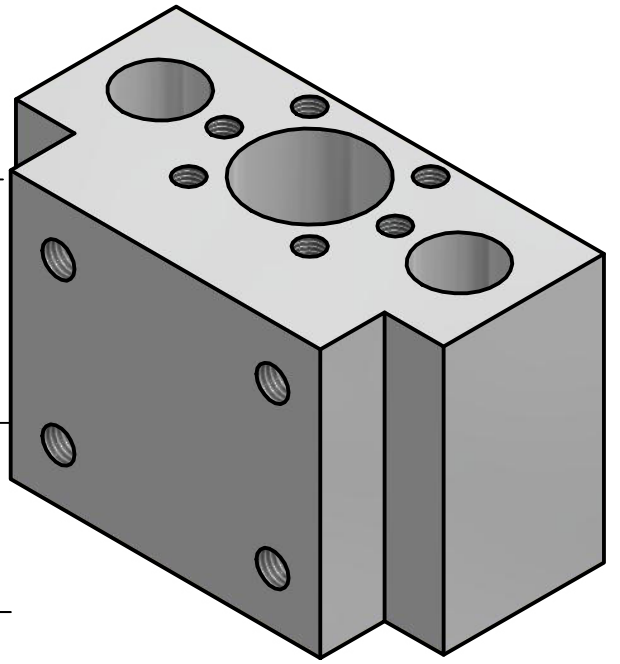
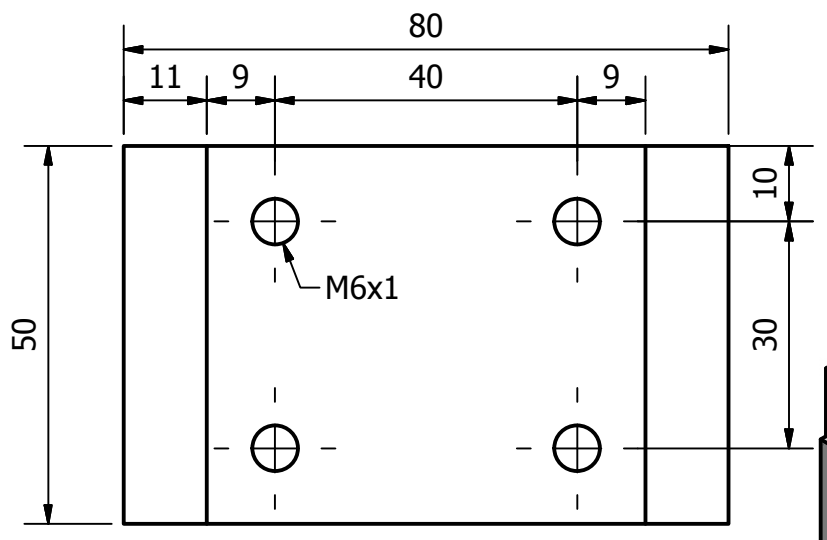
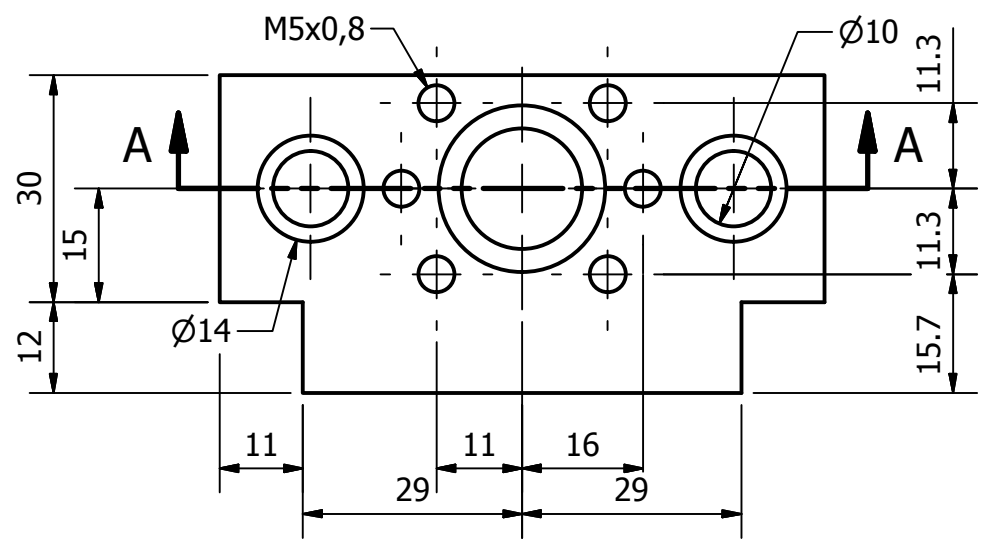
Lista de piezas			
Número Pieza	Cantidad	Descripción del material	
1	1	Componente para la sujeción de la antorcha (Z)	
2	1	Componente de guiado lineal transversal (X)	
3	2	Componente de guiado lineal longitudinal (Y)	
4	1	Mesa de trabajo	
	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre
	Fecha	Dibujado por:	No. 1
	02/09/2015	Aprobado por:	
Escala:	Máquina Cortadora por plasma		
1:10			



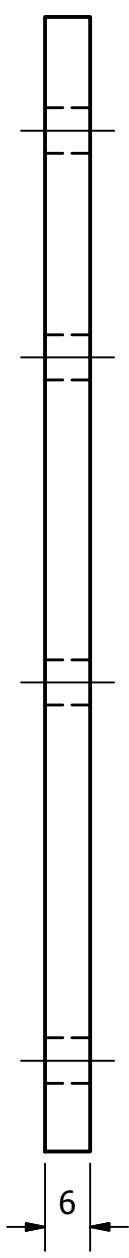
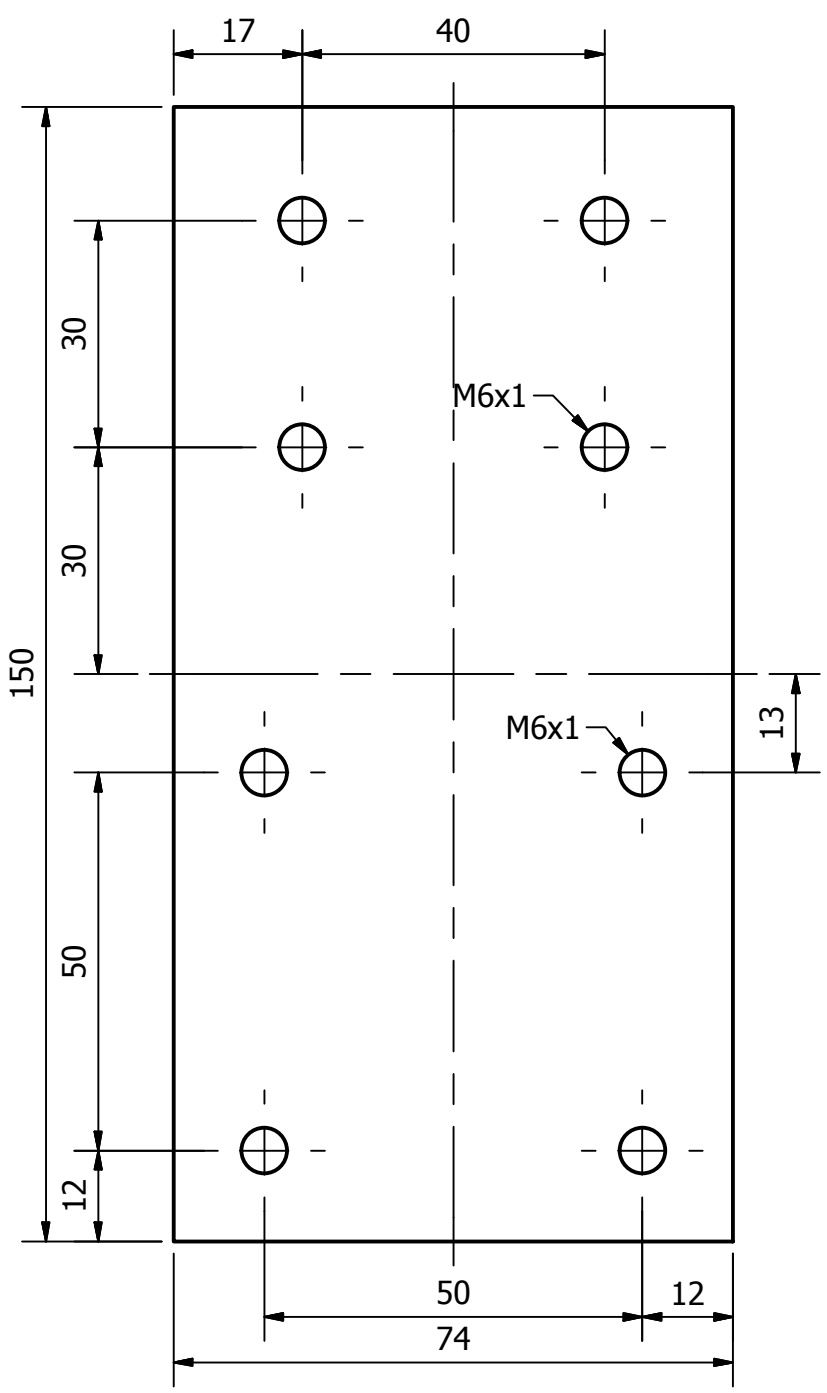
Lista de piezas				
Número Pieza	Cantidad	Descripción del material		
1	1 un	Torch Mechanic equipo plasma Lincoln Electric k2808-2 Tomahawk		
2	2 un	Abrazaderas		
3	4 un	Perno M6x35		
4	4 un	Espaciadores de teflón		
5	1 un	Placa 1		
6	4 un	Perno M6x20		
7	1 un	Bloque porta tuerca del husillo de bolas		
8	1 un	Bloque inferior		
9	1 un	Bloque superior		
10	2 un	Eje macizo - quia lineal		
11	2 un	Bocines		
12	4 un	Prisioneros M6x12		
13	1 un	Tuerca del husillo de bolas		
14	6 un	Pernos M5x20		
15	1 un	Husillo de bolas		
16	2 un	Rodamiento axial de bolas SKF BA8 (inferior) SKF 51100 (superior)		
17	4 un	Pernos M5x20		
18	1 un	Placa superior		
19	2 un	Arandela plana DIN 126-6,6		
20	2 un	Arandela de presión DIN 127-A6		
21	2 un	Pernos M6x16		
22	4 un	Espaciadores de teflón		
23	2 un	Bocin espaciador del husillo de bolas		
24	1 un	Acople elastico (L050/HUB 685144-40214 685144-41460/685144-0194)		
25	4 un	Pernos M5x20		
26	1 un	Motor paso a paso NEMA 23		
27	1 un	Placa 2		
28	8 un	Pernos M6x20		
		Proyecto/ Materia Integradora	Nombre	No.º
Escala:		Fecha	Dibujado por:	2
1:2		02/09/2015	Aprobado por:	
		Conjunto sistema sujeción antorcha		



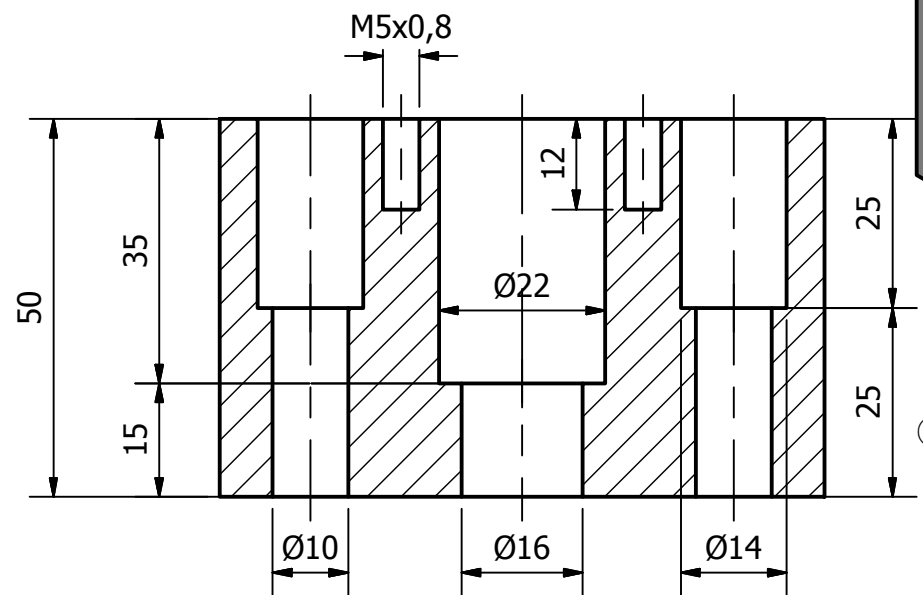
② Abrazaderas  
Escala 1:1



⑦ Bloque para tuerca del husillo de bolas  
Escala 1:1



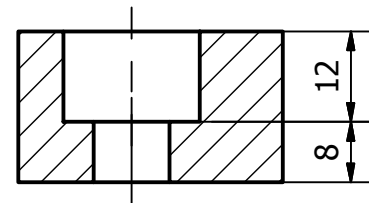
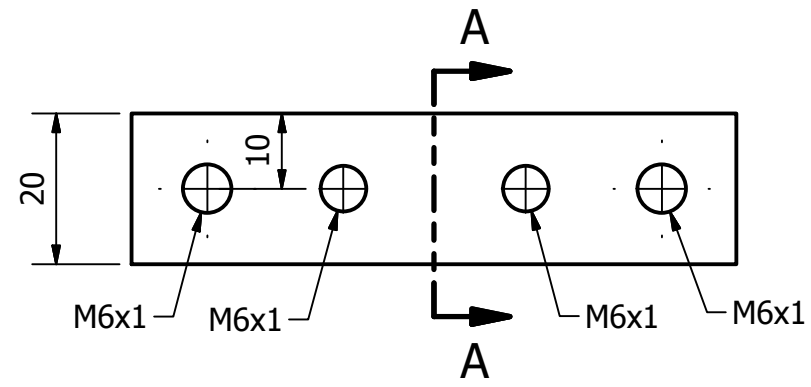
⑤ Placa  
Escala 1:1



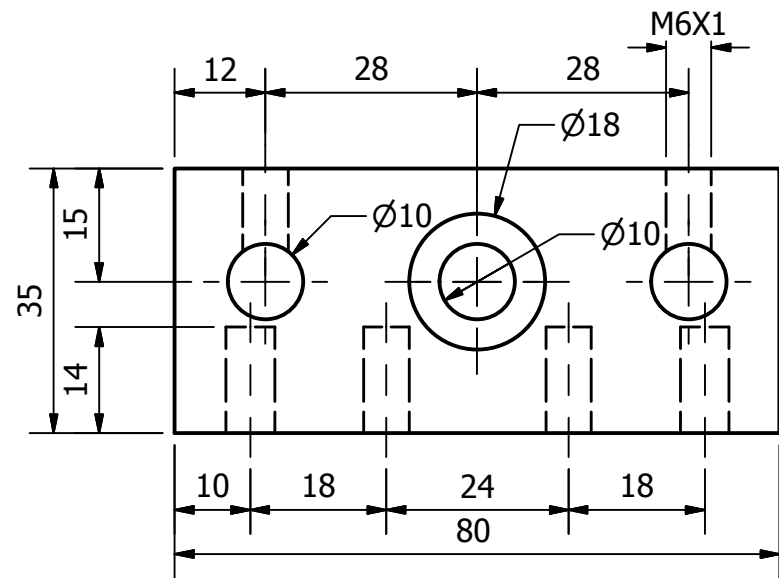
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre	No.° <b>3</b>
	Fecha	Dibujado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro	
Escala:	02/09/2015	Aprobado por:	MSc. Jorge Marcial	
<b>Partes (1)-Conjunto sujeción antorcha</b>				

