



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

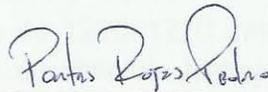
M.Sc. Jorge Medardo Marcial Hernandez

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”.

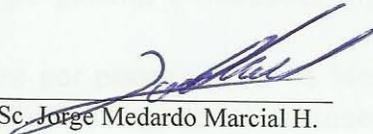
Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP.



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 |
| σ_{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 |
| π | 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 |
| μ | 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 |
| η | Factor de seguridad contra falla cortante estática |
| S_{sy} | Resistencia mínima de fluencia por cortante |
| τ | Esfuerzo cortante |
| σ_{AP} | Esfuerzo por aplastamiento. |
| e_{menor} | Espesor menor o del material más débil |
| η_{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 rulinas..... | 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.

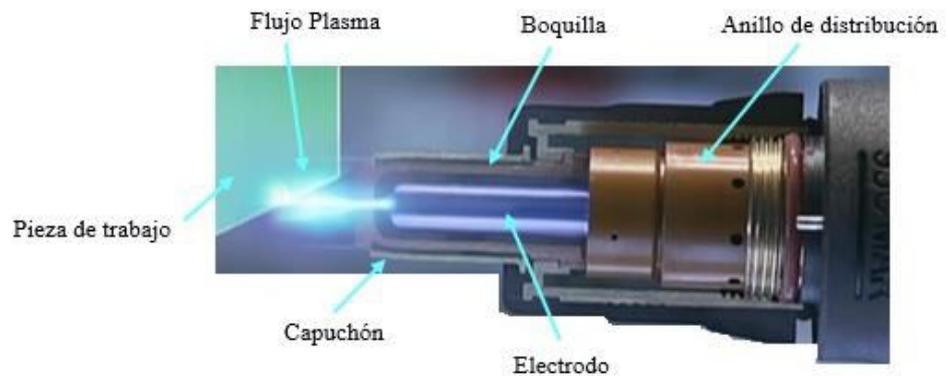


Figura 1.2 Sección de una boquilla para cortadora plasma CNC.

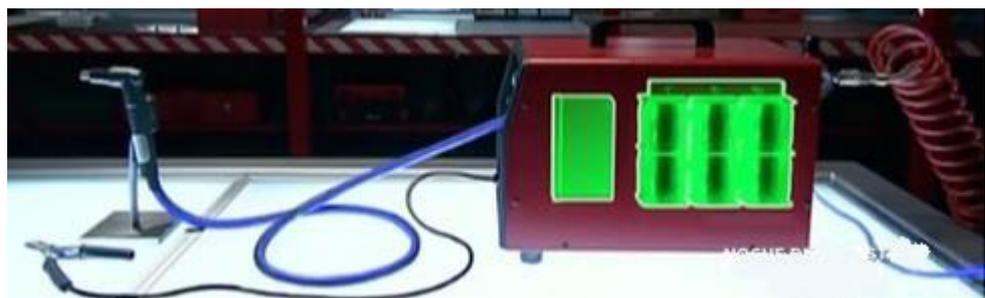


Figura 1.3 Flujo de corriente desde la fuente por el transformador y rectificador hasta el electrodo.

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.

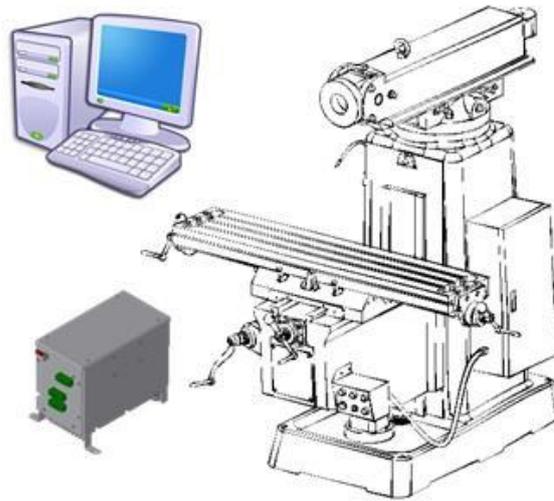


Figura 1.4 Interacción entre computador y máquina herramienta.

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; taponos.

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

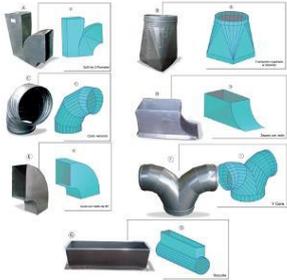
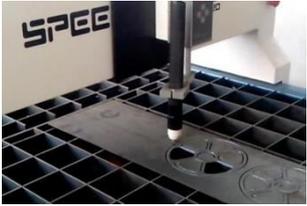
2.1.1. Parámetros Iniciales

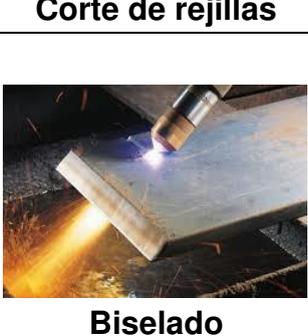
Existen un sin número de equipos plasma, la selección de cada uno de ellos está en la necesidad y capacidad que se tenga. Para la selección de la máquina plasma se consideró el rango de espesores de corte, la fuente de alimentación, el máximo espesor a cortar, los materiales a cortar y el factor de utilización.

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>Ductos</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>Precisión en piezas</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

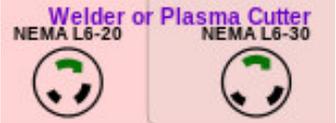
realizar cortes hasta 12,7 mm de espesor en acero. Existiendo la posibilidad de cortar espesores mayores y varios materiales, pero variando el ciclo trabajo.

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 |
| Voltaje de alimentación | 110 V  | 220 V  |
| Factibilidad de conexión | Disponible en cualquier lugar | Requerido en talleres industriales |
| Corriente de salida | Menor rango amperaje | Mayor rango amperaje |
| Espesores de corte | Menores | Mayores |
| Calidad del corte | Buena | Excelente |
| Capacidad de corte manual | Aplica | Aplica |
| Capacidad de corte mecanizado | 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 |
| Control CNC | Se debe implementar | Incorporado |
| Tiempo de corte en geometrías complejas | Mayor | Menor |
| Tipos de antorchas | Manual  | Manual y mecanizado  |
| Interacción hombre/máquina.* | 100% | <75% |
| Espesores de corte | Mayor | Menor |
| Calidad del corte | Buena | Excelente |
| Capacidad de corte manual | Aplica | Aplica |
| Capacidad de corte mecanizado | No aplica | Aplica |
| Precio | 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

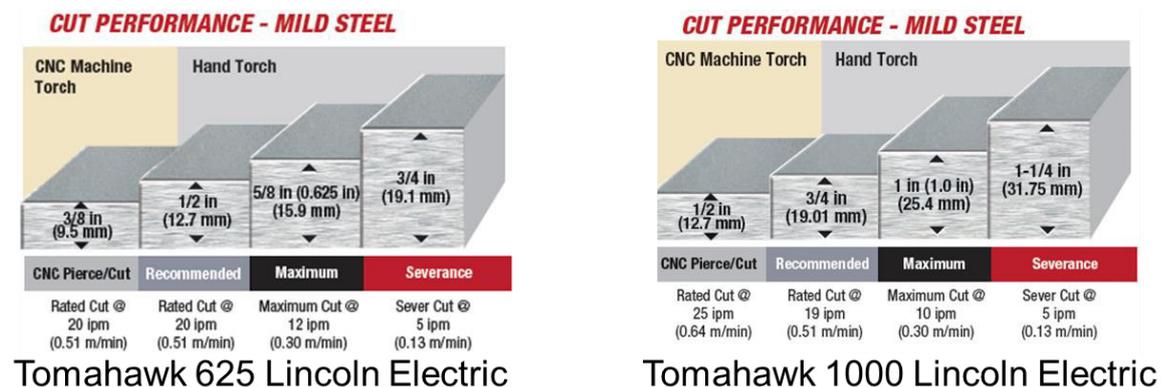


Figura 2.1. Espesores de corte recomendado para los dos equipos plasma a comparar.

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.

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

| | Sistema de guías | | | |
|------------------------------------|--|--|--|---|
| Criterio | 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.

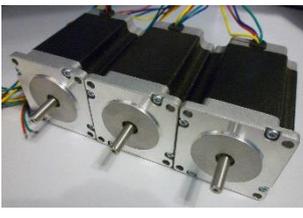
Actuadores

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.

| | Actuadores en máquinas CNC | | | |
|------------------------------|--|----------------------|---|---------|
| Criterio | Alternativa 1 | | Alternativa 2 | |
| Actuadores Eléctricos | Servomotores | | Motores paso a paso | |
| | Con encoder incremental | Con encoder absoluto | Unipolar | Bipolar |
| |  | |  | |
| Precio | Alto | | 10-20% del costo de un servomotor | |
| Torque | Constante, hasta velocidad nominal | | Inversamente proporcional a la velocidad | |
| Retroalimentación | Bucle cerrado | | Bucle abierto | |
| Mantenimiento | Periódicamente cambio de escobillas | | Baja necesidad | |
| Resolución | 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

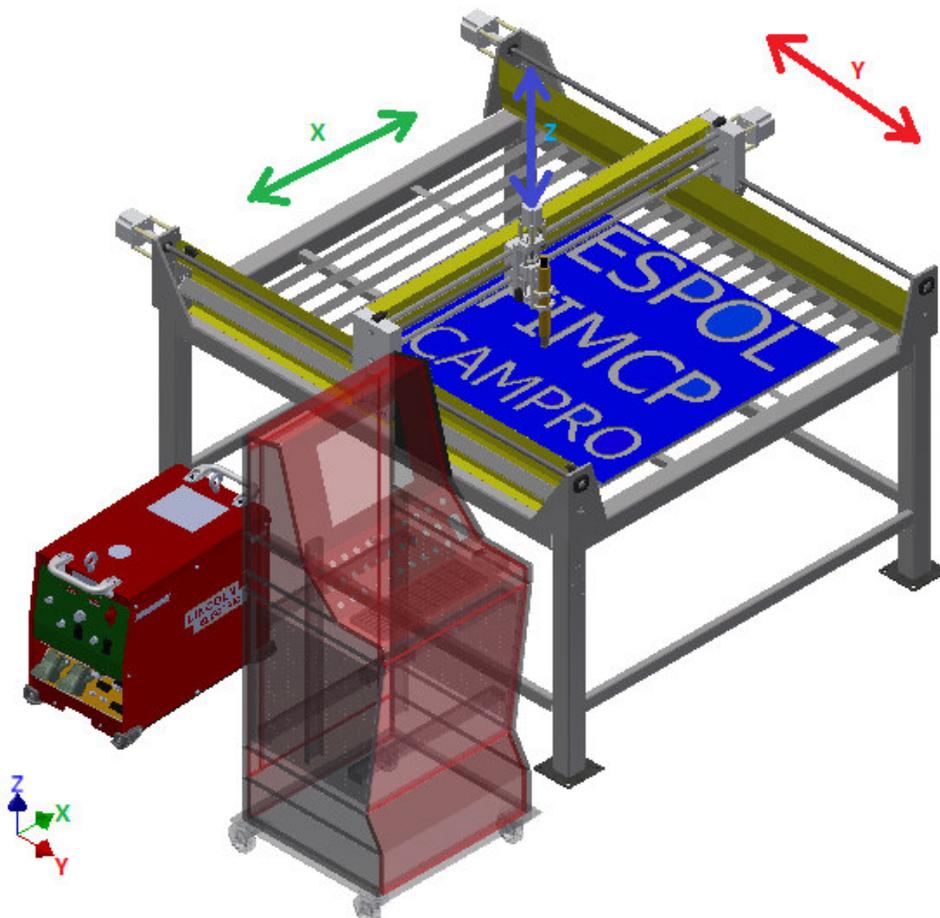
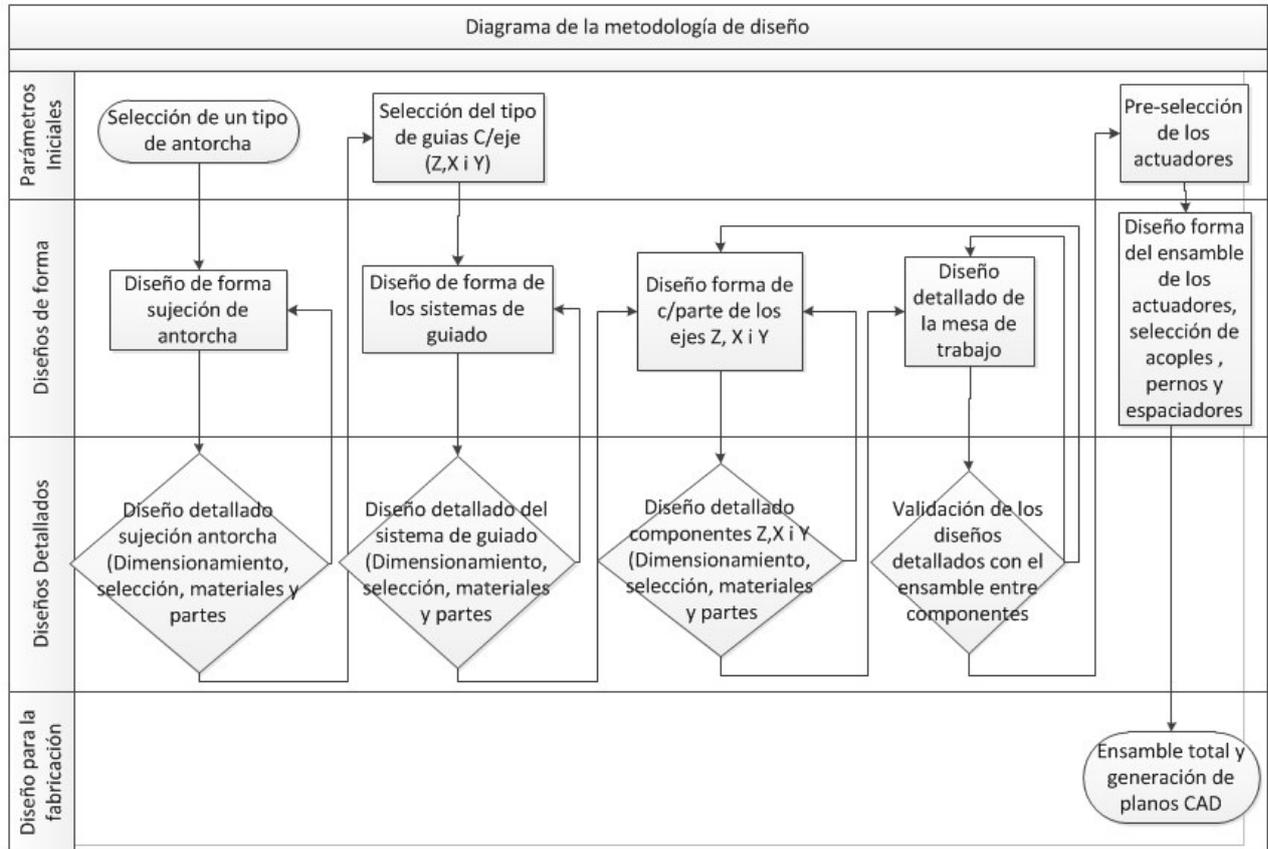