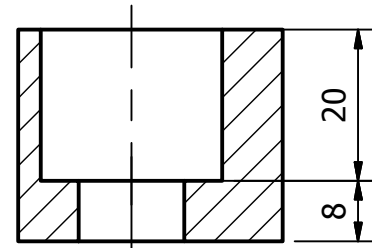
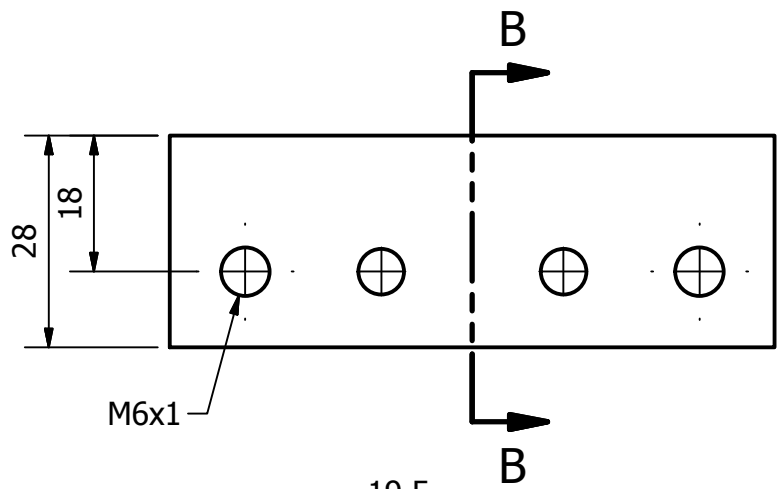
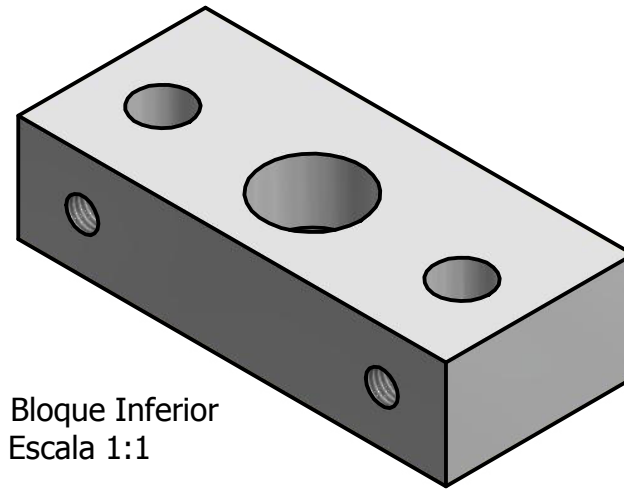




SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

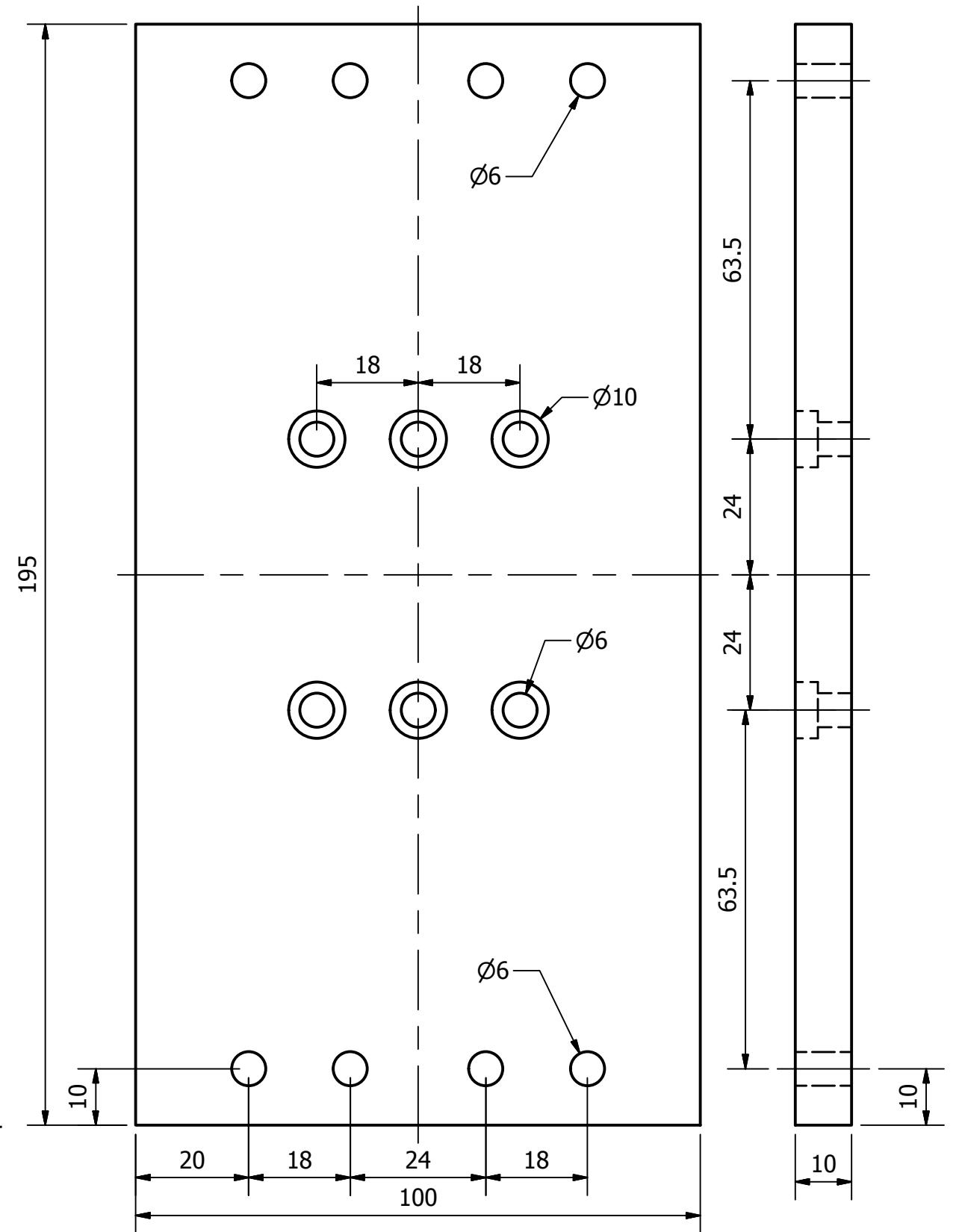
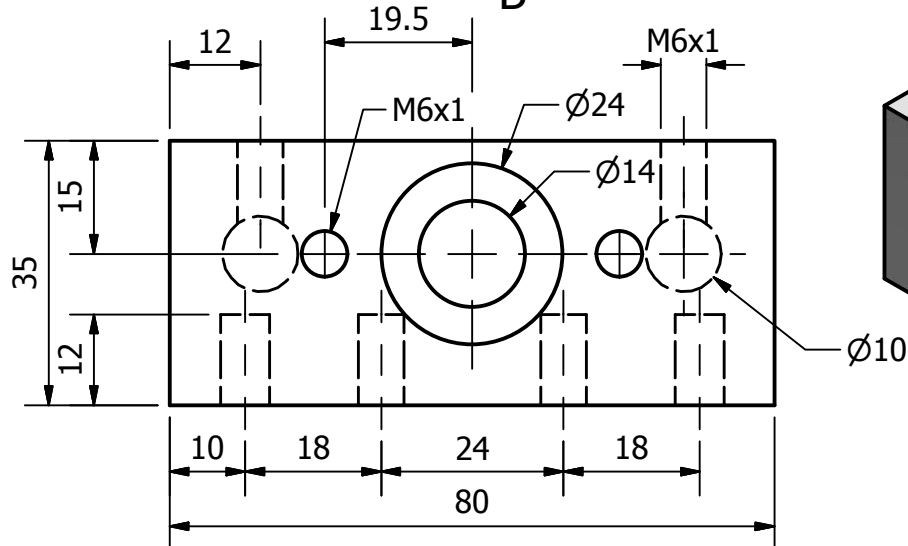
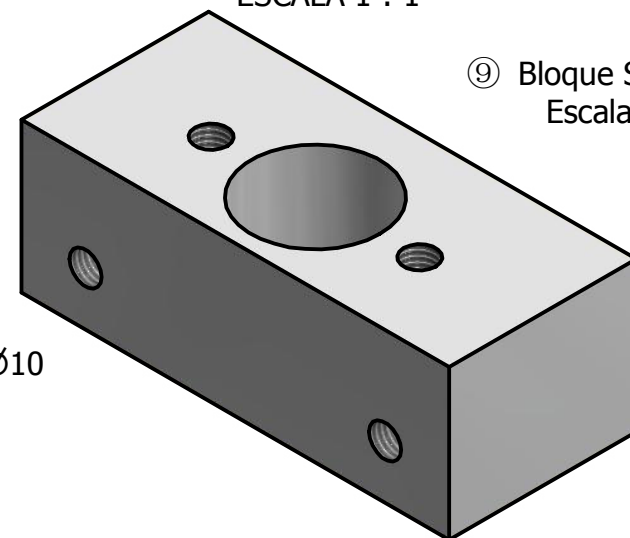


⑧ Bloque Inferior  
Escala 1:1



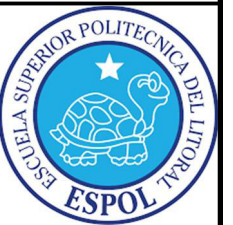
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1

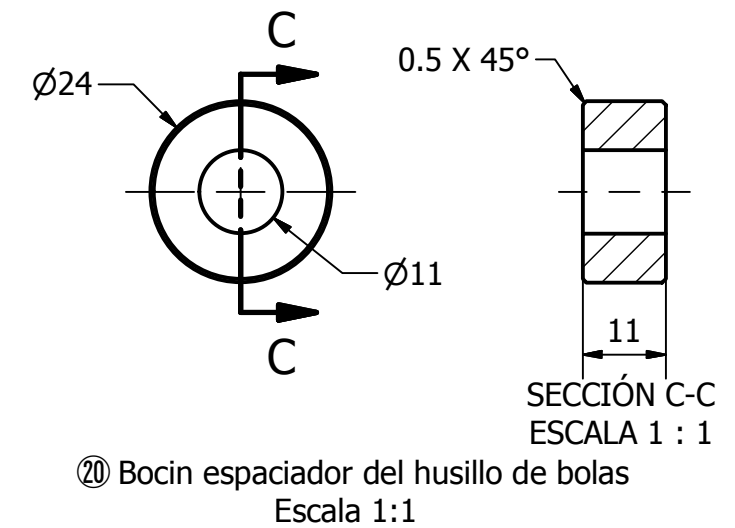
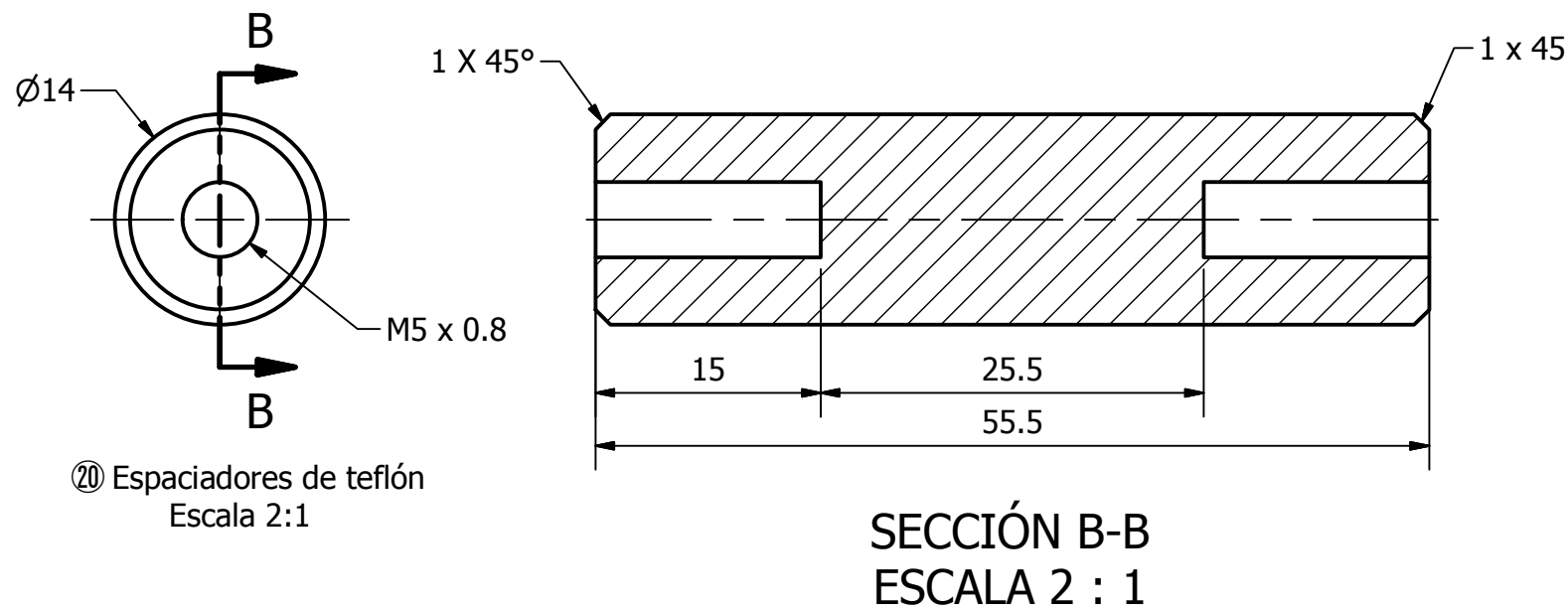
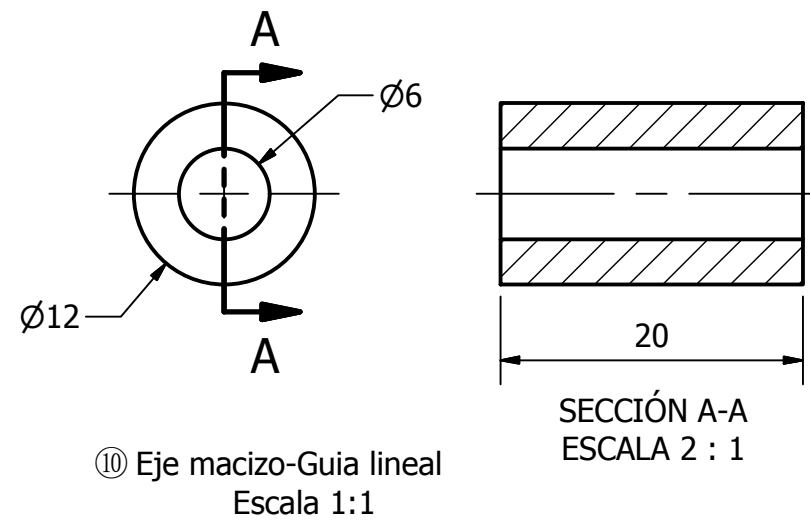
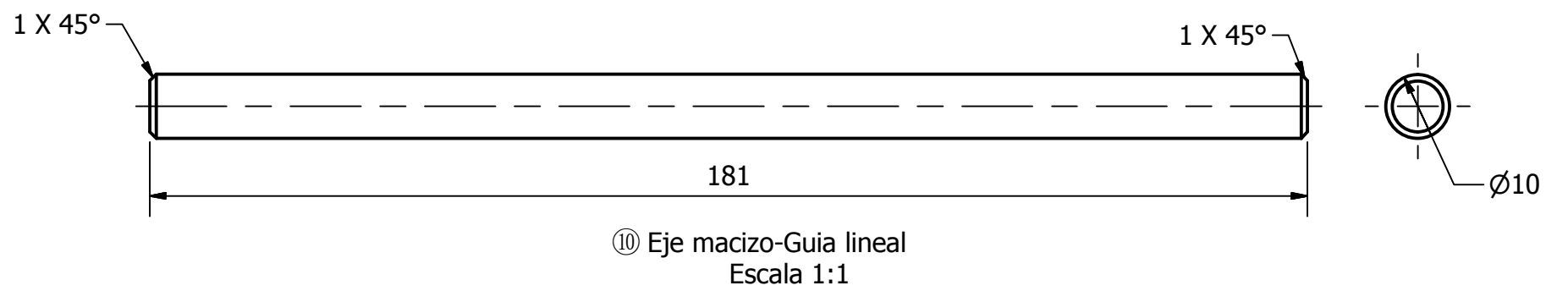
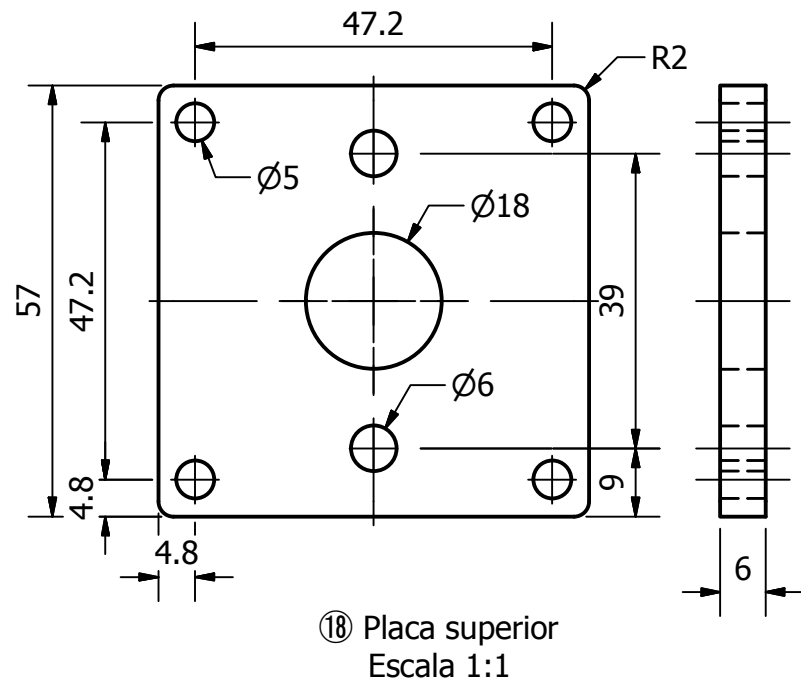
⑨ Bloque Superior  
Escala 1:1