Figura 2.2 Diseño detallado de la máquina cortadora por plasma CNC.

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

O₂ → Acero al carbón

N₂ → Acero inoxidable y aluminio

Mezcla Ar-H₂ → Acero inoxidable y aluminio

Mezcla N₂-H₂ → 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.

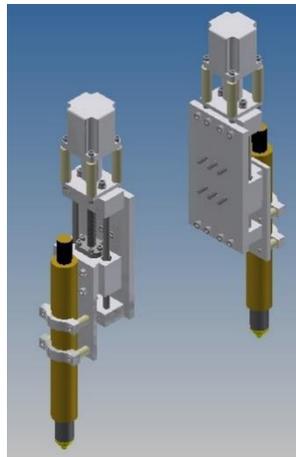


Figura 2.4 Componente vertical Z con sus partes.

Diseño de sujeción de la antorcha

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

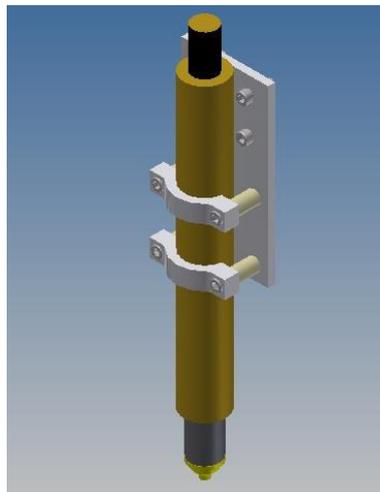


Figura 2.5 Piezas para el sistema de sujeción de la antorcha.

Junta empernada sometida a cortante en la sujeción antorcha

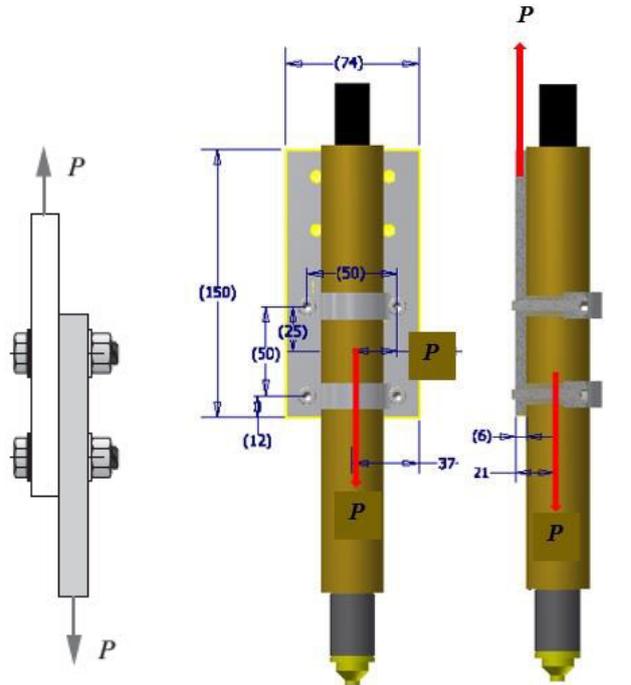


Figura 2.66 (a) Modelo de análisis de junta empernada sometida a cortante (R. L. Norton), (b) Esquema para análisis de pernos de sujeción de la antorcha.

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):

$$S_y = 340 \text{ [MPa]}$$

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

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

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

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

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

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

$$\tau = 85 \text{ [MPa]}$$

El diámetro de cada perno será de:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

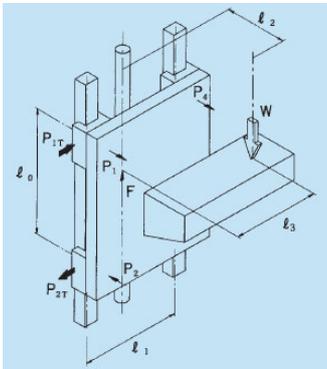
$$\eta_{AP} = \frac{292,5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]}{0,1572 \left[\frac{N}{mm^2} \right]}$$

$$\eta_{AP} > 2$$

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>  | $P_1 \sim P_4 = \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0}$ $P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_0}$ |

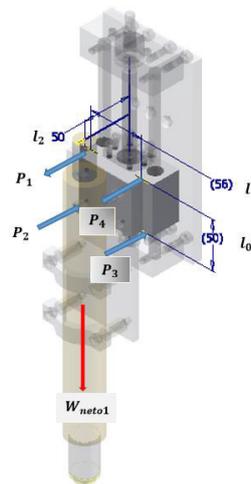


Figura 2.77 Esquema de fuerzas que actúan en el sistema de guías del eje Z.

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:

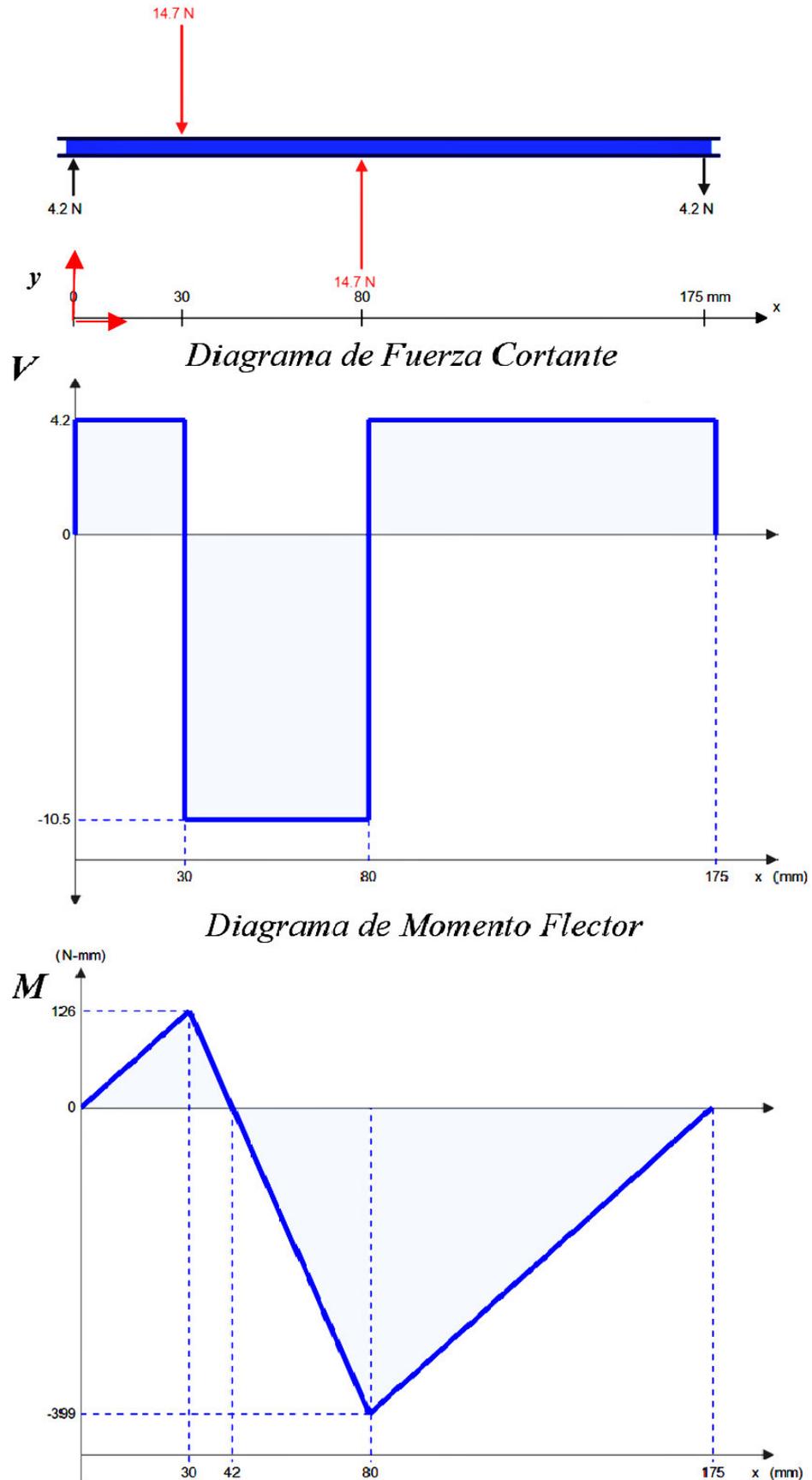
$$W_{C/eje} = 14,27 \text{ [N]}$$

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

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

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:

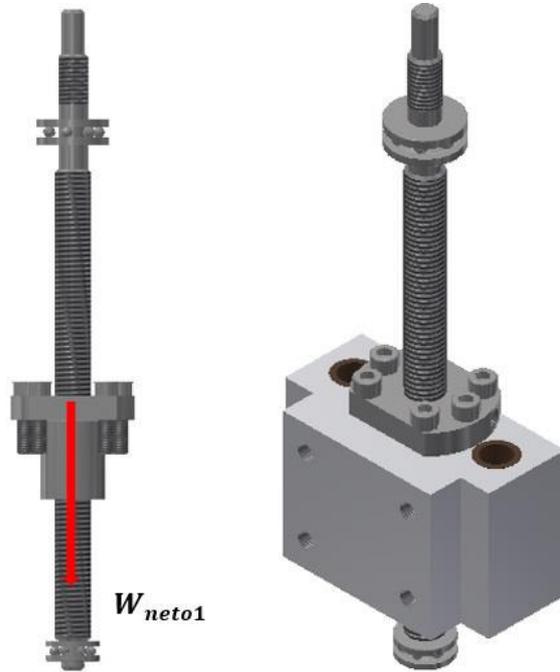


Figura 2.8 Husillo de bolas del sistema Z con esquema de la carga a subir y bajar.

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

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

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_{efectiva} : (Ver Apéndice B para la selección de L_{efectiva} de la columna).

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

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

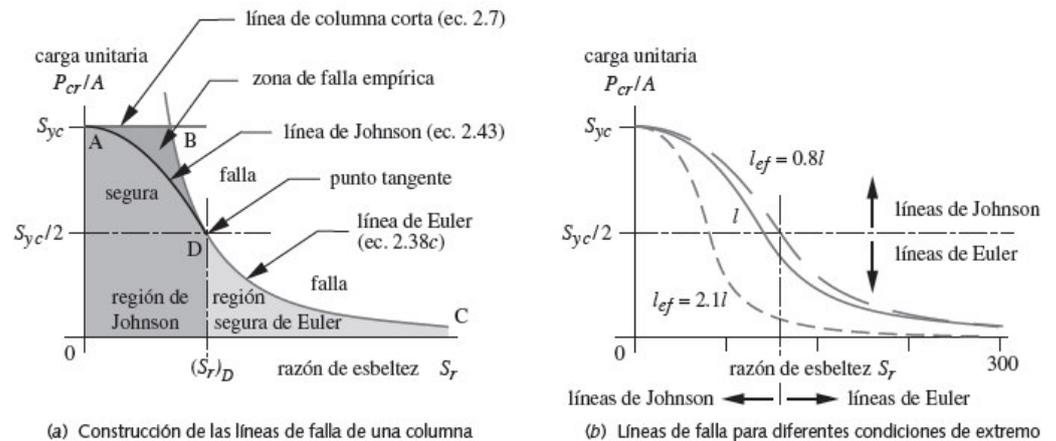


Figura 2.9 Líneas de falla en una columna de Euler, de Johnson y corta según R. L. Norton-cap. 2 esfuerzo, deformación unitaria y deflexión.

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

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

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

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

El torque mayor corresponde al $T_u = 42,60 [N * mm]$, el cuál será considerado el las 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 rígido 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

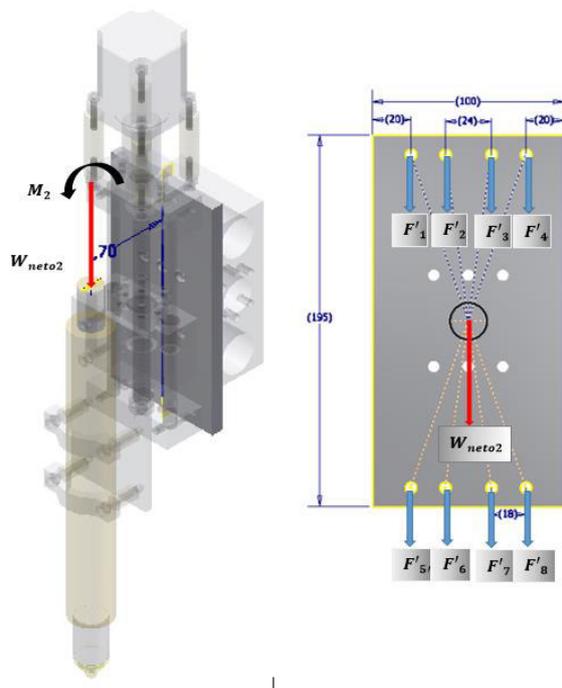


Figura 2.11 Esquema de fuerzas aplicadas en la sujeción de los bloques toques de las guías y el husillo de bolas, eje Z.

Fuerza primaria (F')

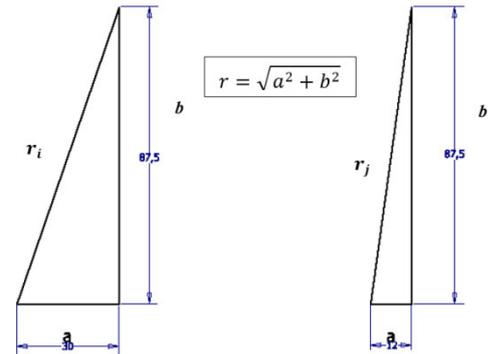
$$F' = \frac{W_{Neto2}}{\# \text{ pernos}}$$
$$F' = \frac{45,22 \text{ [N]}}{8} \rightarrow 5,65 \text{ [N]}$$

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

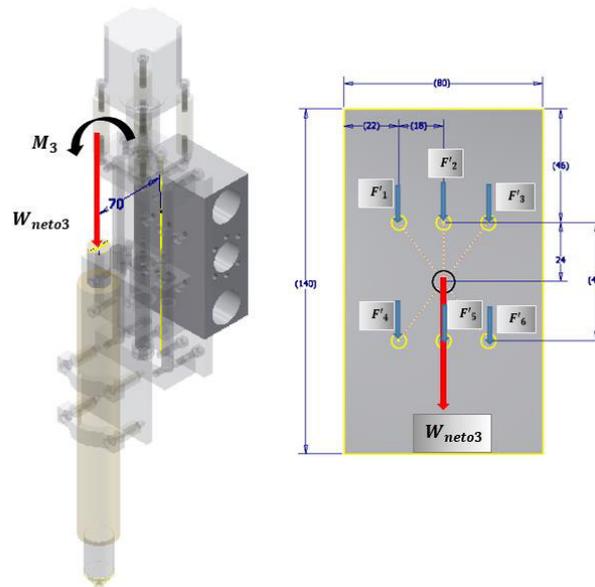


Figura 2.182 Esquemas de fuerzas en la junta empernada del ensamble entre componentes Z y X.

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).

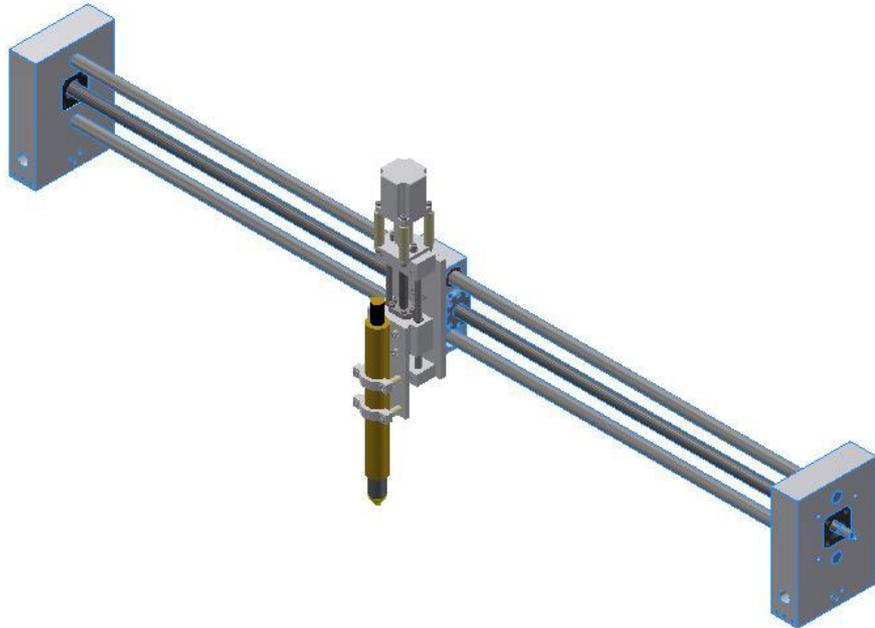
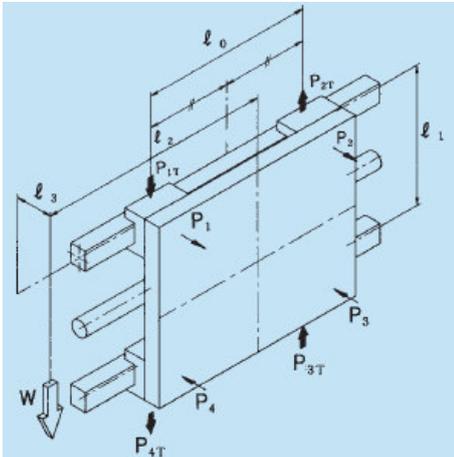


Figura 2.13 Ensamble del componente vertical Z con el componente transversal X.

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>  | $P_1 \sim P_4 = \frac{W}{2} \times \frac{l_3}{l_1}$ $P_{1T} \sim P_{4T} = \frac{W}{4} + \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0}$ $P_{2T} \sim P_{3T} = \frac{W}{4} - \frac{W}{2} \times \frac{l_2}{l_0}$ |

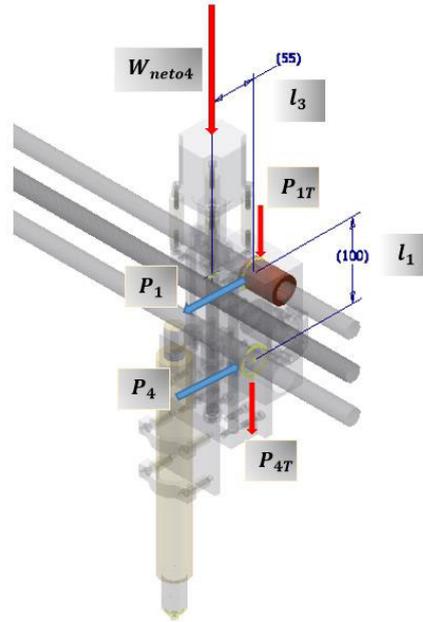


Figura 2.14 Esquema de fuerzas sobre el sistema de guiado del eje X.

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.

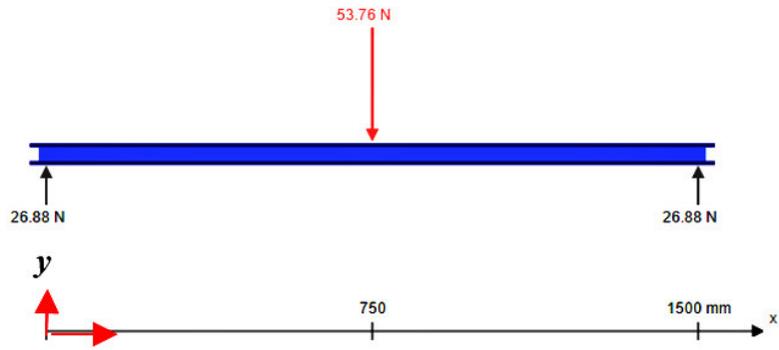


Diagrama de Fuerza Cortante

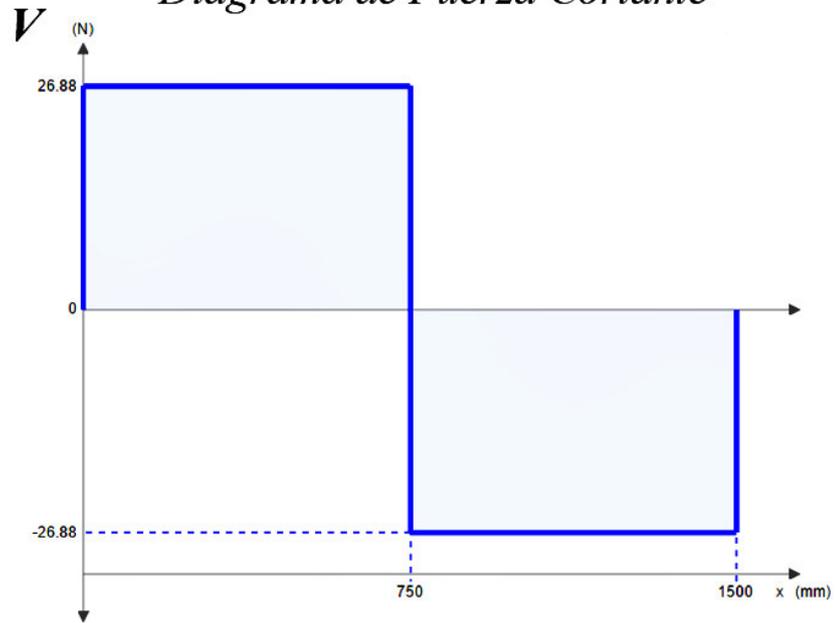


Diagrama de Momento Flector



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

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

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

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

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] |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Aluminio | | 3270 |
| 1,2 | 9150 | |
| 12,7 | 510 | |
| 19,1 | 200 | |
| Acero al carbono | | |
| 0,5 | 9150 | |
| 12,7 | 510 | |
| 25,4 | 100 | |

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

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

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

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

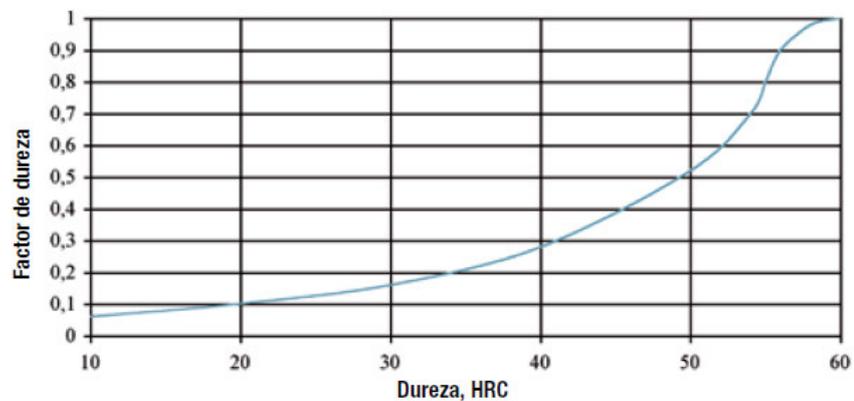


Figura 2.16. Factor de dureza del eje, catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.

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

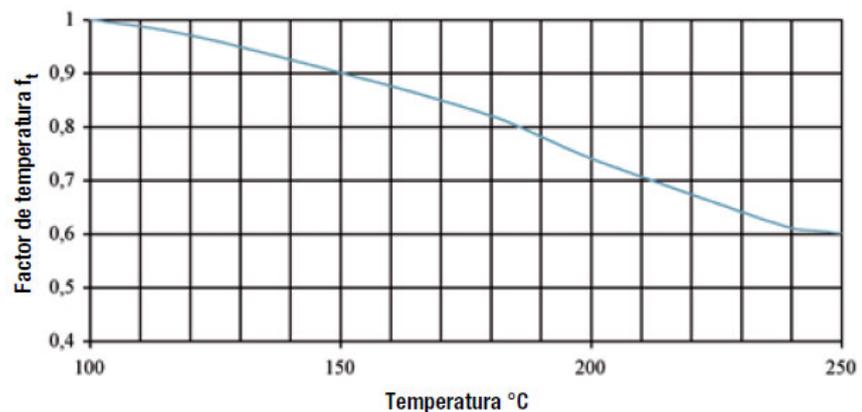


Figura 2.1710 Factor de temperatura, catálogo NTN-SNR: Linear Motion-Rodamientos lineales de bolas.