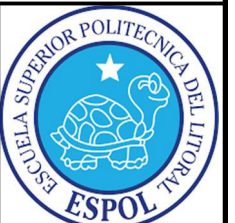
⑩ Placa 2  
Escala 1:1

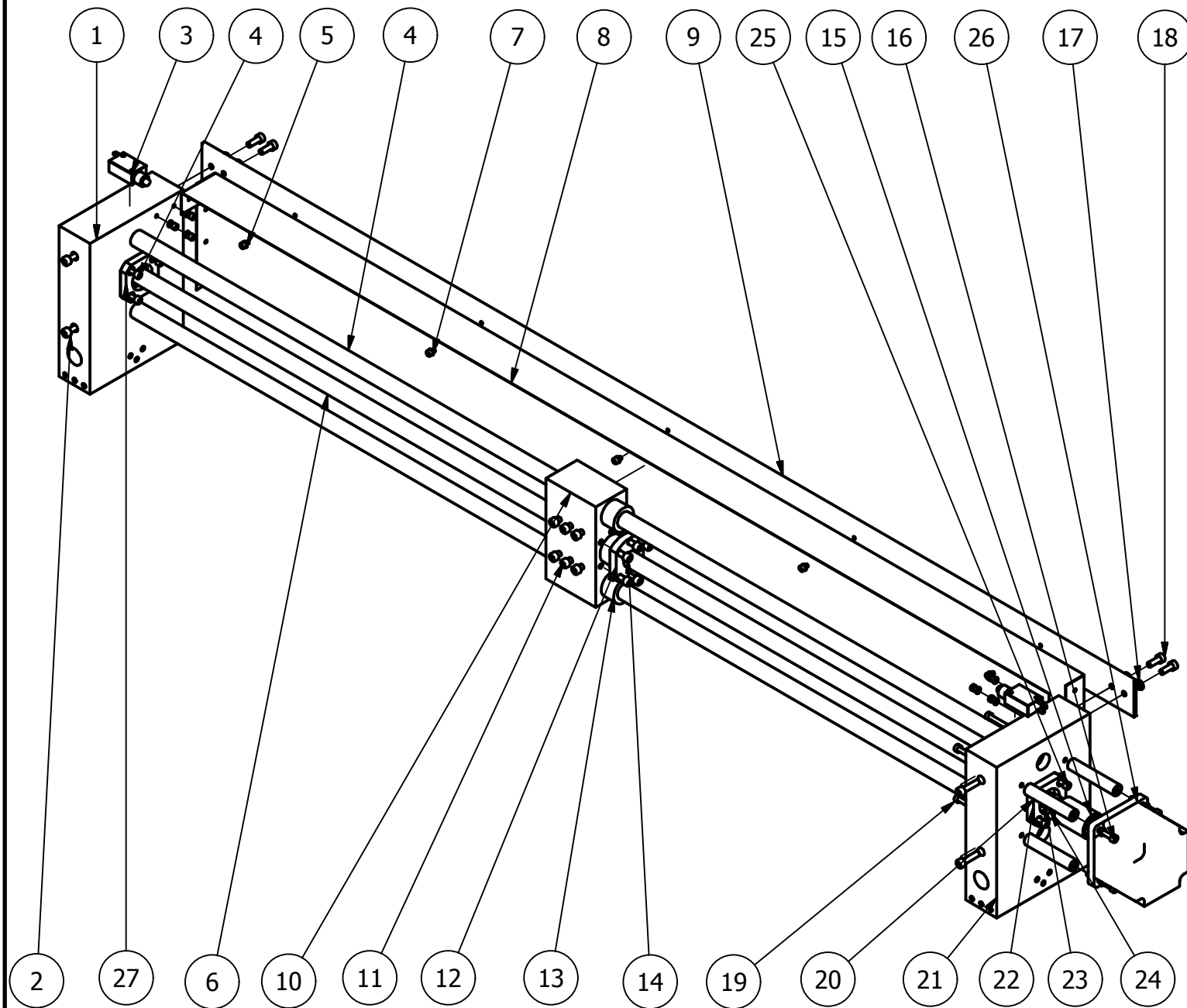
	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre	No.° <b>4</b>
	Fecha	Dibujado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro	
	02/09/2015	Aprobado por:	MSc. Jorge Marcial	
Escala:	<b>Partes (2)-Conjunto sujección antorcha</b>			



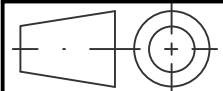


	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre		No.° <b>5</b>
	Fecha	Dibujado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro		
	02/09/2015	Aprobado por:	MSc. Jorge Marcial		
Escala:	Partes (3)-conjunto sujección antorcha				





Lista de piezas		
Número Pieza	Cantidad	Descripción del material
1	1 un	Bloque Y
2	4 un	Perno M6x25
3	2 un	Fin de carrera eje X
4	2 un	Eje macizo-guia lineal X
5	19un	Arandela de presion Din 127-A4
6	1 un	Husillo de bolas
7	15un	Perno M4x6
8	1 un	Protector eje X
9	1 un	Platina transversal
10	1 un	Bloque porta tuerca del husillo de bolas
11	6 un	Perno M6x20
12	1 un	Tuerca del husillo de bolas
13	2 un	Rodamiento lineal de bolas BBES20LA
14	6 un	Pernos M6x20
15	1 un	Acople elastico (L050/HUB 685144-40214 685144- 48510/685144-0194)
16	4 un	Perno M5x40
17	4 un	Arandela de presion DIN 127 A6
18	4 un	Perno M6x16
19	4 un	Perno M5x45
20	4 un	Espaciadores de teflon
21	1 un	Bloque Y-Motor
22	1 un	Chumacera de pared Fija
23	1 un	Bocin espaciador del husillo de bolas
24	1 un	Tuerca del husillo de bolas
25	4 un	Perno M5x25
26	1 un	Motor paso a paso NEMA 23
27	1 un	Chumacera de pared deslizante

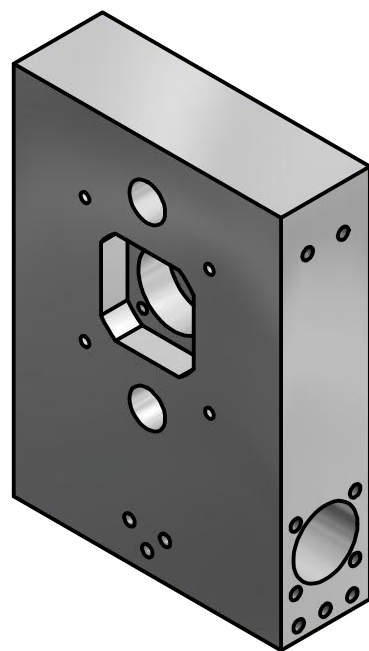
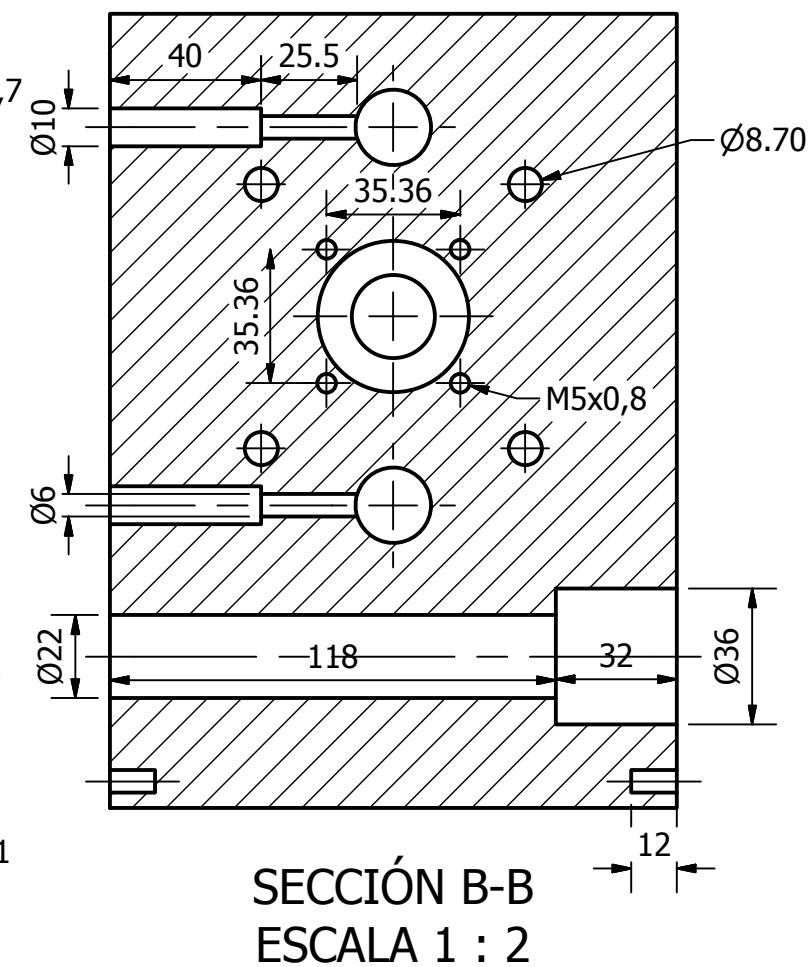
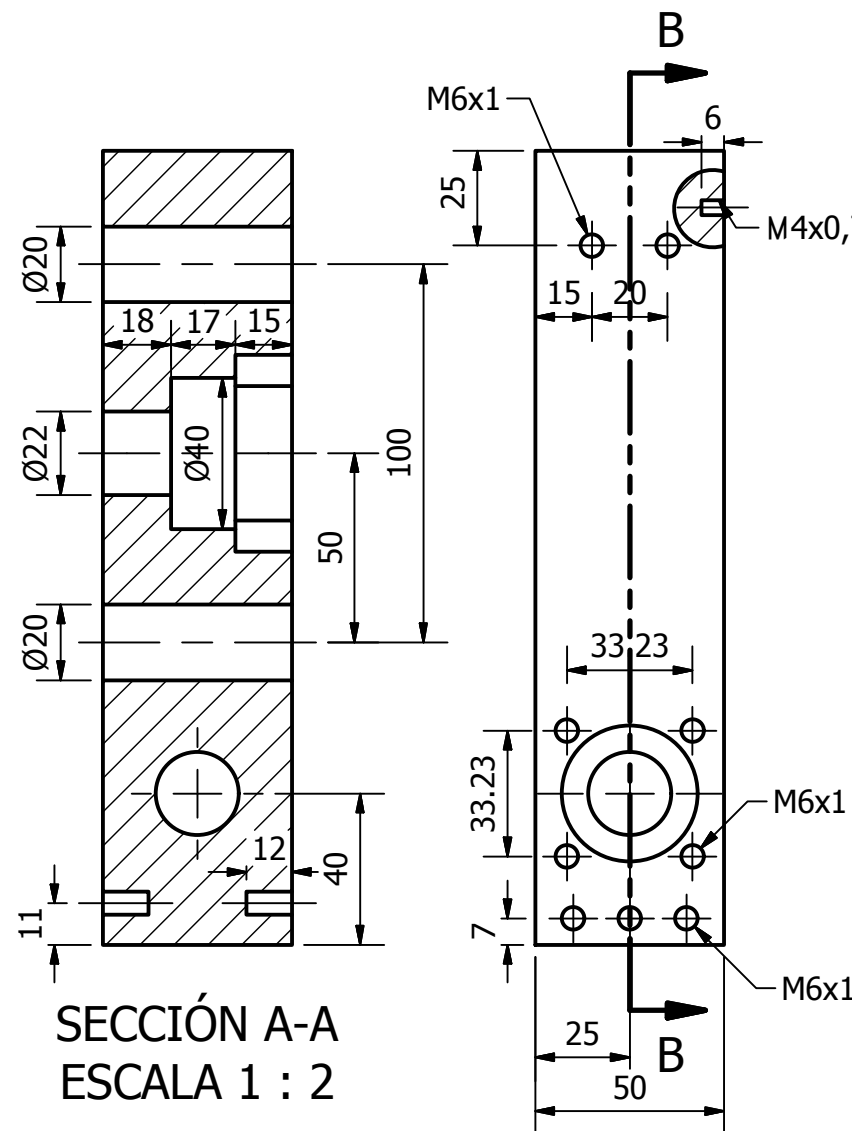
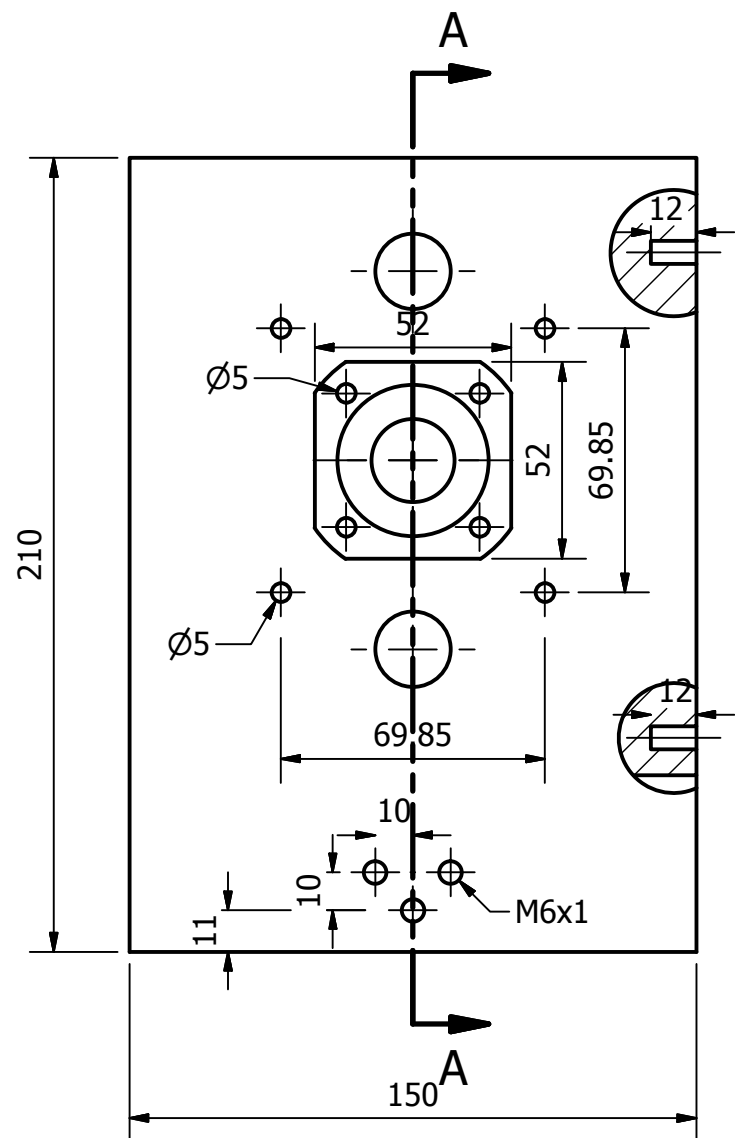