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)

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

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

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

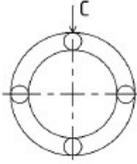
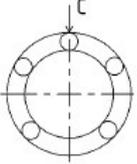
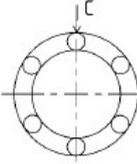
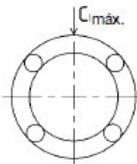
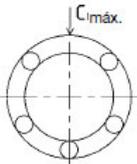
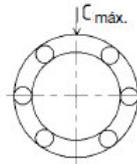
$$L = 4830 [km]$$

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

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.

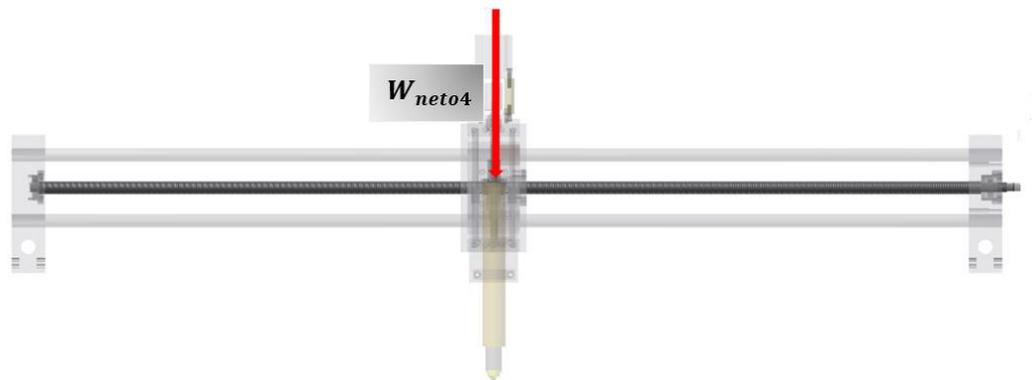


Figura 2.1911 Esquema de fuerzas aplicada en el husillo de bolas del eje X.

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.

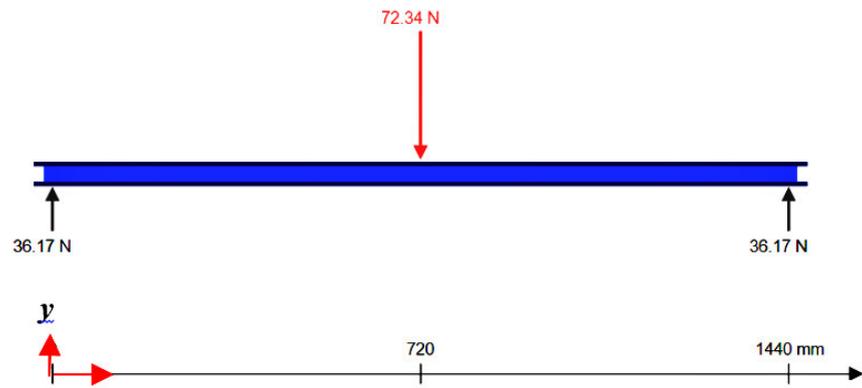


Diagrama de Fuerza Cortante

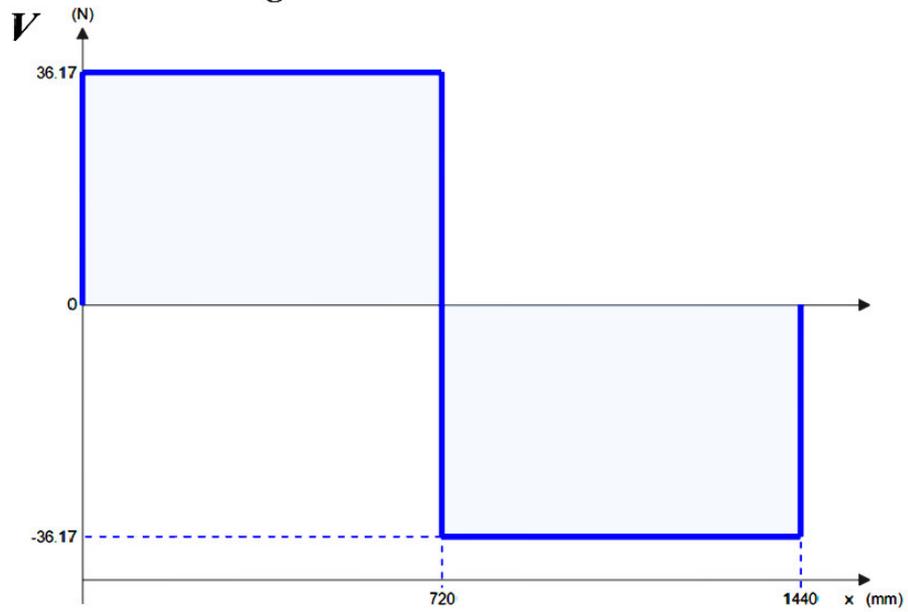
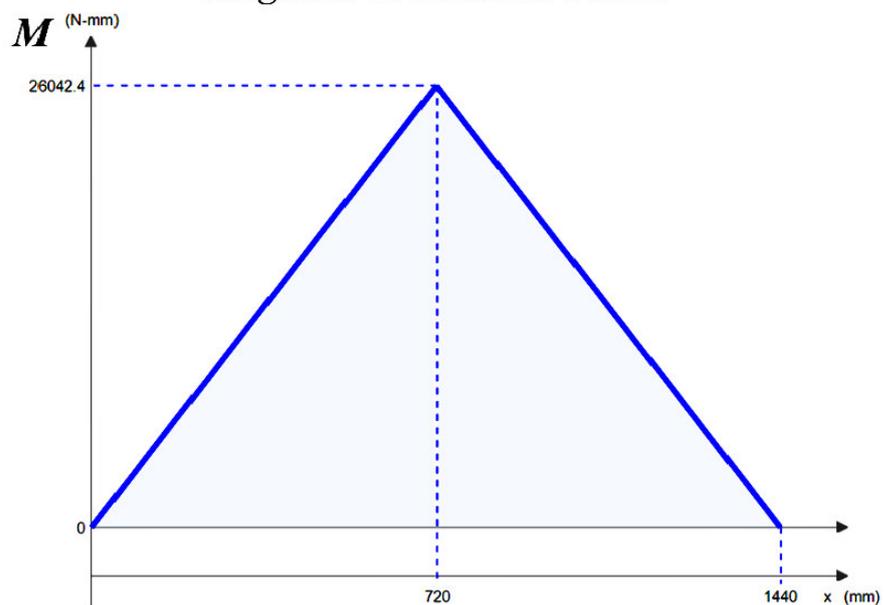


Diagrama de Momento Flector



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:

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

η : 0,9 → Rendimiento del husillo de bolas para par de arrastre.

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

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

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

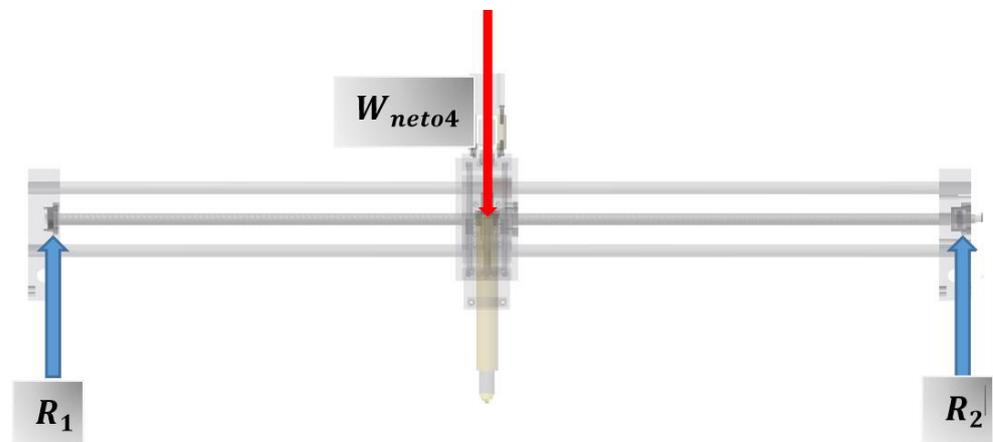


Figura 2.20 Esquema de fuerzas sobre los rodamientos radiales del husillo de bolas eje X.

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:

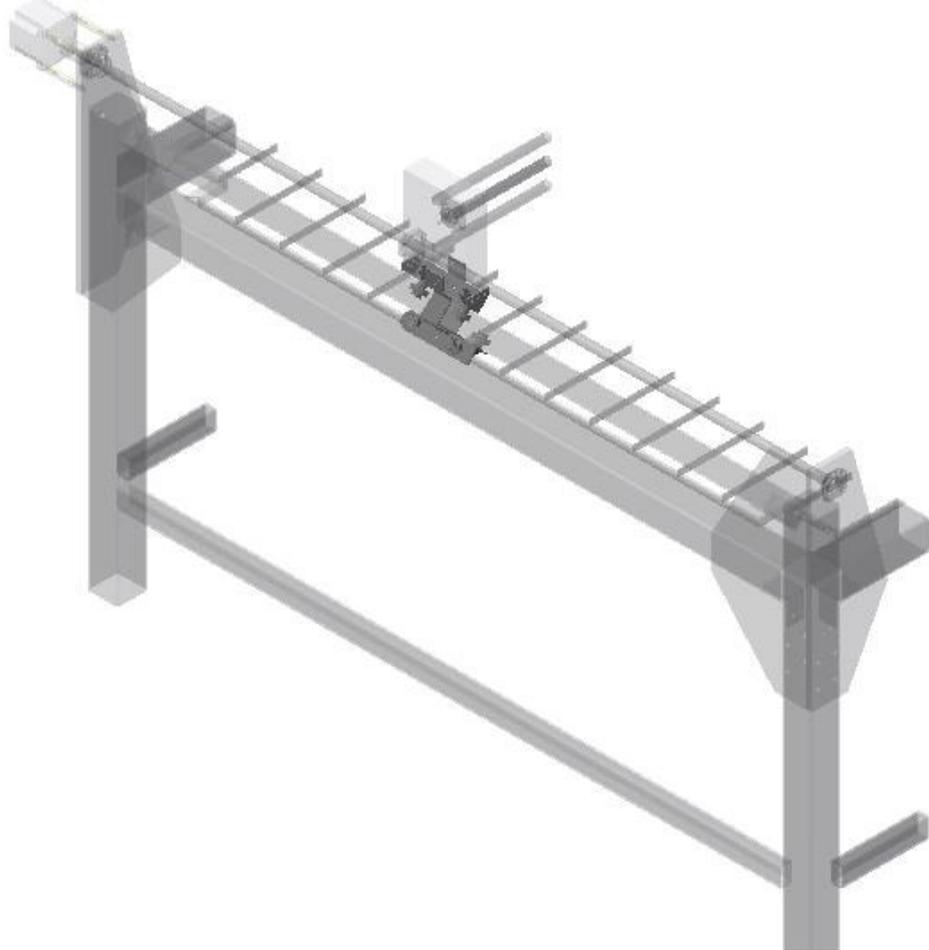


Figura 2.21 Sistema de guiado para el eje Y, conjuntamente ensamblado los componentes X y Z.

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

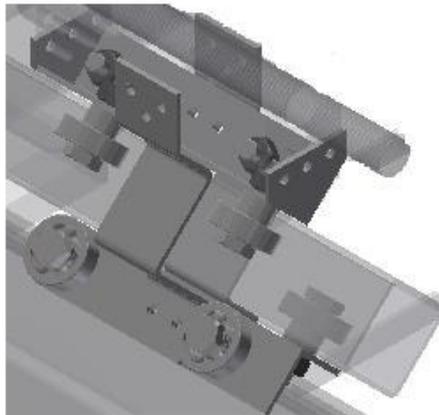


Figura 2.22 Detalles del ensamble del conjunto rulinas para el sistema de guiado Y.

Cargas a soportar por los rodamientos:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

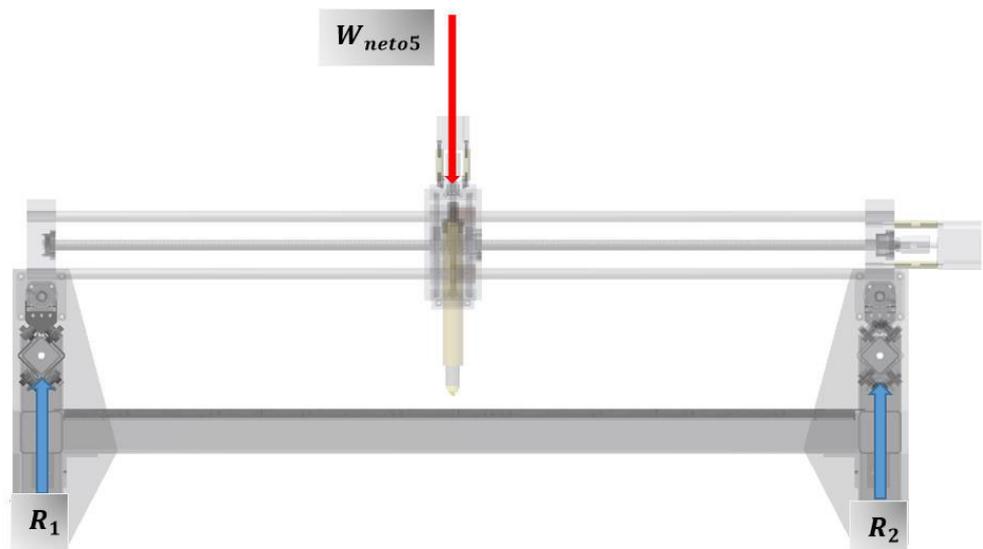


Figura 2.2123 Esquema de distribución de la carga sobre las guías.