Escala:  
1:6

Proyecto/ Materia Integradora		Nombre		No. <b>6</b>
Fecha	Dibujado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro		
02/09/2015	Aprobado por:	MSc. Jorge Marcial		

Conjunto componente de  
guiado lineal transversal (X)



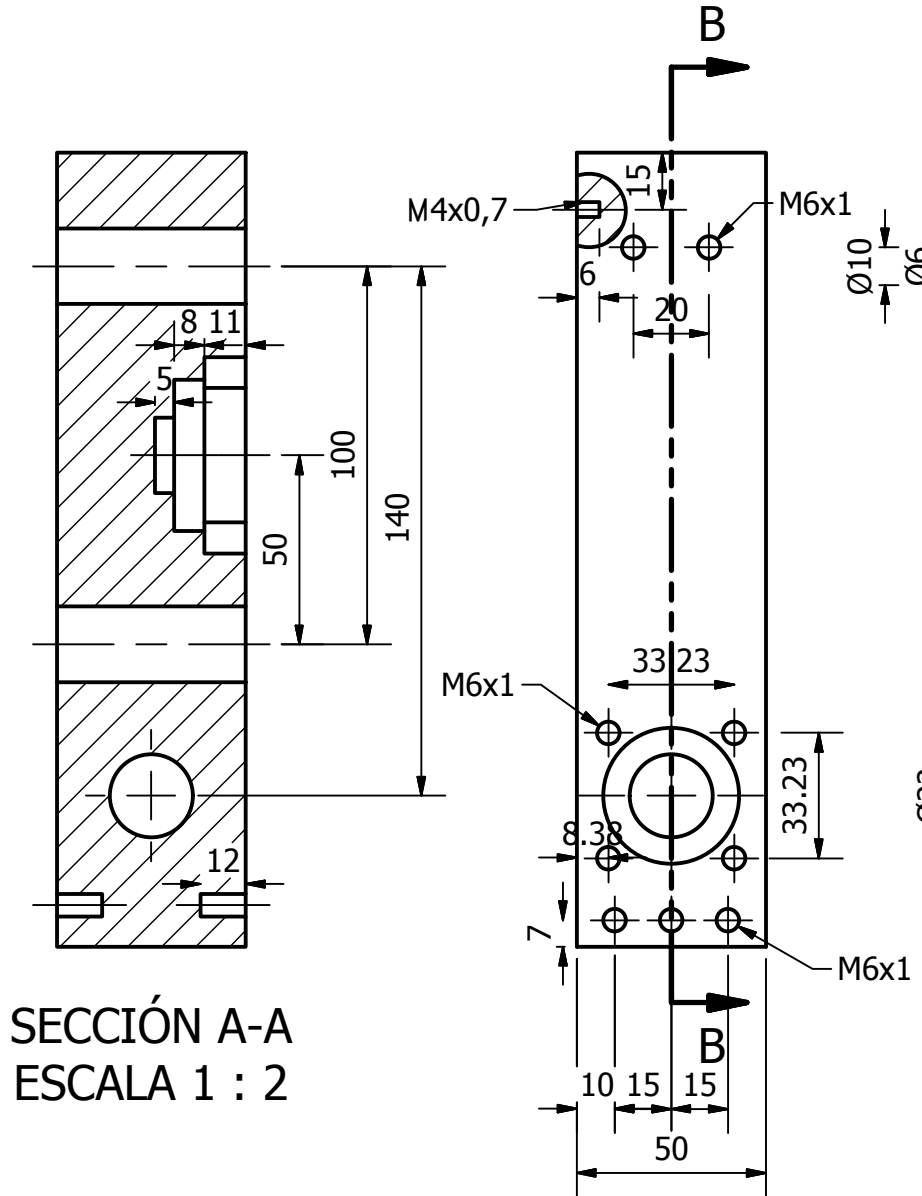
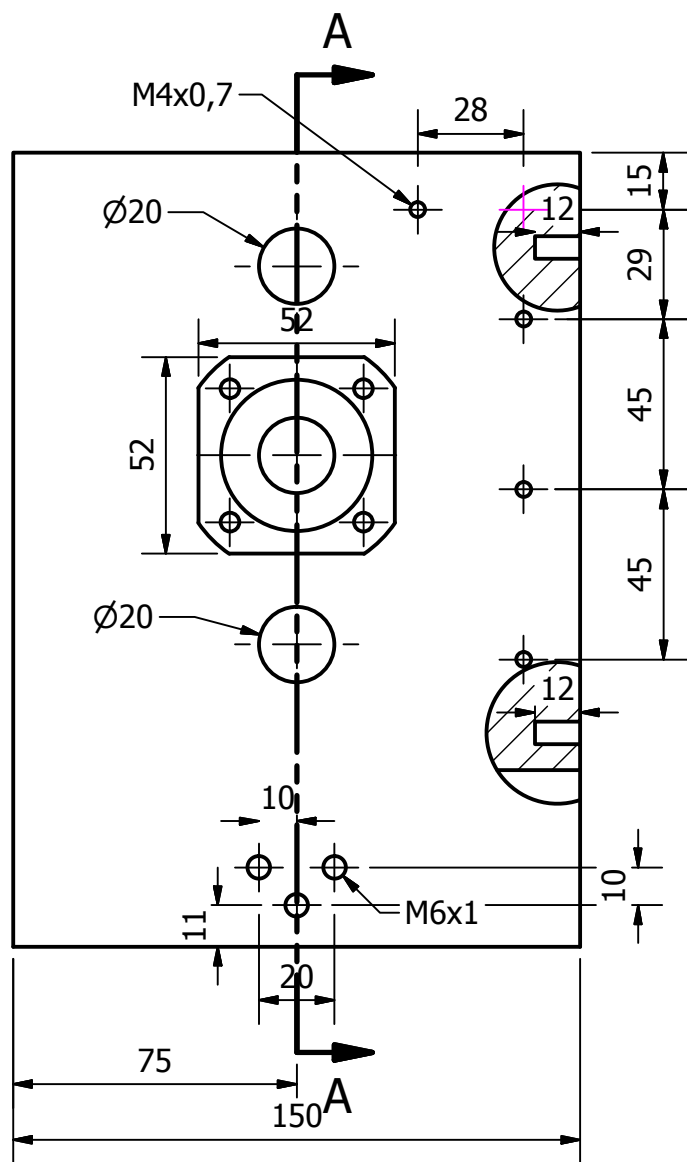


20 Bloque Y-motor  
Escala 1:3

	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre		No.° <b>7</b>
	Fecha	Dibujado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro		
Escala: <b>1:2</b>	02/09/2015	Aprobado por:	MSc. Jorge Marcial		
<b>Bloque Y-motor</b>					

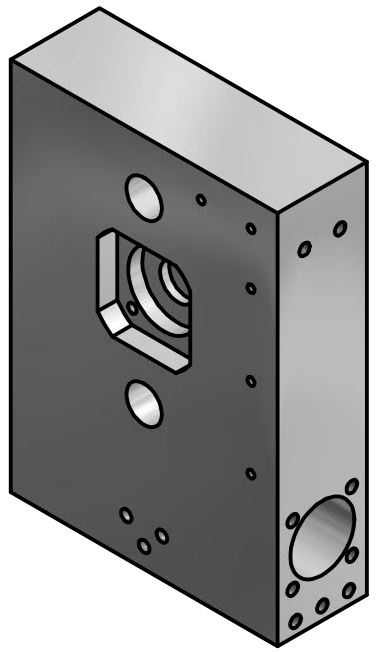






SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

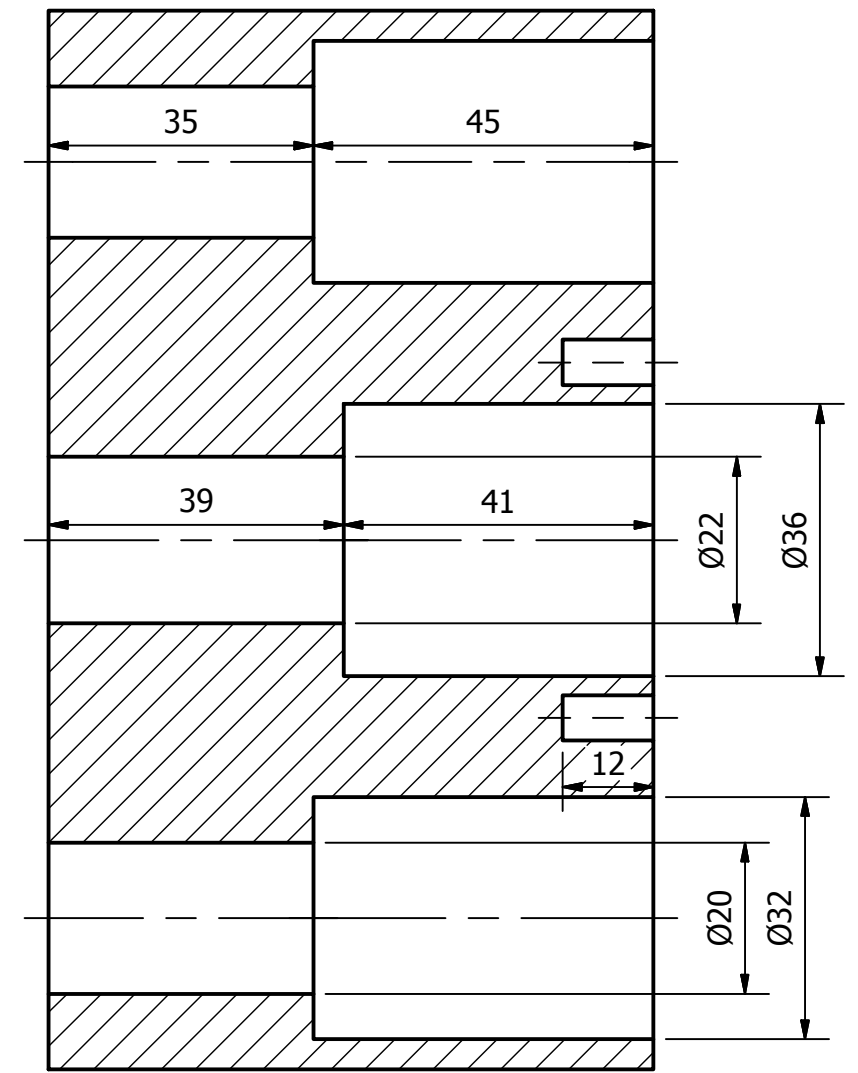
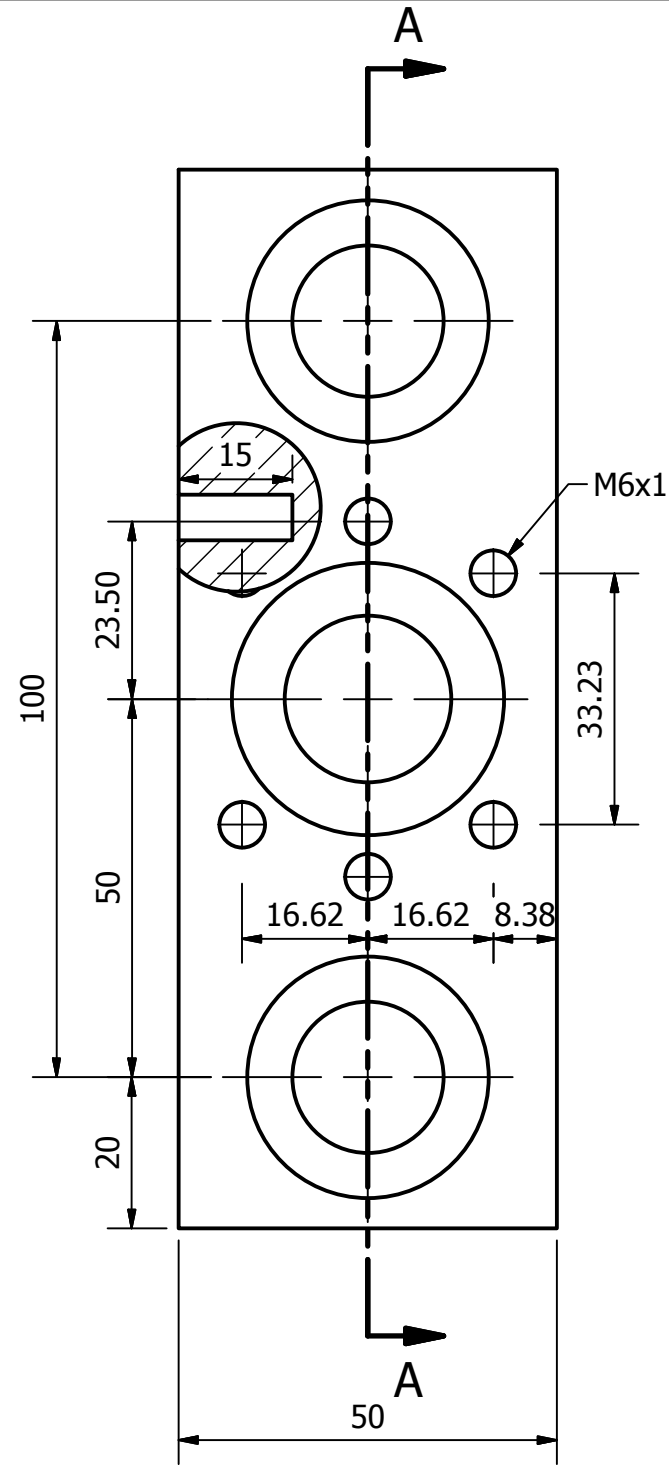
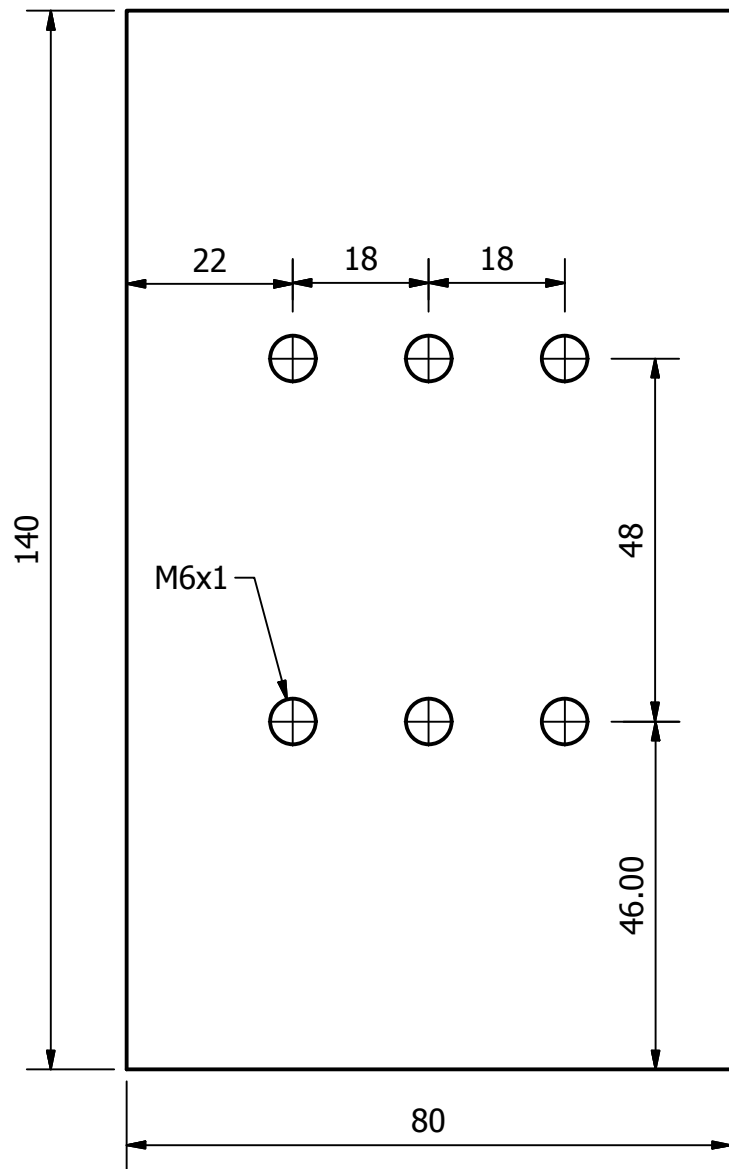
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 2