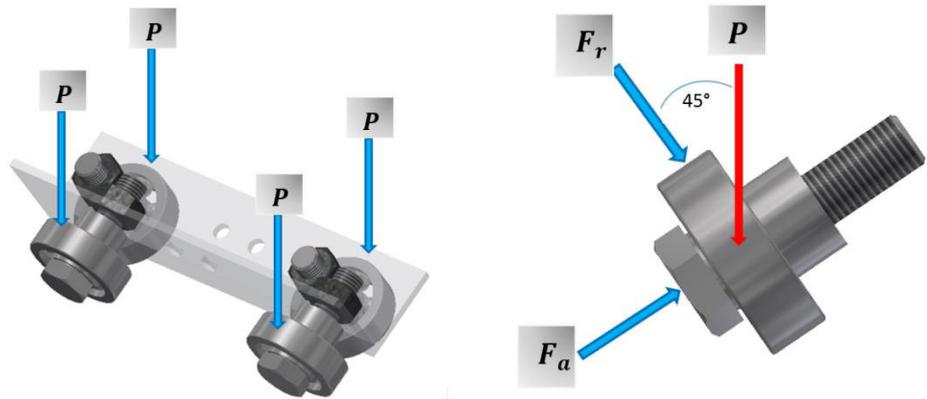


Figura 2.24 Distribución de fuerzas sobre cada rodamiento.

La carga sobre cada rodamiento es $P = \frac{W_{Neto5}}{8} = 34,20 \text{ [N]}$, 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:

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

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

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

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

$L_{10h} = 30 \times 10^3 \text{ [hr]}$: 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)

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

$$P_r = XF_r + YF_a$$

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

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

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

$$C_r^* = 255,3 \text{ [N]}$$

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^*

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

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

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 $P_{or} = F_r$

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 2.13 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:

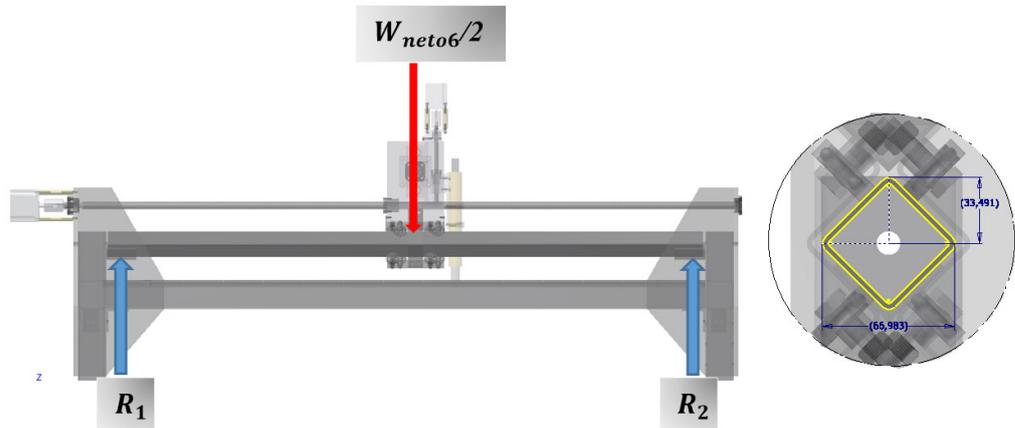


Figura 2.25 Esquema de fuerzas sobre la guía del eje Y.

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.

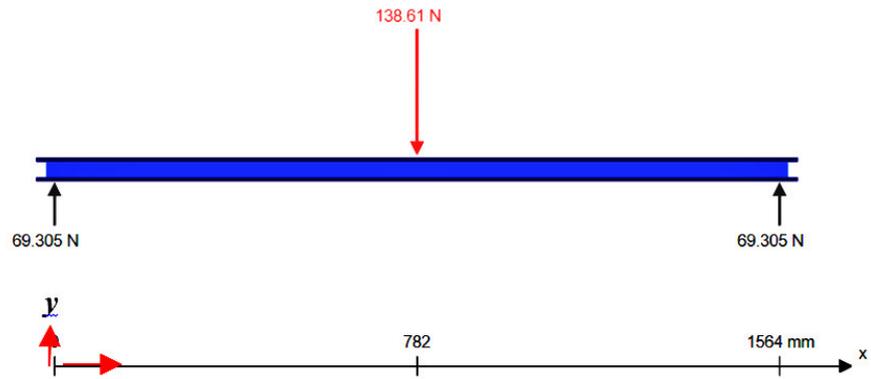


Diagrama de Fuerza Cortante

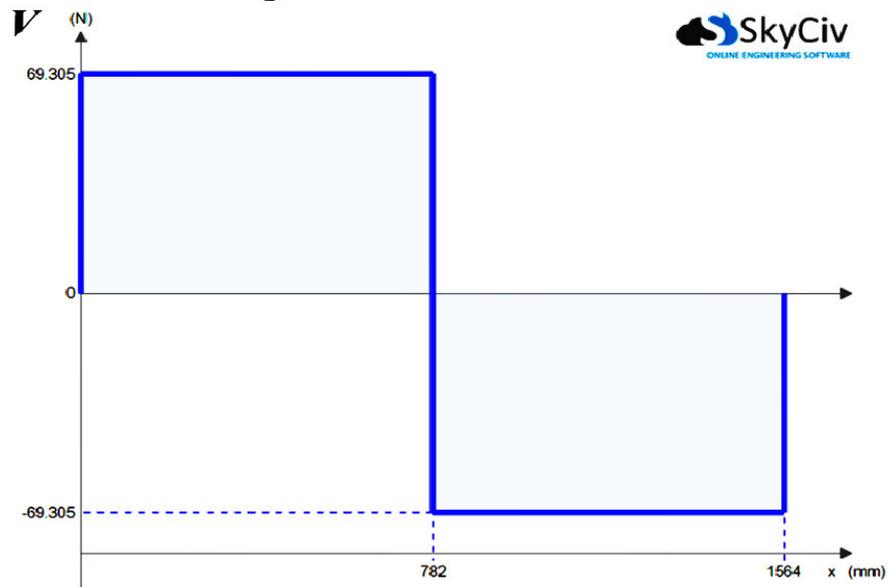
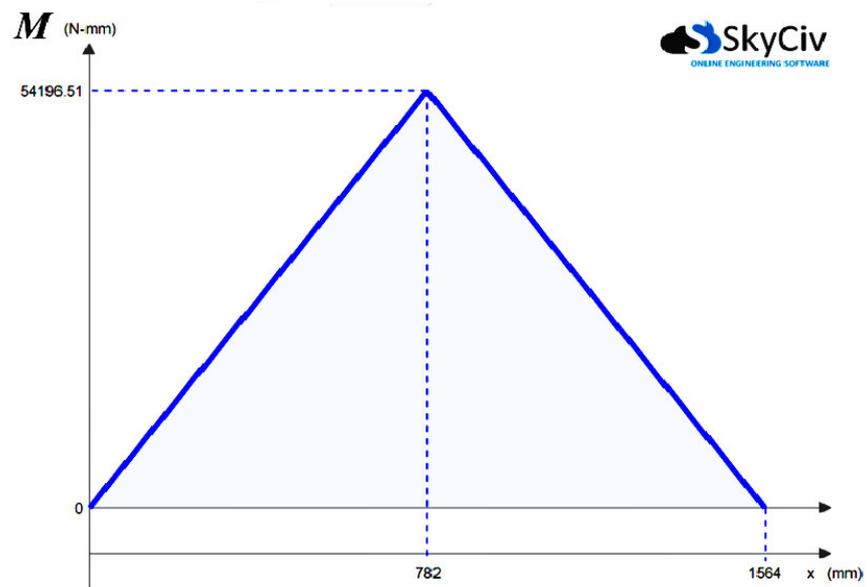


Diagrama de Momento Flector



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.

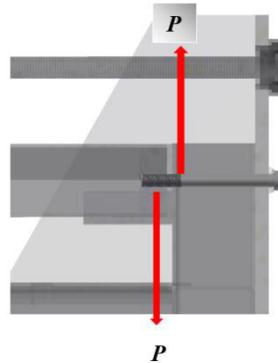


Figura 2.2613 Esquema de fuerzas en junta empernada sometida a cortante del perfil guía de las rulinas.

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:

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

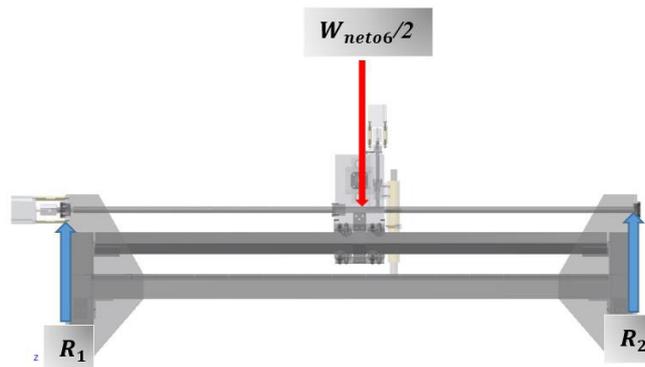


Figura 2.27 Esquema de fuerzas sobre el husillo de bolas del eje Y.

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 mm , Longitudinal 1750 mm y la altura de 1000 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.

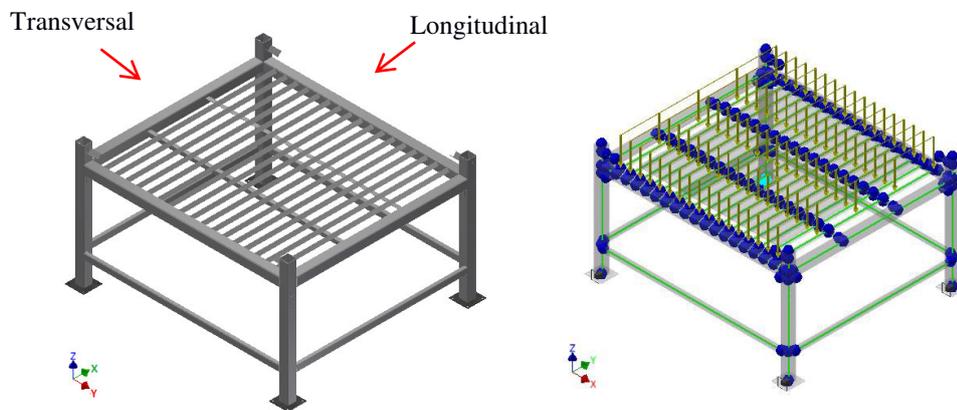


Figura 2.28 (a) Mesa de trabajo, (b) Distribución de cargas.

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.

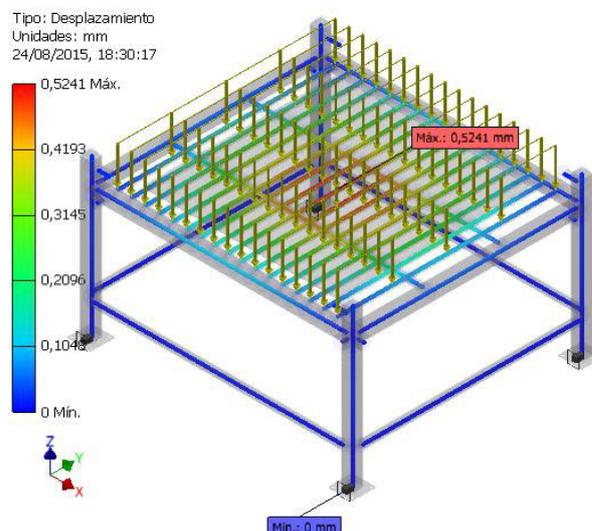


Figura 2.29 Simulación estructural de la deformación de la mesa de trabajo.

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).

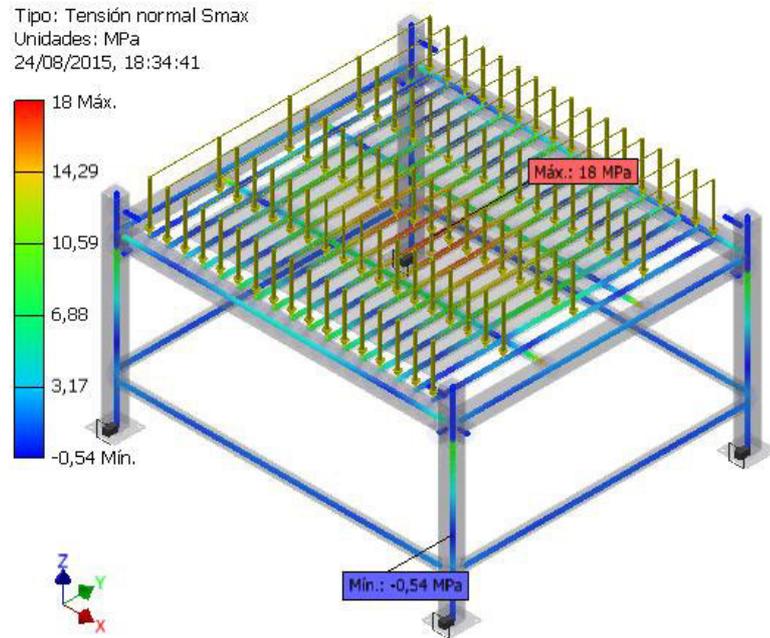


Figura 2.30 Análisis de tensión en los elementos de la mesa de trabajo.