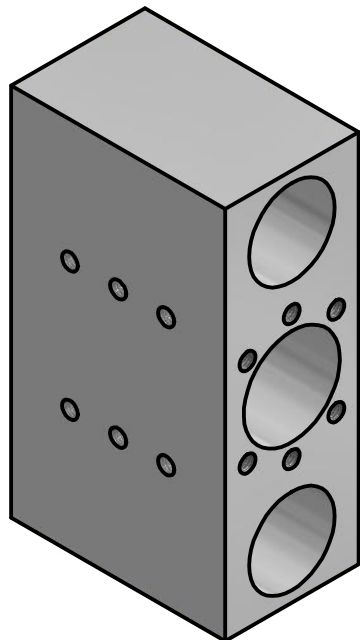
① Bloque Y  
Escala 1:3

	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre		No.º 8
	Fecha	Dibujado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro		
Escala:	02/09/2015	Aprobado por:	MSc. Jorge Marcial		
1:2	Bloque Y				

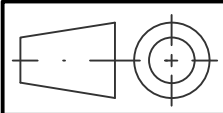



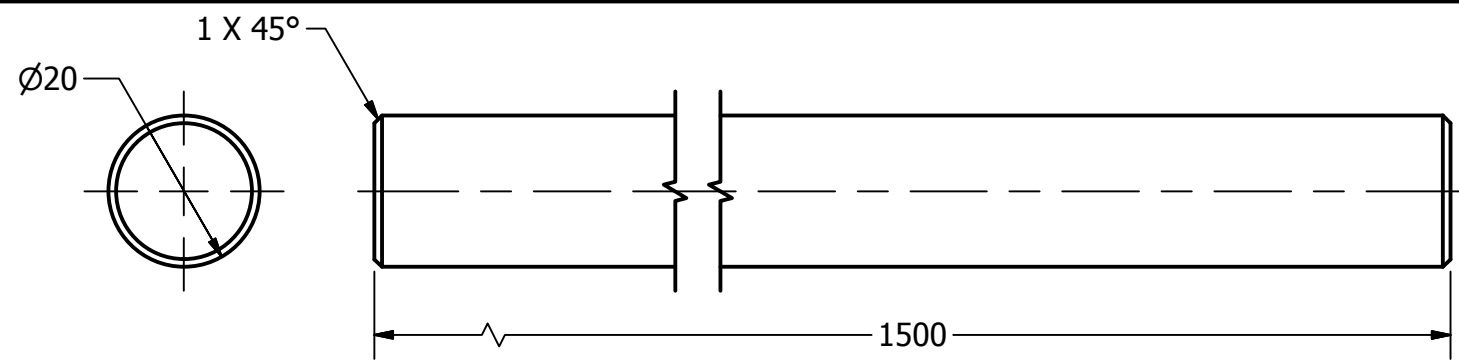


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1

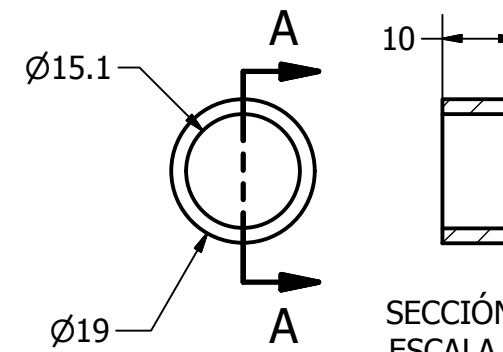


⑩ Bloque tuerca husillo de bolas (x)  
Escala 1:2

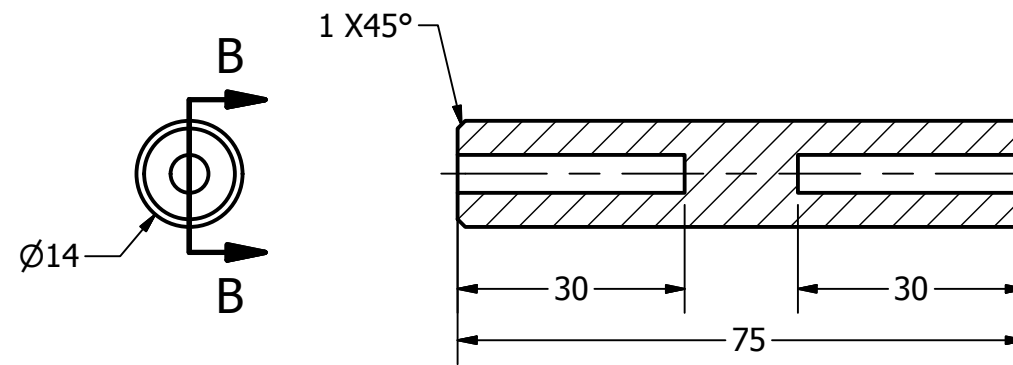
 Escala: <b>1:1</b>	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre		No.º <b>9</b>
	Fecha 02/09/2015	Dibujado por: Aprobado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro MSc. Jorge Marcial		
<b>Bloque tuerca husillo de bolas (x)</b>					



④ Eje guía  
Escala 1:1

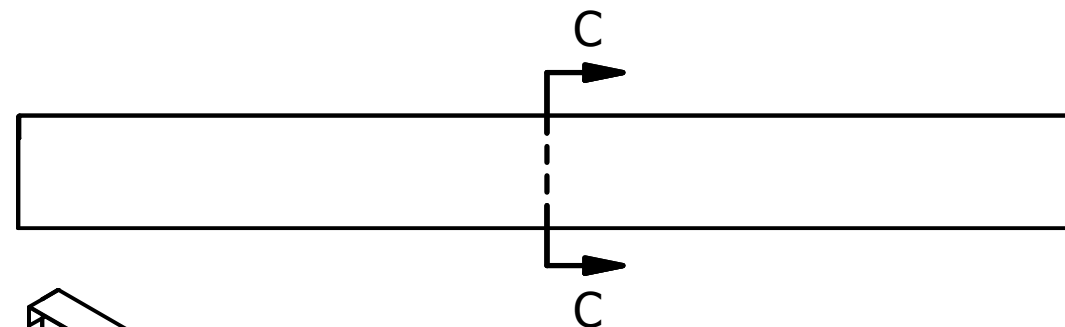


⑩ Bocin espaciador del husillo de bolas  
Escala 1:1



⑩ Bocin espaciador del motor  
Escala 1:1

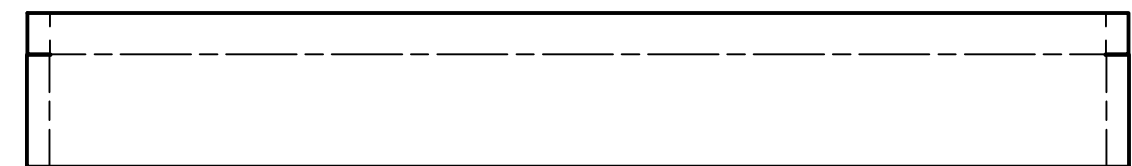
SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1



⑧ Protector eje X  
Escala 1:1



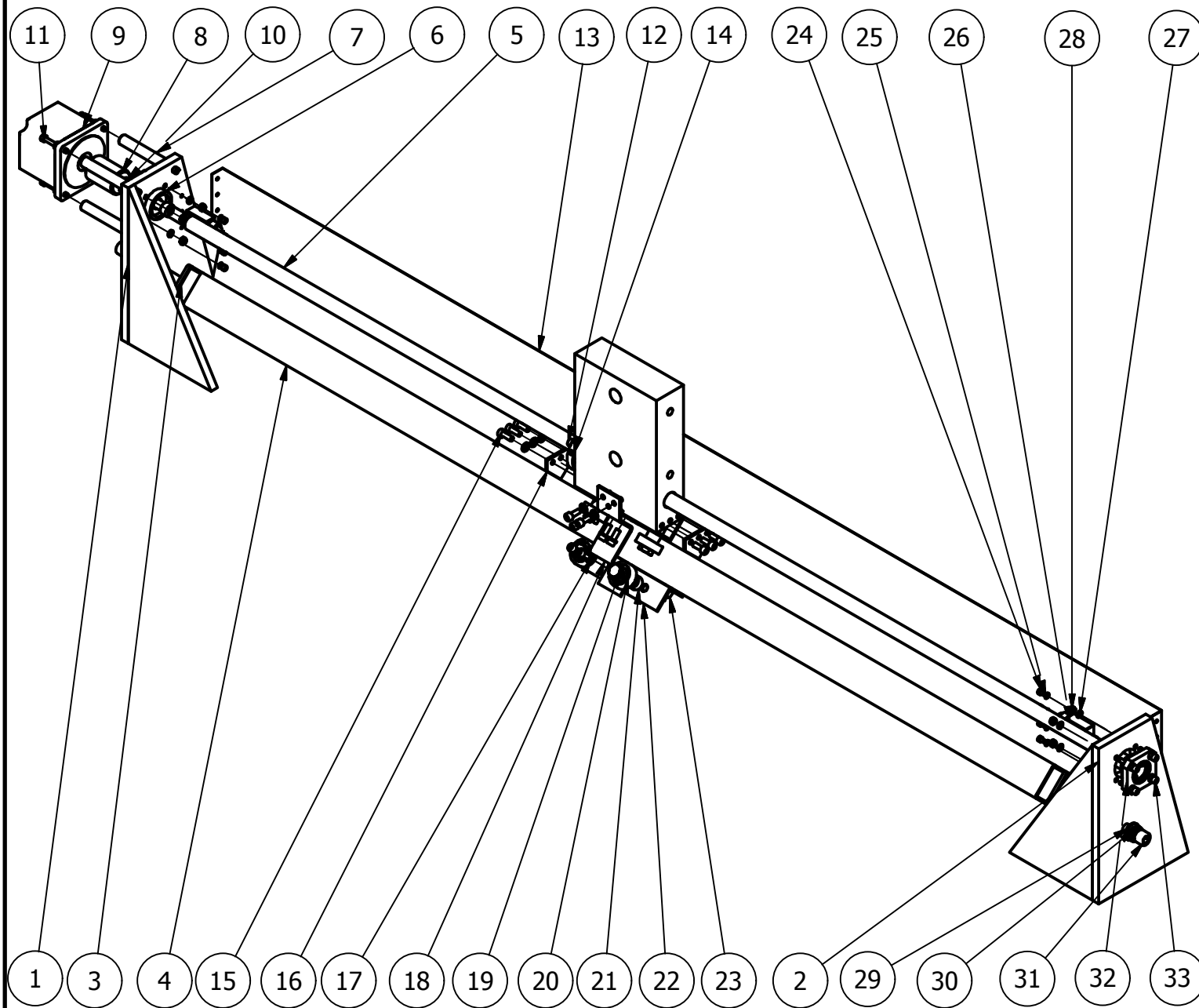
SECCIÓN C-C  
ESCALA 1 / 10



⑧ Protector eje X / lamina Desplegado  
Escala 1:1

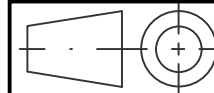
	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre	No.° <b>10</b>
	Fecha	Dibujado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro	
	02/09/2015	Aprobado por:	MSc. Jorge Marcial	
Escala: <b>1:1</b>	Partes del componente transversal X			





En la cantidad de piezas estan considerados los dos compenentes de guiado longitudinal (eje Y)

Lista de piezas		
Número Pieza	Cantidad	Descripción del material
1	2 un	Esquina soporte chumacera lado motor
2	2 un	Esquina soporte chumacera
3	4 un	Tapones guias rulinas
4	2 un	Tubo estructural cuadrado ASTM A36 50x50x1364
5	2 un	Husillo de bolas
6	2 un	Chumacera de pared Fija
7	8 un	Espaciadores de teflon
8	2 un	Acople elastico (L050/HUB 685144-40214 685144- 48510/685144-0194)
9	2 un	Motor paso a paso NEMA 23
10	2 un	Tuerca seguro del husillo de bolas
11	8 un	Pernos M5x40
12	8 un	Pernos M6x20
13	2 un	Protector eje Y
14	2 un	Tuerca husillo de bolas
15	2 un	Husillo de bolas
16	4 un	Topes rulinas
17	40un	Arandela DIN 126 6,6
18	4 un	Platina de ensamble rulinas
19	16un	Pernos M10x35
20	16un	Rodamientos rigidos de bolas 6300
21	16un	Bocin espaciador rodamientos
22	4 un	Angulo L35x150mm
23	16un	Tuerca perno M10
24	16un	Pernos M4x6
25	16un	Arandela de presion DIN 127 A4
26	4 un	fin de carrera
27	16un	Arandela de presion DIN 127 A5
28	16un	Tuerca perno M5
29	4 un	Arandela Din 126 13,5
30	4 un	Arandela de presion DIN 127 A12
31	4 un	Pernos M12x 120
32	2 un	Chumacera de pared deslizante
33	16un	Pernos M5x25



Escala:

1:8

Proyecto/ Materia Integradora

Nombre

No.º

Fecha  
02/09/2015

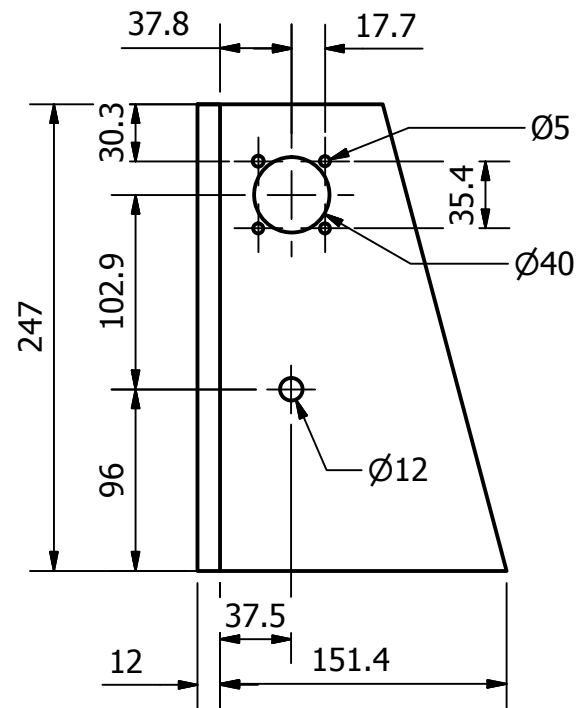
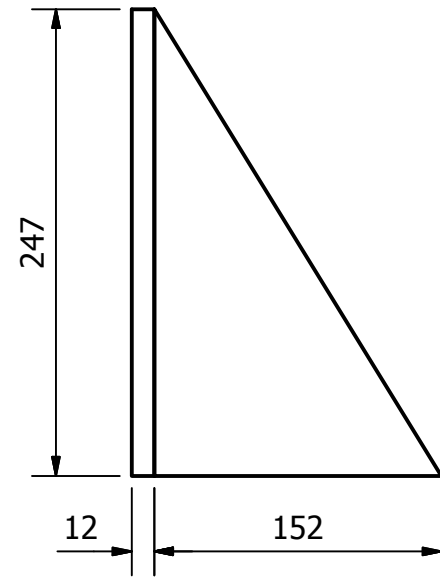
Dibujado por:  
Aprobado por:

Mirallas Kevin /Portes Pedro  
MSc. Jorge Marcial

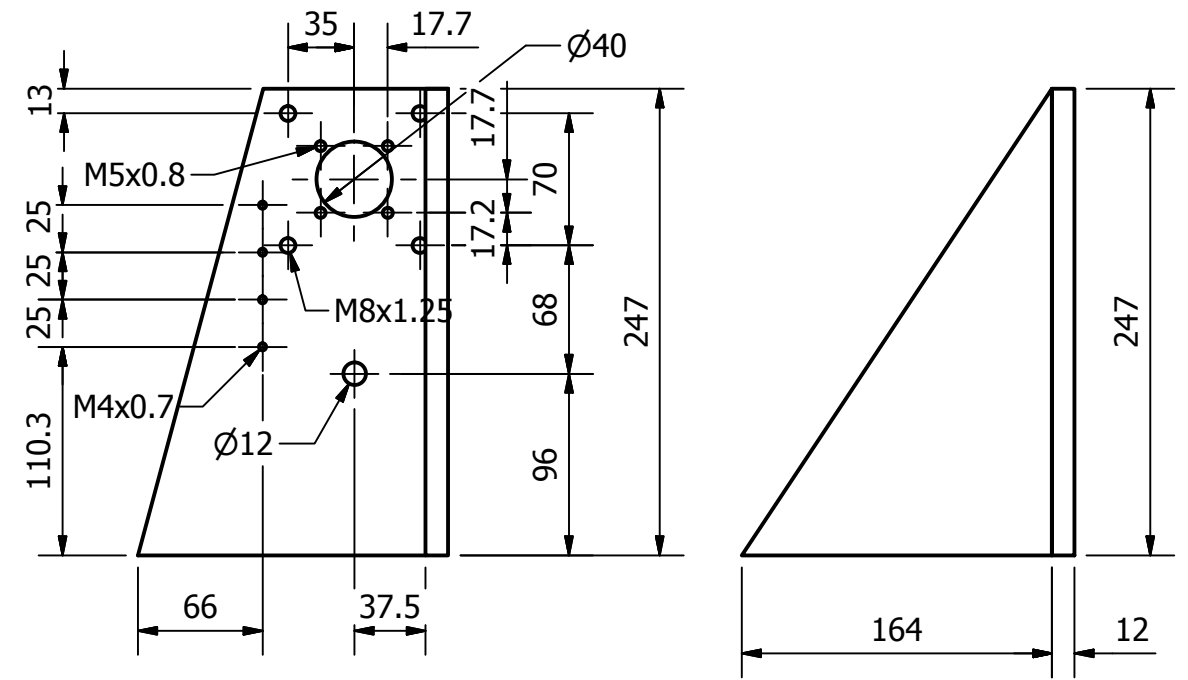
11

Conjunto componente de guiado  
lineal longitudinal (Y)

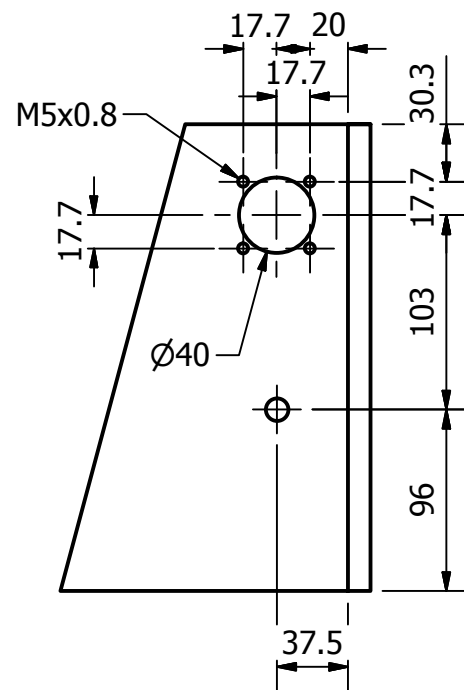
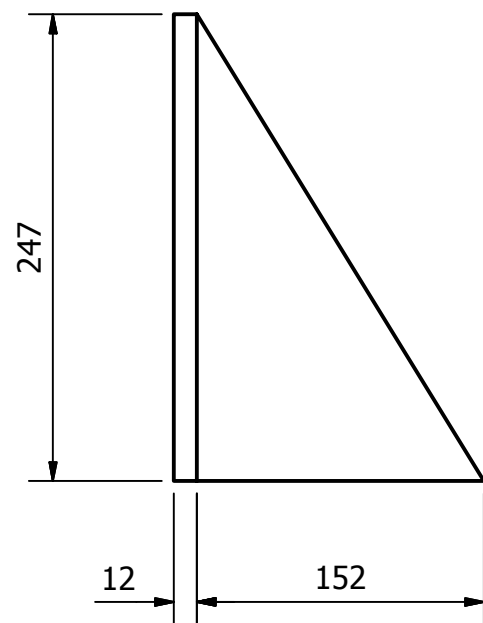
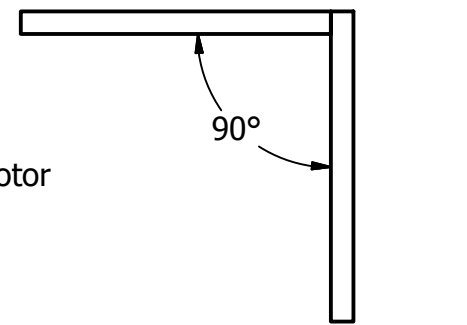
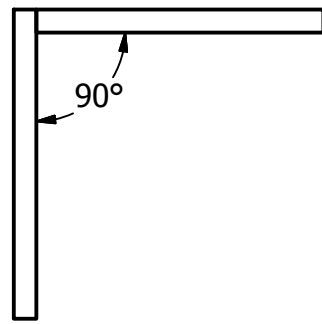




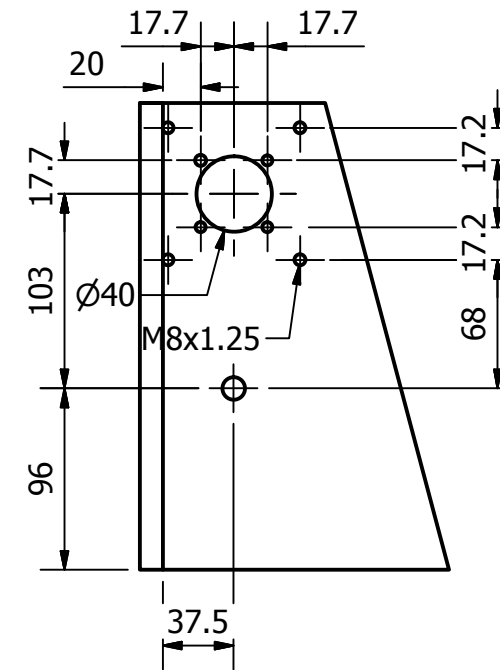
② Esquina soporte chumacera lado Der.  
Escala 1:1



① Esquina soporte chumacera lado der. motor  
Escala 1:1



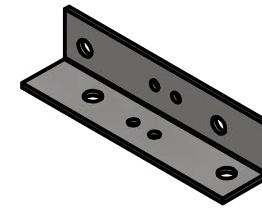
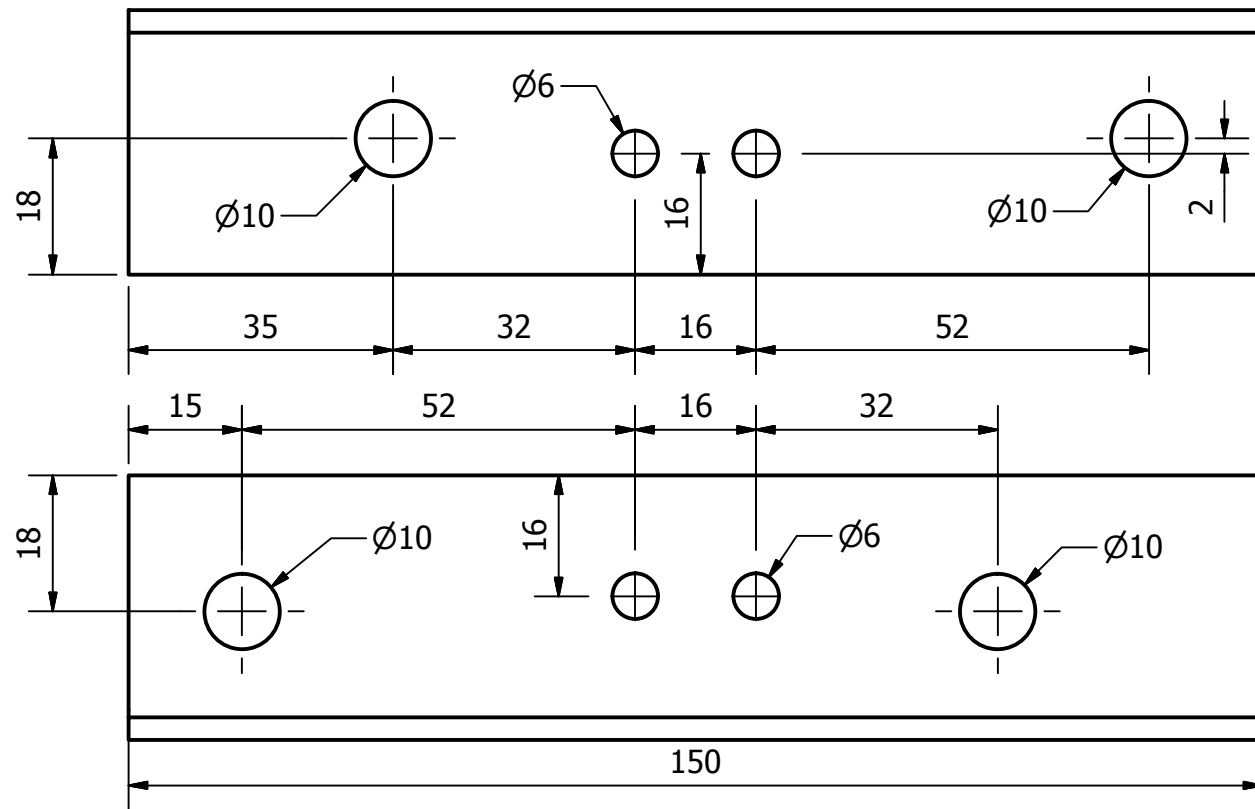
② Esquina soporte chumacera lado Izq.  
Escala 1:1



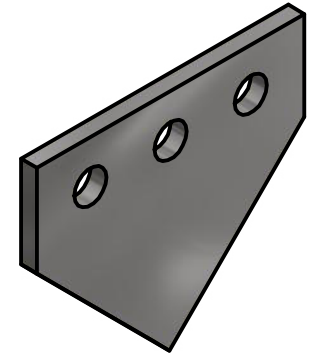
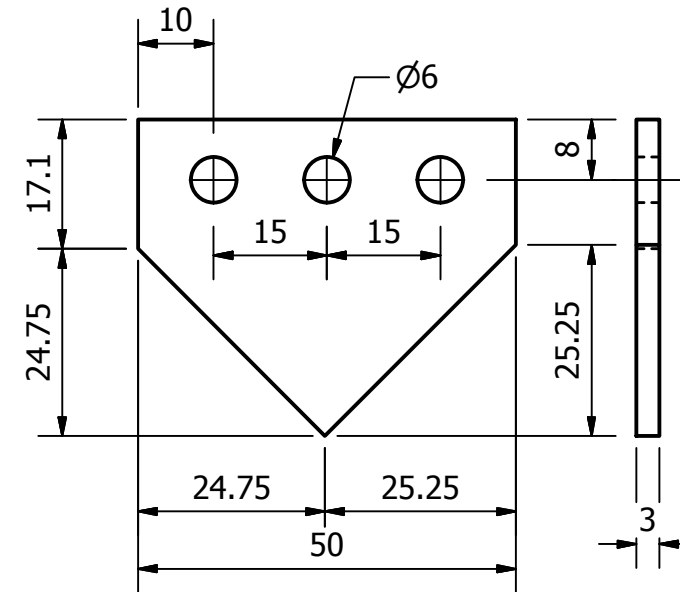
① Esquina soporte chumacera lado Izq. motor  
Escala 1:1

	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre	No.° <b>12</b>	
	Fecha 02/09/2015	Dibujado por: Aprobado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro MSc. Jorge Marcial		
Escala: <b>1:1</b>	Esquinas soporte chumaceras				