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:

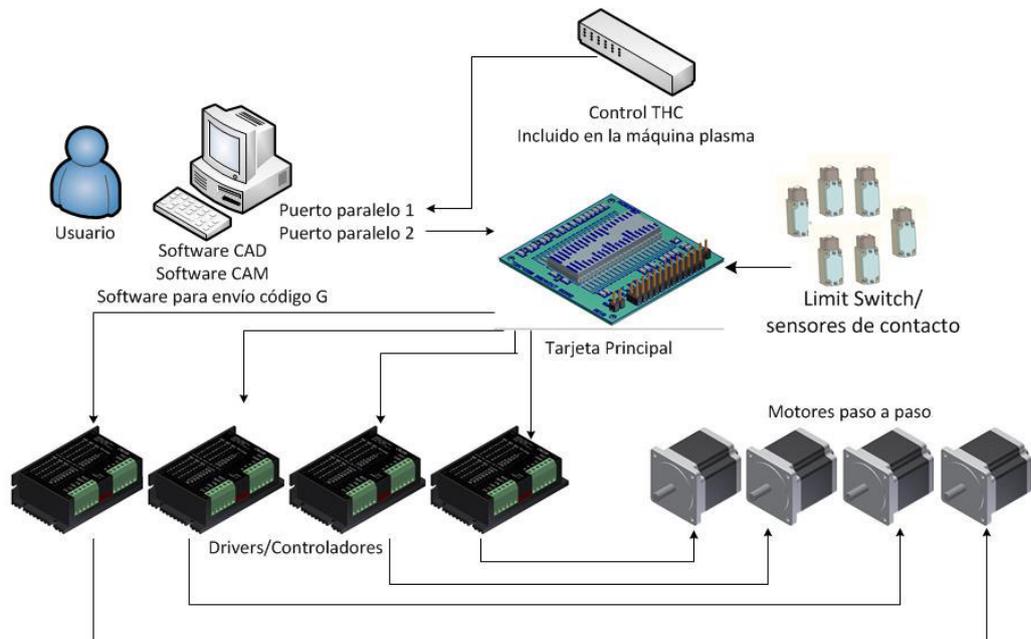


Figura 2.3141 Interacción de control entre usuario y equipo plasma.

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.

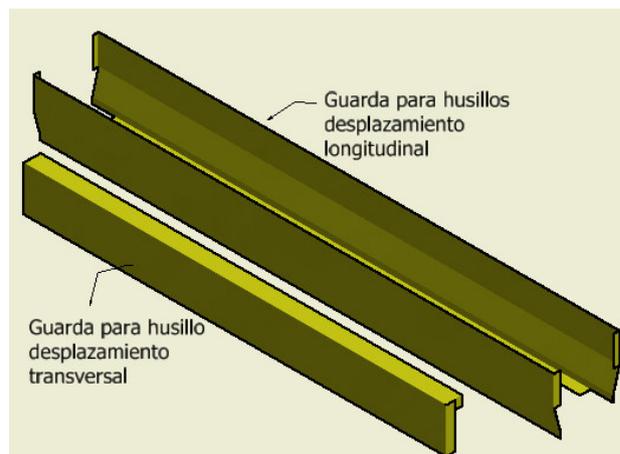


Figura 2.32 Guardas de protección.

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.

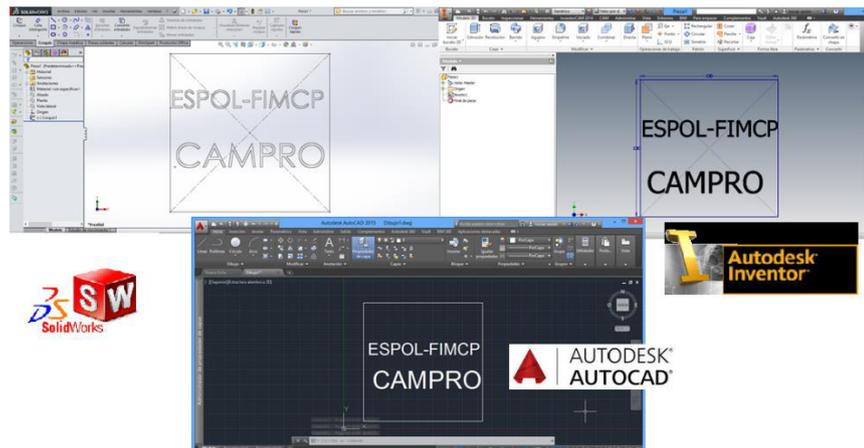


Figura 2.3315 Software de diseño CAD comúnmente usados.

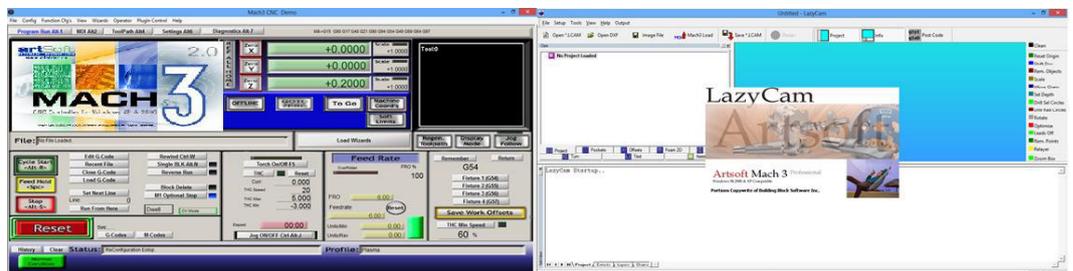


Figura 2.34 Software de envío y generación de código G.

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.

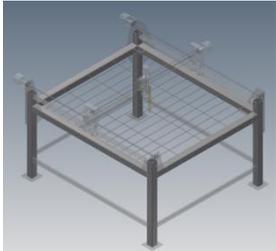
| Ensamble | Descripción | Cantidad necesaria (un) | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) | |
|--|---|--|-----------------------------|------------------|----------------|
| Estructura principal  Bases  Esquinas  | Tubos estructurales cuadrados ASTM A-500 (espesor 2 mm): - 75x2x1000 (4 un) - 75x75x1574 (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.

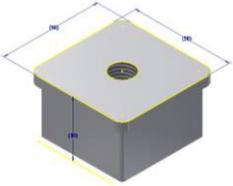
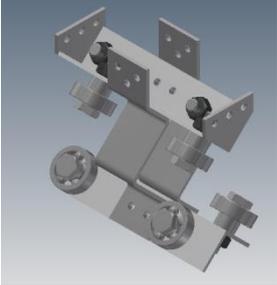
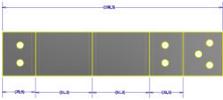
| Ensamble | Descripción | Cantidad necesaria (un) | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) |
|--|--|--|---------------------|------------------|
| <p>Tapón guía rulina</p>  <p>Guiado con rulinas</p>  <p>Fleje/Platina</p>  <p>Componente Longitudinal Y</p> | <p>Bloque aluminio PRODAX:</p> <ul style="list-style-type: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

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

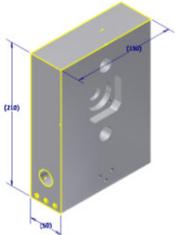
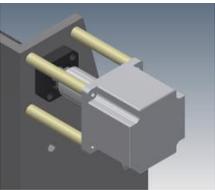
| Ensamble | Descripción | Cantidad necesaria (un) | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) |
|--|---|--|------------------------|------------------------|
| <p>Bloque Y</p>  <p>Espaciadores motor</p>  <p>Husillo de bolas</p>  | <p>Bloque de aluminio PRODAX</p> <p>- 50x150x250 (2 un)</p> | <p>50x150x250 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 $d_p = 20$ 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:</p> <p>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).

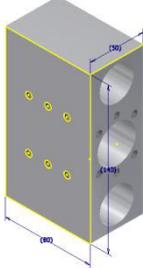
| Ensamble | Descripción | Cantidad necesaria (un) | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) |
|---|---|--|---------------------|------------------|
| <p>Bloque X</p>  <p>Husillo de bolas</p>  | <p>Bloque de aluminio PRODAX - 50x80x150 (1 un)</p> | <p>50x80x250 1 un 1,62 kg</p> | 41,73 | 41,73 |
| | <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.

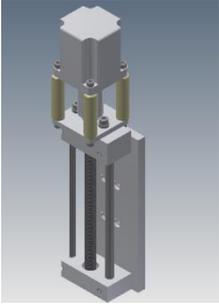
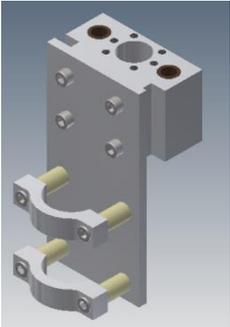
| Ensamble | Descripción | Cantidad necesaria (un) | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) |
|---|---|--|---------------------|------------------|
| <p>Sujeción antorcha</p>   | Placa 2 aluminio PRODAX - 100x200x10 (1 un) | 100x200x10 1 un 0,54 kg | 13,91 | 13,91 |
| | Bloques up i down - 50x40x100 (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 |
| | --- | Sub-Total 6 | 120,05 |
| | | IVA 12% | 14,41 |
| | | Total | 134,46 |

Tabla 2.25. Costos de sistemas mecánicos de protección.

| Descripción | Cantidad (un) | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) |
|--|---------------|---------------------|------------------|
| Protector de "rulinás" 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 |
| | --- | Sub-Total 7 | \$140,00 |
| | | Iva 12% | \$16,80 |
| | | Total | \$156,80 |

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

| Sistema de control | | | |
|--|----------------------|-------------------------------------|--|
| Descripción | Cantidad (un) | Costo unitario (\$) | Costo total (\$) |
| Kit Sttepper Motor Driver 4-Axis 180 oz-in <ul style="list-style-type: none"> • 4x MondoStep 2.8 Bi-polar Stepper Motor Driver • 3 x Blue 8-wire 180 Oz In Stepper Motors • 1 x PBX-RF Parallel Port Breakout Board (works with Mach3 or LinuxCNC) • 1 x 24Volt 8.5Amp Switching Power Supply • 1 x 6ft. DB25 Male-to-Male Cable • 3 x 10" IDC Cable 10-pin | 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% Total | \$4.465,00 \$535,8 \$5.000,80 |

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.

| Cargo del personal | horas/hombre | Cantidad (hombres) | \$/hora | Sub-total (\$) |
|--------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------|-----------------------|
| 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.

| Cargo del personal | horas/hombre | Cantidad (hombres) | \$/hora | Sub-total (\$) |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------|-----------------------|
| 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 Norteamérica

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)

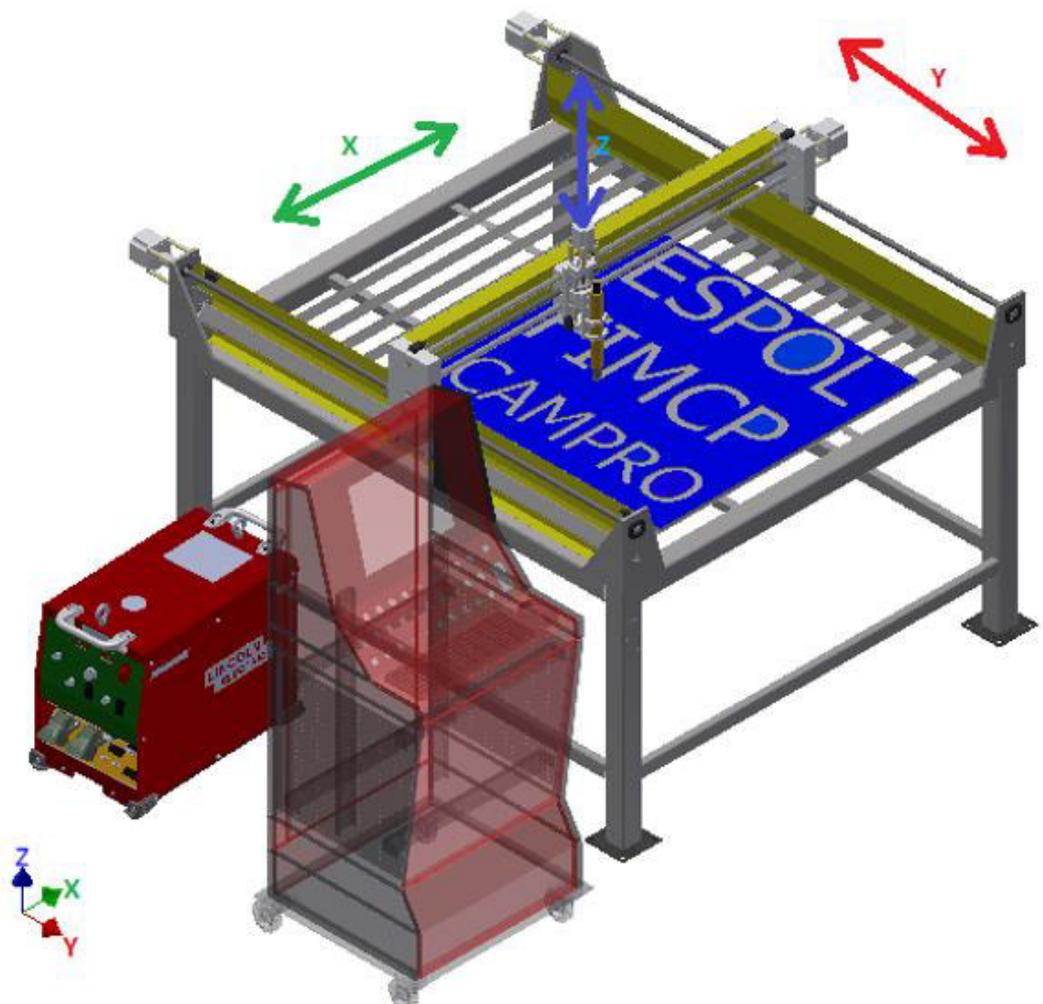


Figura 2.2 Diseño detallado de la máquina cortadora por plasma CNC.