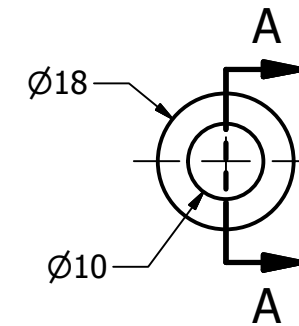
PERFIL AL 35x35x4



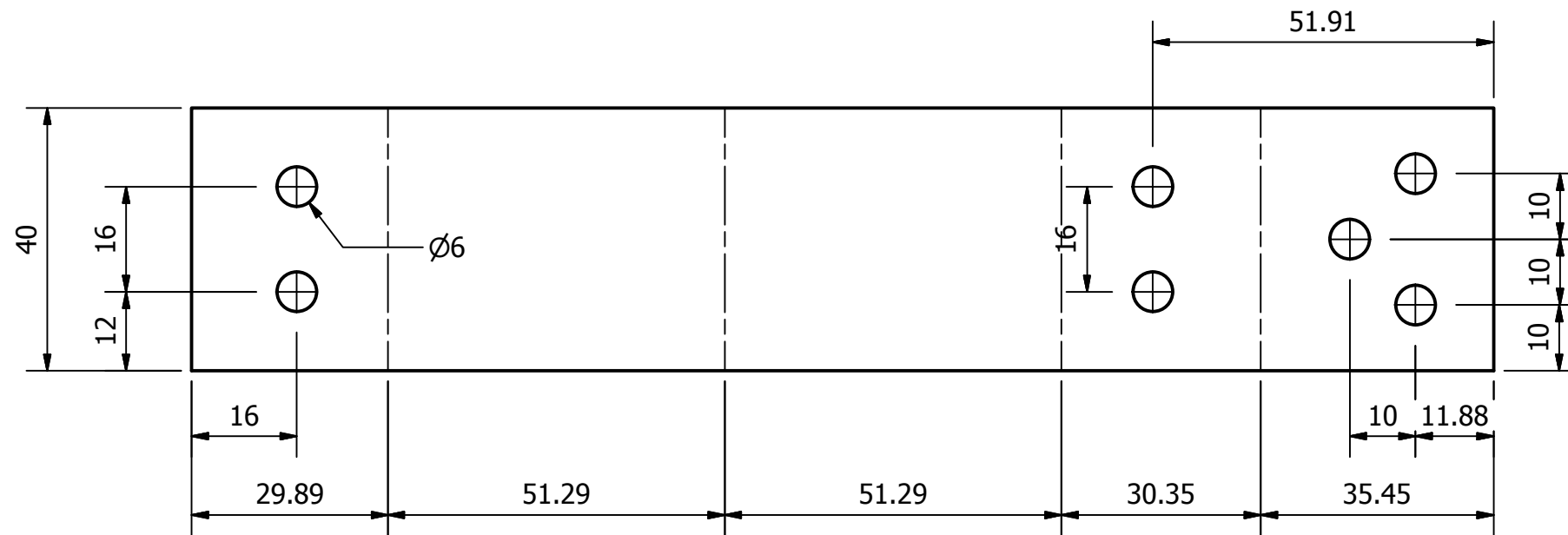
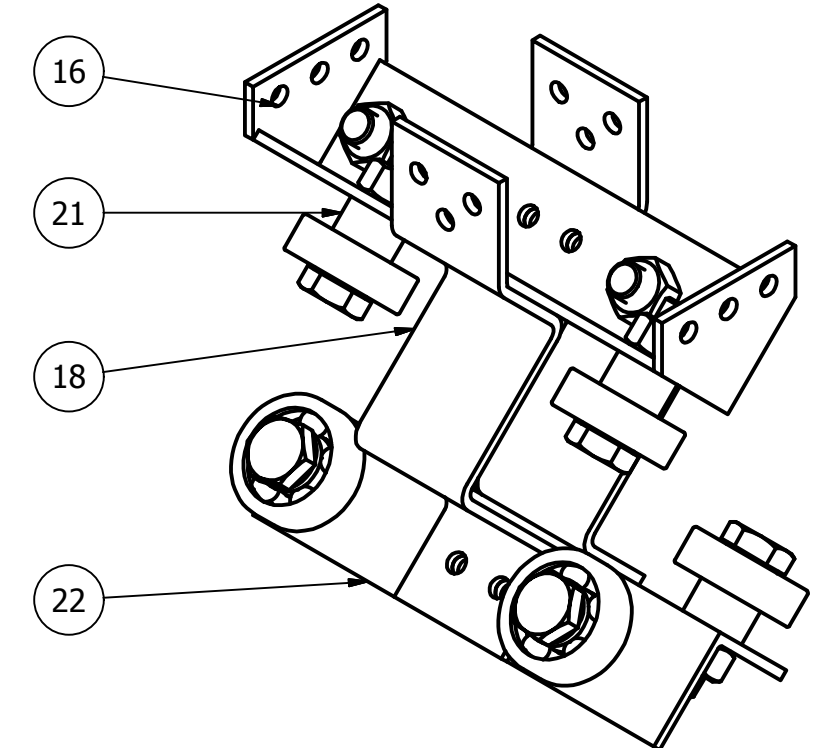
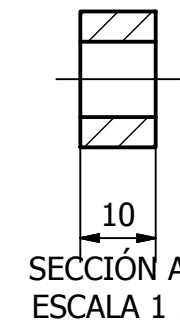
22 Ángulo L35x150  
Escala 1:1



16 Topes rulinas  
Escala 1:1

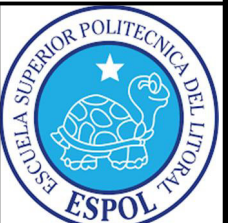


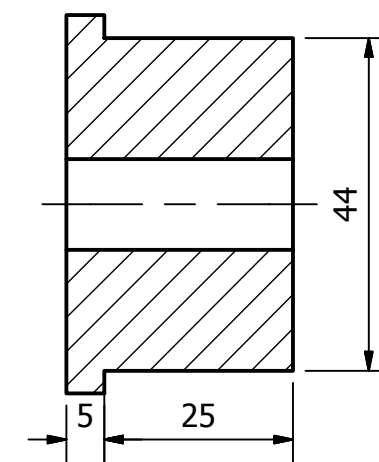
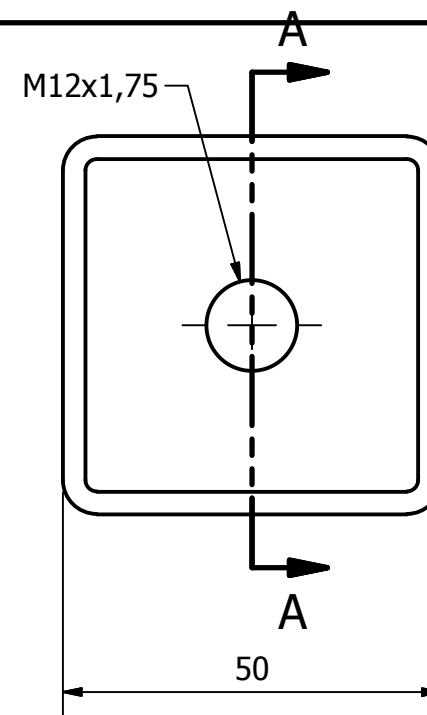
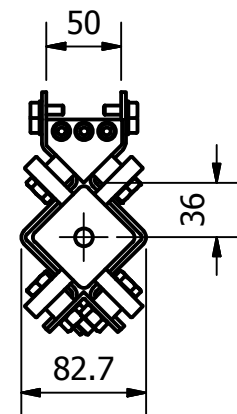
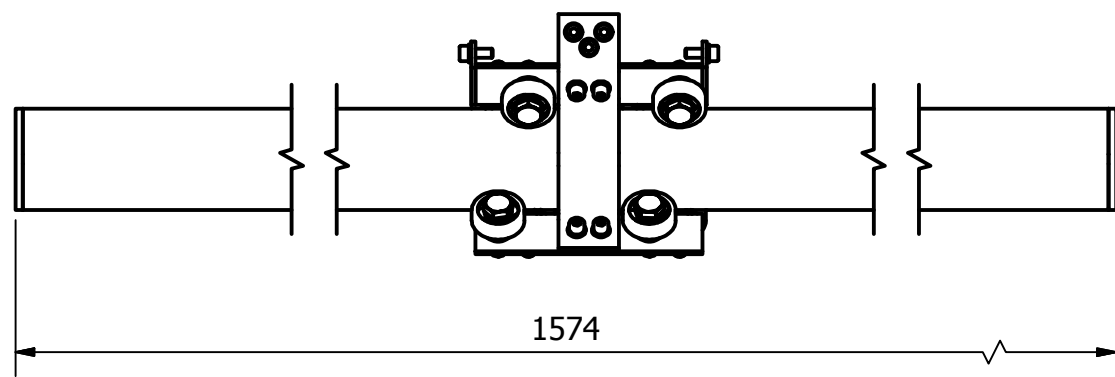
21 Bocin espaciador rodamiento  
Escala 1:1



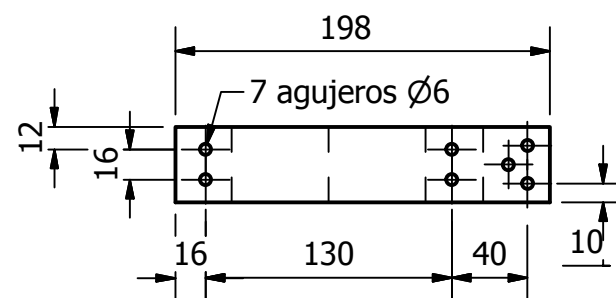
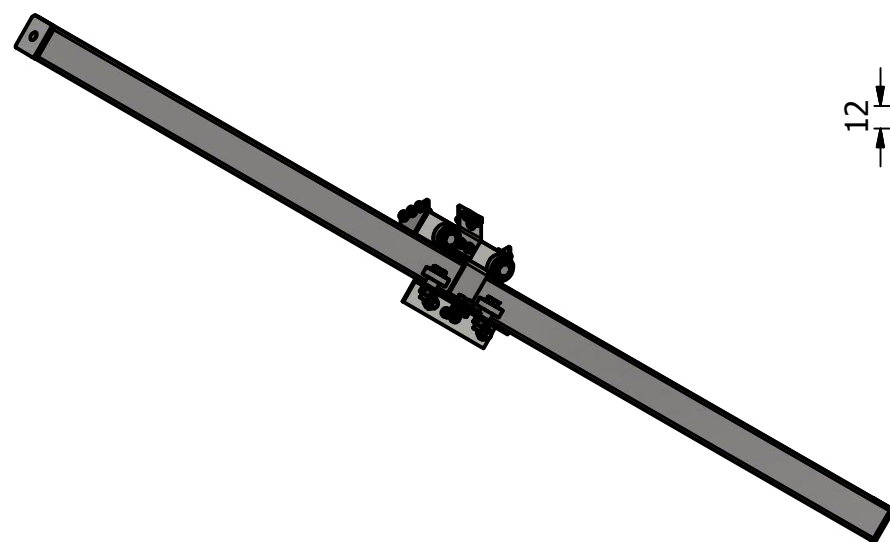
18 Platina de ensamble rulina  
Escala 1:1

	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre		No.° <b>13</b>
	Fecha	Dibujado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro		
	02/09/2015	Aprobado por:	MSc. Jorge Marcial		
Escala: <b>1:1</b>	<b>Sistema de rulinas</b>				

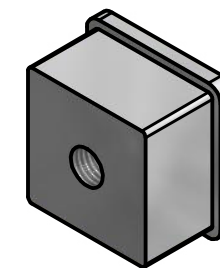
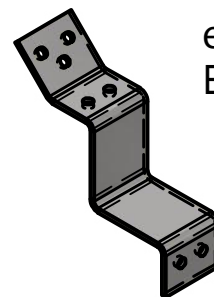




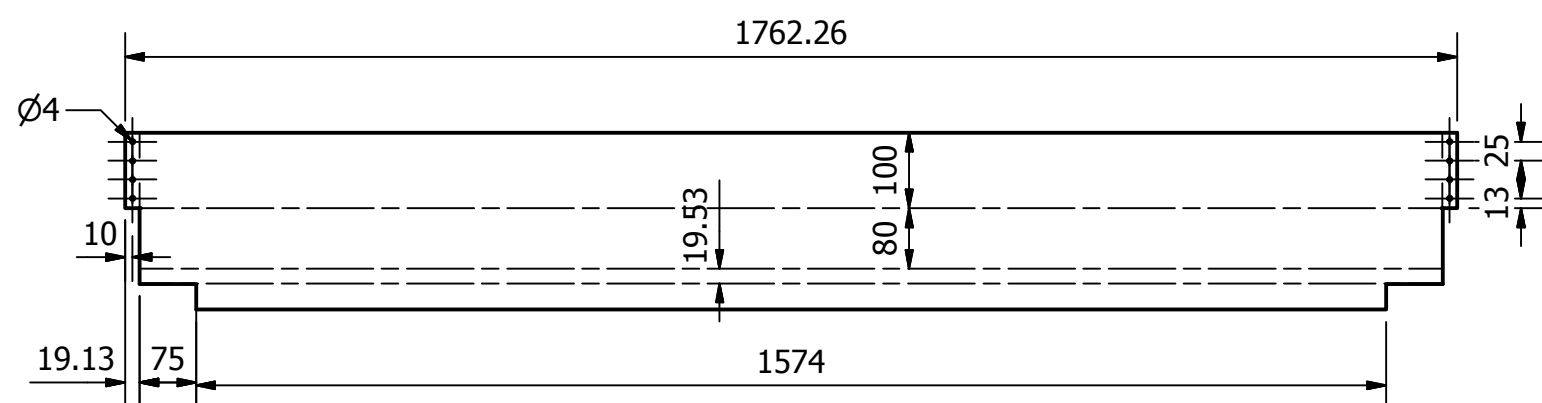
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 1



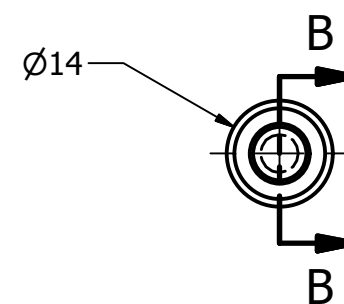
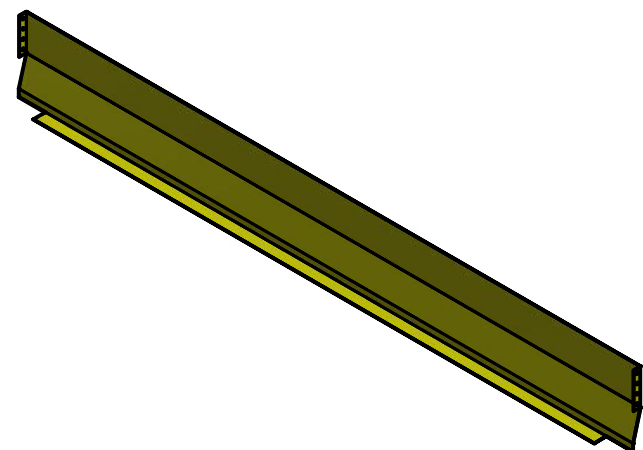
⑱ Platina de ensamble rulinas  
espesor 4mm  
Escala 1:4



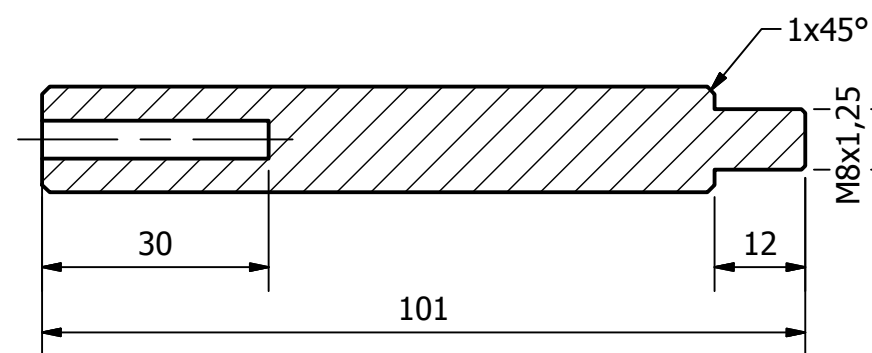
③ Tapones guias rulinas  
Escala 1:2



⑬ Protector eje Y  
Escala 1:15



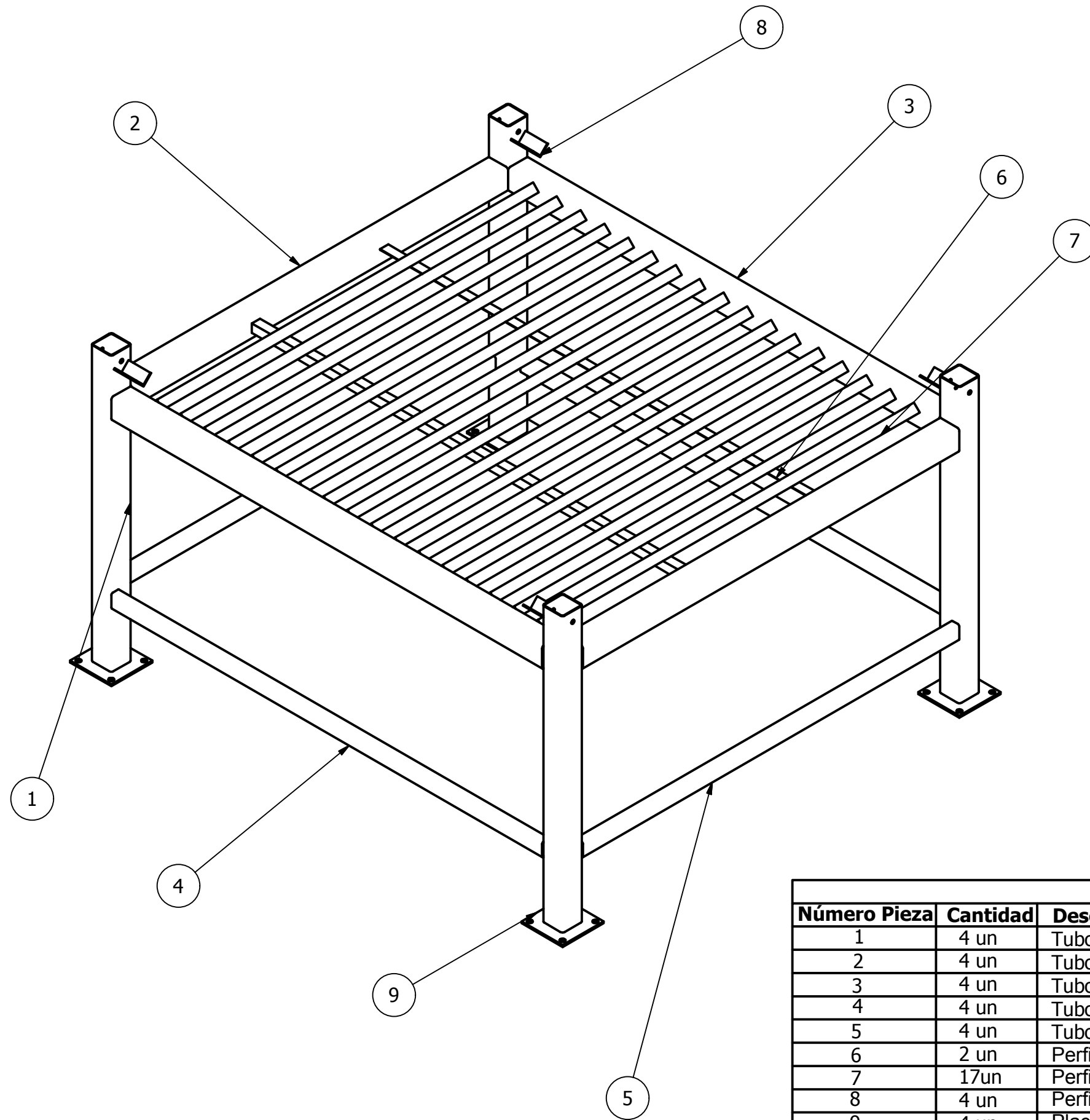
⑦ Espaciador teflon  
Escala 1:1



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 1

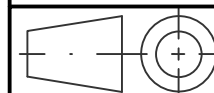
	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre	No.° <b>14</b>
	Fecha 02/09/2015	Dibujado por: Aprobado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro MSc. Jorge Marcial	
Escala: <b>1:1</b>	Partes del sistema longitudinal			





Lista de piezas

Número Pieza	Cantidad	Descripción del material
1	4 un	Tubo estructural cuadrado ASTM A36 espesor 2mm 75x75x1000
2	4 un	Tubo estructural cuadrado ASTM A36 espesor 2mm 75x75x1374
3	4 un	Tubo estructural cuadrado ASTM A36 espesor 2mm 75x75x1574
4	4 un	Tubo estructural rectangular ASTM A36 (espesor 3mm) 30x50x1574
5	4 un	Tubo estructural rectangular ASTM A36 (espesor 3mm) 30x50x1374
6	2 un	Perfil L-ángulo ASTM A-500 (espesor 4 mm) 30x30x 1574
7	17un	Perfil L-ángulo ASTM A-500 (espesor 4 mm) 30x30x 1374
8	4 un	Perfil L-ángulo ASTM A-500 (espesor 4 mm) 40x40x 80
9	4 un	Placas bases A36 (espesor 4mm) 150x150



Proyecto/ Materia Integradora

Nombre

No.º

Fecha  
02/09/2015

Dibujado por:  
Aprobado por:

Mirallas Kevin /Portes Pedro  
MSc. Jorge Marcial

2

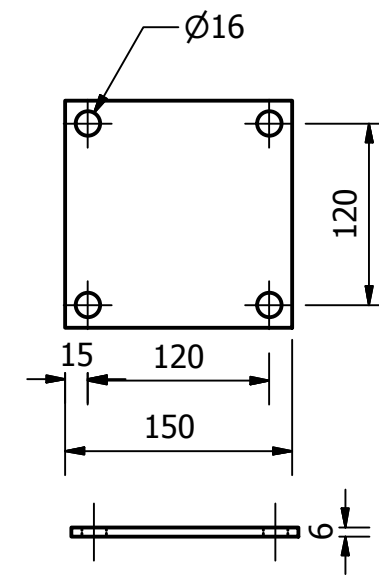
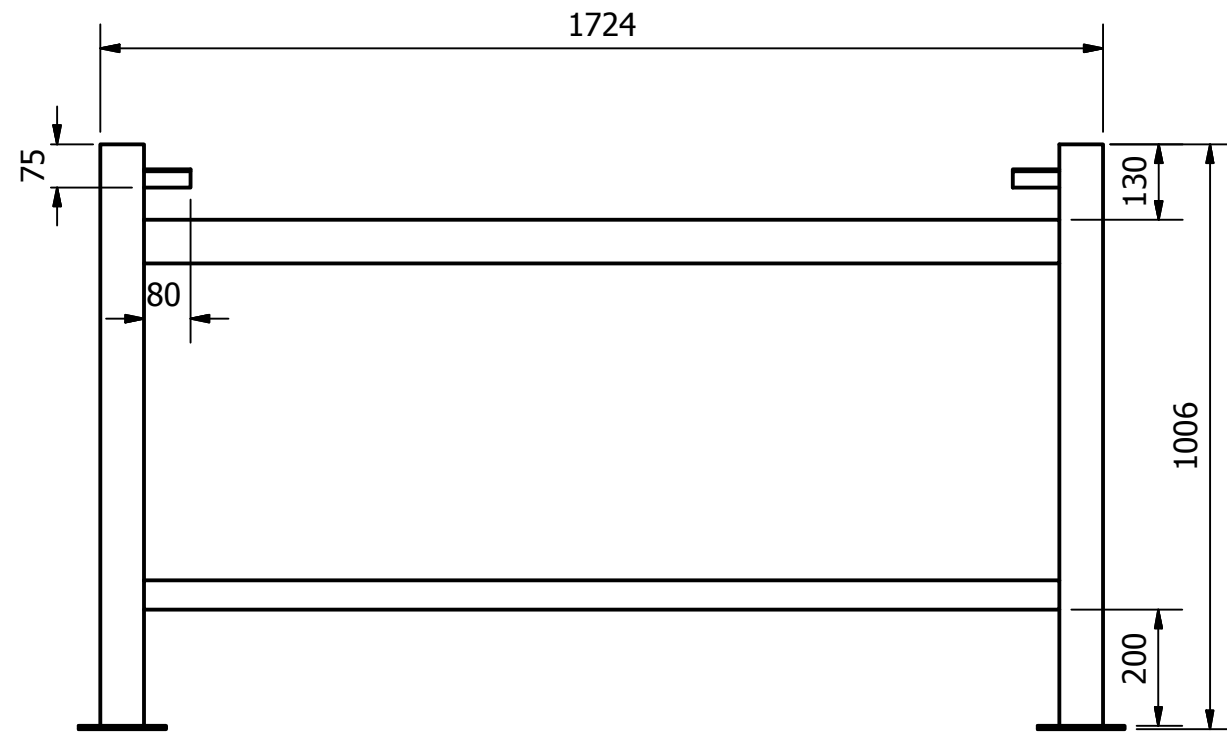
Escala:

1:12

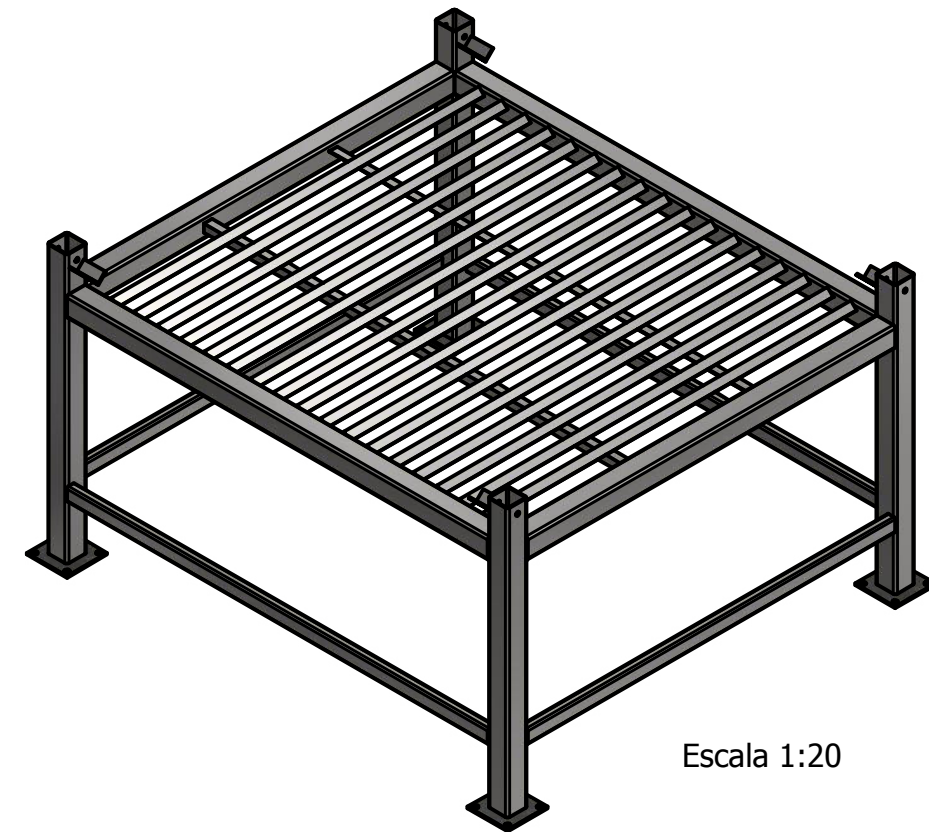
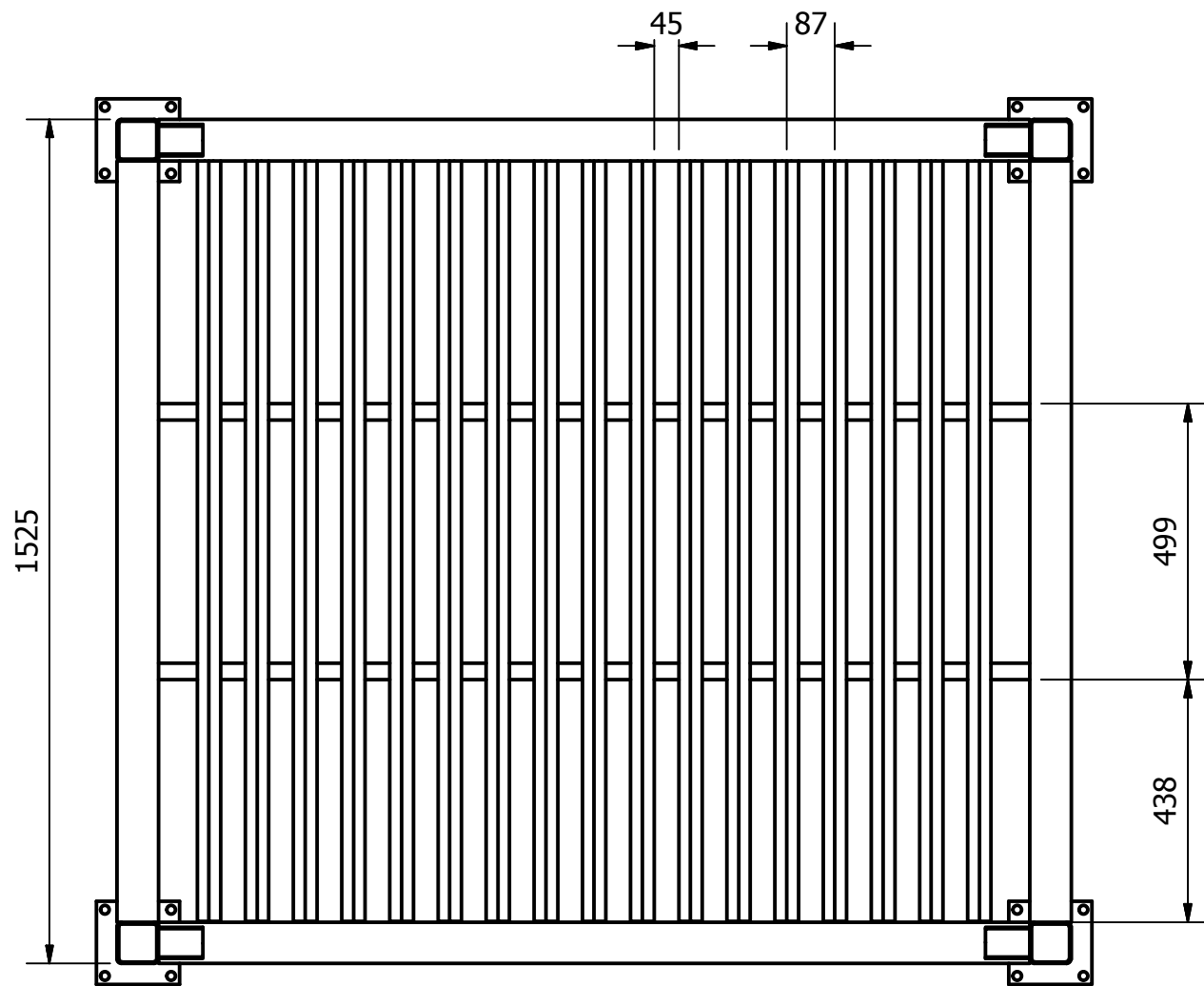
Conjunto mesa de trabajo







⑨ Placa base  
Escala 1:5



Escala 1:20

	Proyecto/ Materia Integradora		Nombre		No.° <b>16</b>
	Fecha 02/09/2015	Dibujado por: Aprobado por:	Mirallas Kevin /Portes Pedro MSc. Jorge Marcial		
Escala: <b>1:13</b>		<b>Mesa de trabajo</b>			