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 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 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 mm/min .
- Recorrido transversal (eje Y): 1250 mm
- Recorrido longitudinal (eje X): 1220 mm
- Recorrido perpendicular (eje Z): 95 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
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
 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

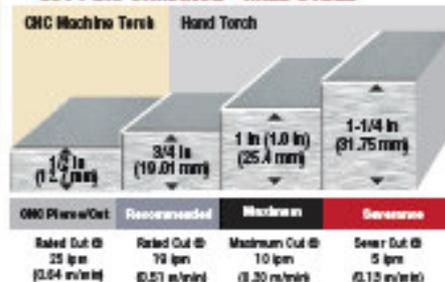


K2808-1 Shows

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: +1.216-481-8100 • www.lincolnelectric.com

LINCOLN
ELECTRIC
THE WELDING EXPERTS®

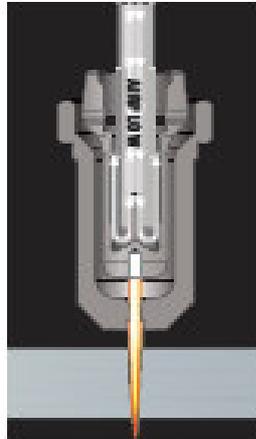
KEY CONTROLS

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

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)

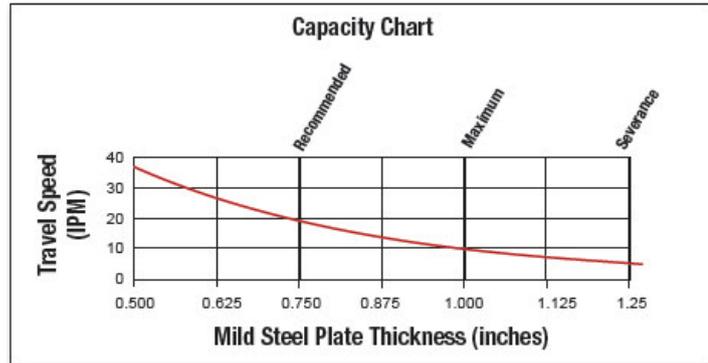


Small Canvas Cover
Protect your Tomahawk® when not in use. Made from red canvas that is flame retardant, mildew resistant and water repellent.
Order K2377-1



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

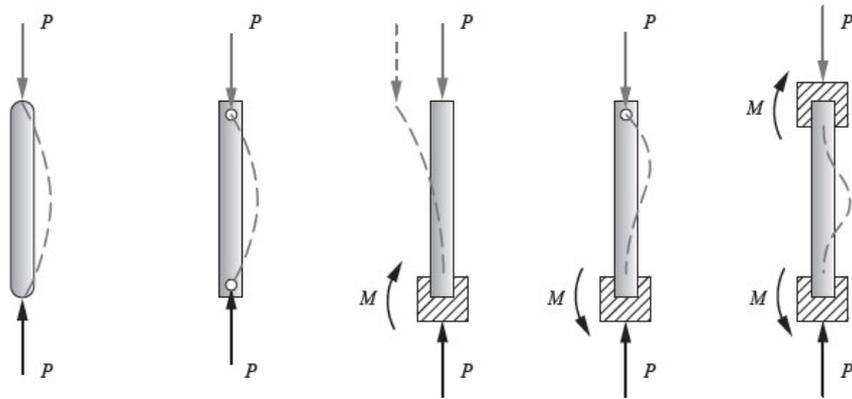
Aluminio
Métrico

| 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 | | | | | | 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 ₁ | dynamic C | static C ₀ | 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

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 ₁ | dinámica | estática | Velocidad de referencia | Límite de velocidad | Rodamiento | Arandela del asiento |
| mm | | | | kN | C ₀ | rpm | | - | - |
| 10 | 24 | 9 | - | 9,95 | 15,3 | 9500 | 13000 | 51100 | - |

Catálogo online SKF, 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

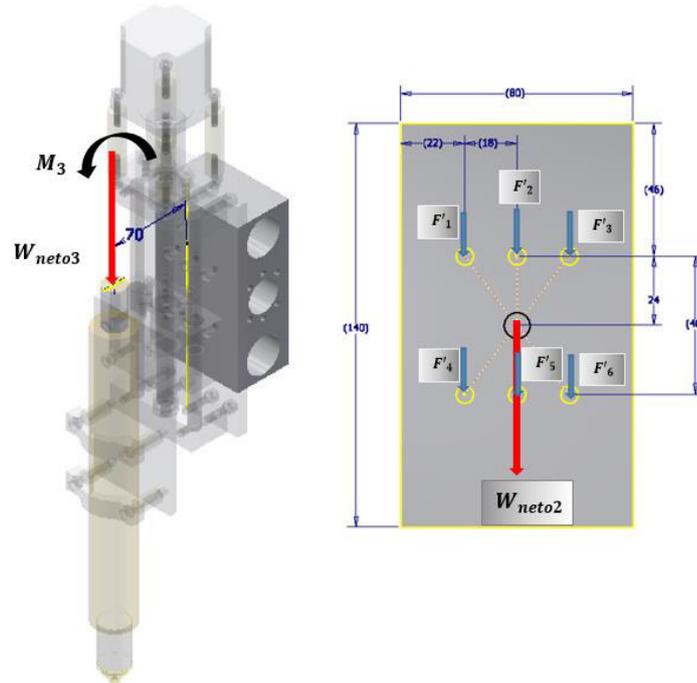


Figura 2.12. Esquemas de fuerzas en la junta empernada del ensamble entre componentes Z y X.

Fuerza primaria (F')

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

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

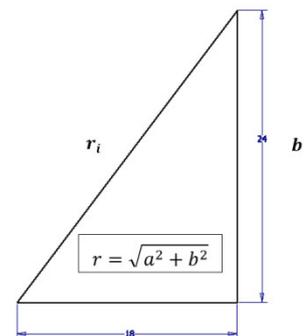
Fuerza secundaria (F'')

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

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

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

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.

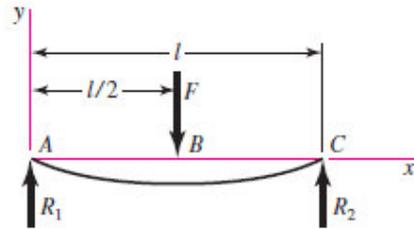
$$\eta_{AP} = \frac{S_y}{\sigma_{AP}}$$

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

$$\eta_{AP} > 2$$

APÉNDICE F

5 Apoyos simples: carga central



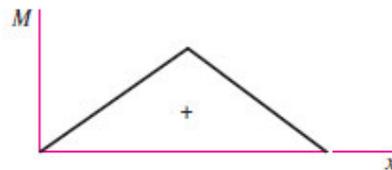
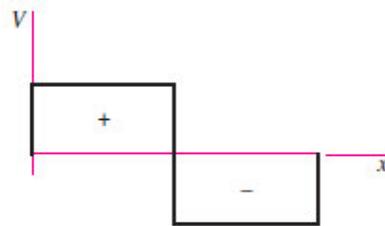
$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

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

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

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

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



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

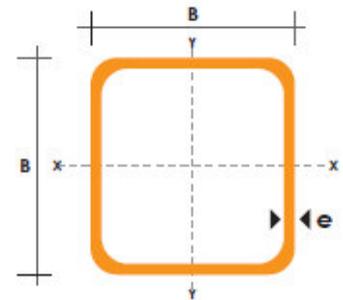
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales

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



| DIMENSIONES | | | AREA | EJES X-Xe Y-Y | | |
|-------------|---------------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------|
| A mm | ESPESOR mm | PESO Kg/m | AREA cm ² | I cm ⁴ | W cm ³ | 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.

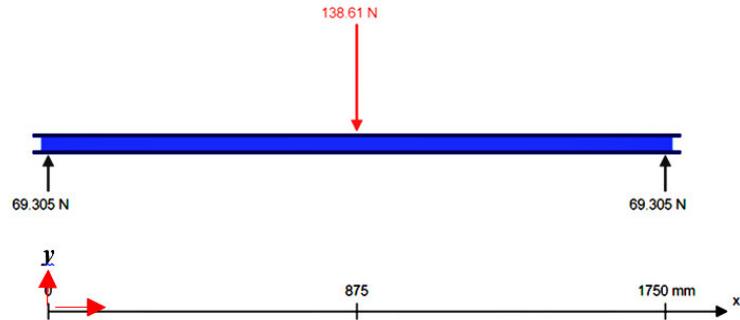


Diagrama de Fuerza Cortante

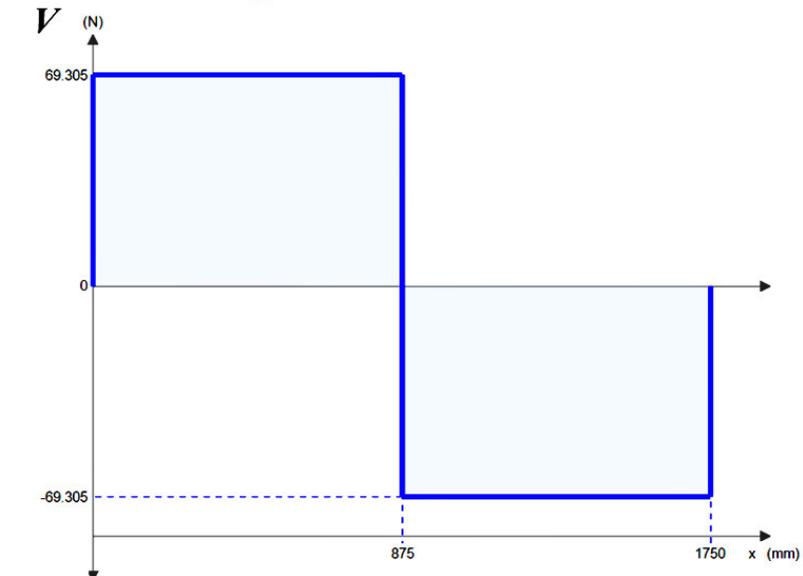


Diagrama de Momento Flector



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 segun el catlogo 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 segun 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

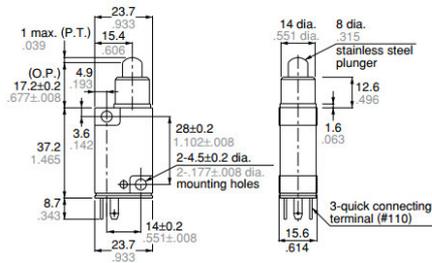
APÉNDICE L

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

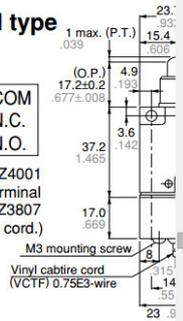
Push plunger



AZ4701

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

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



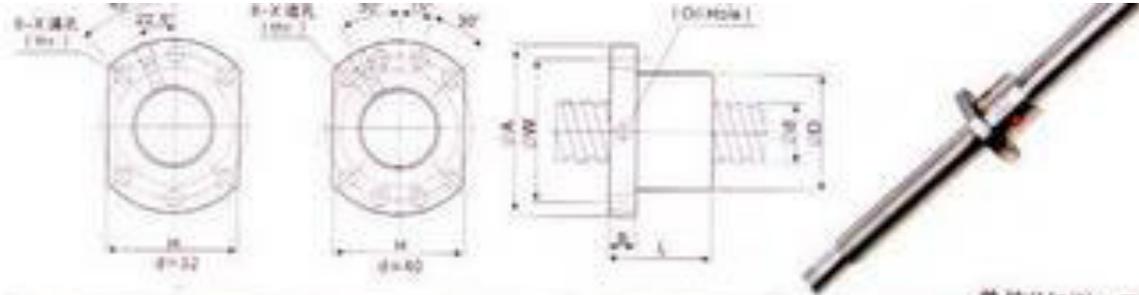
Note) The following types are also available. Roller plu
 Cross roller plunger: AZ4703 Roller arm: AZ4704
 Adjustable rod: AZ4707 Adjustable roller arm: AZ4708

Fuente: General Catalog_Limit switches/Panasonic ideas for life.

APÉNDICE LL

Características de los husillos de bolas

Husillo de bolas eje Z (Longitud=250mm)



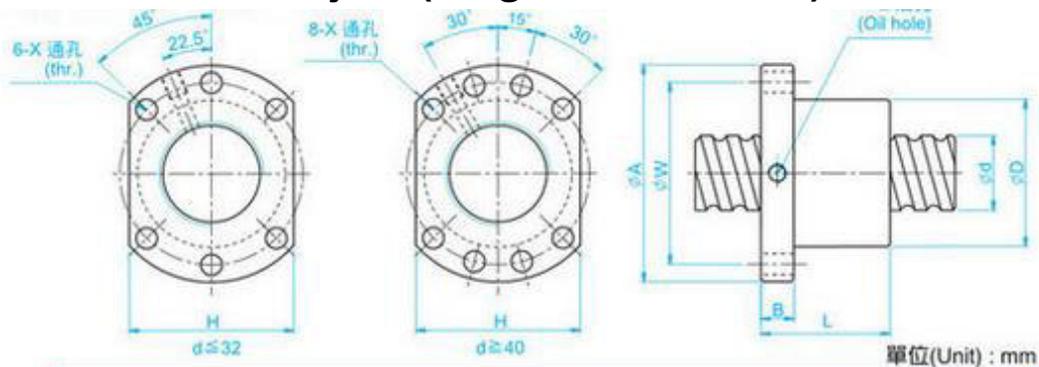
单位(Unit): mm

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

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 |

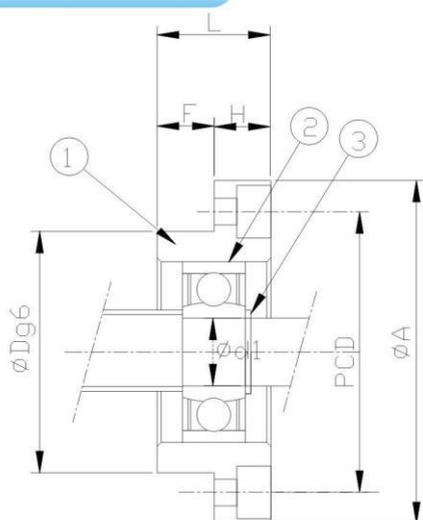
丝杆支撑座系列

FF系列（圆形支撑侧）

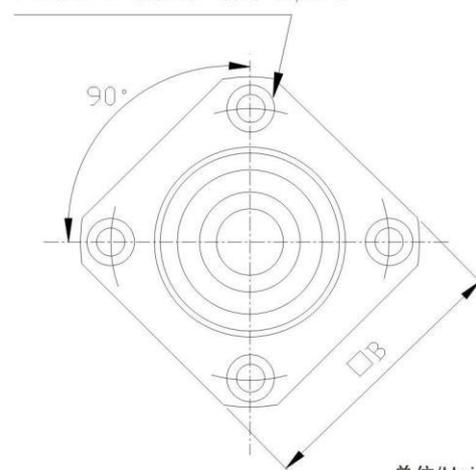
| 编号/Part No. | 部品名称/Part name | 数量/Qty |
|-------------|----------------|---------|
| 1 | 轴承座本体/Housing | 1 |
| 2 | 轴承/Bearing | 1组/1set |
| 3 | C型扣环/Snap ring | 1 |



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 |

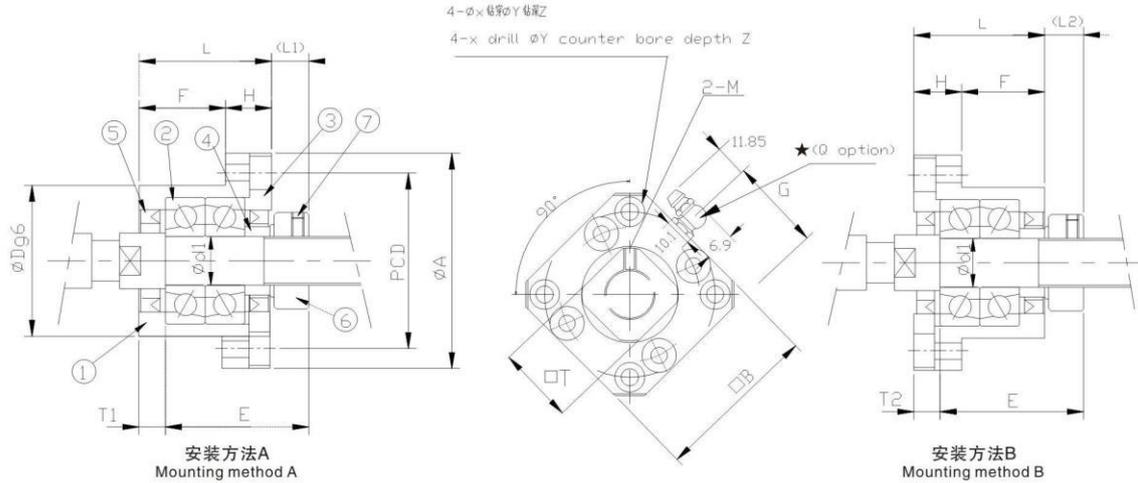
丝杆支撑座系列

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 |



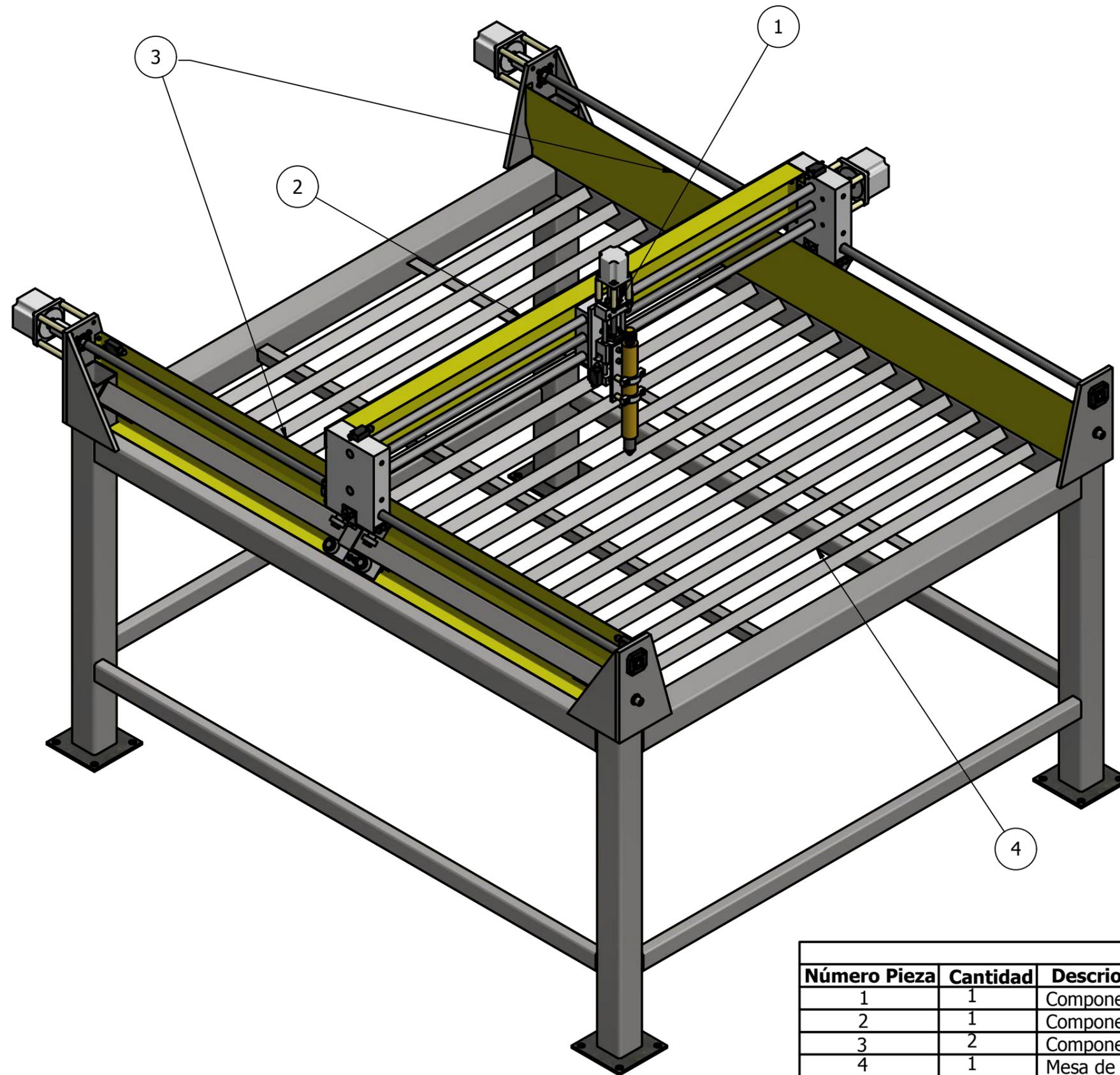
FK10--FK30



单位/Unit: mm

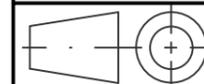
| 型号 Model No. | 轴径 Shaft diameter d1 | L | H | F | E | Dg6 | A | PCD | B | 安装方法A Mounting method A | | 安装方法B Mounting method B | | X | Y | Z | M | T | G | Q |
|-----------------|-------------------------------|----|----|----|------|--|-----|-----|----|----------------------------|----|----------------------------|----|-----|------|----|----|----|----|----|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

No.º

Fecha
02/09/2015

Dibujado por:
Aprobado por:

Mirallas Kevin /Portes Pedro
MSc. Jorge Marcial

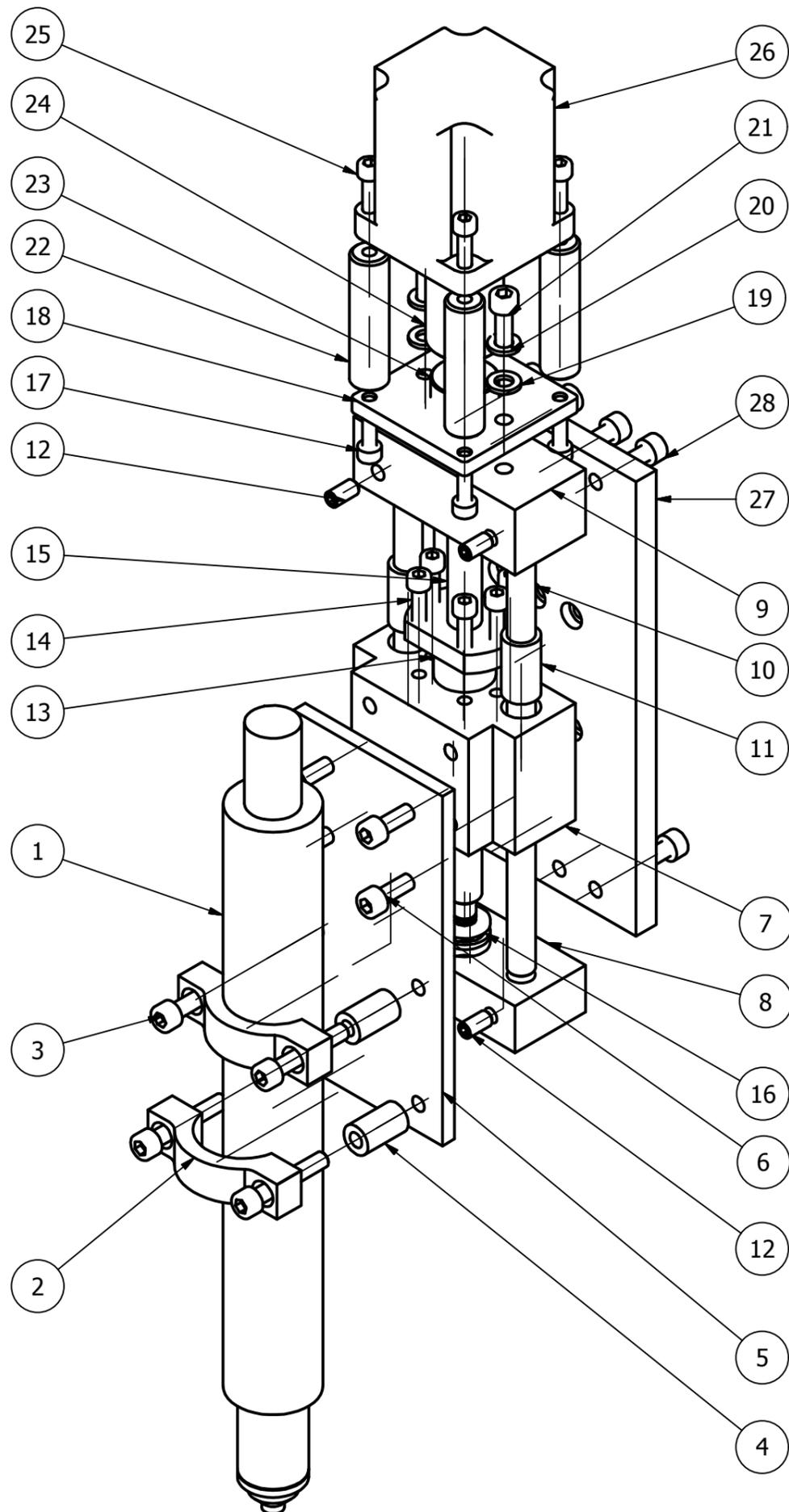
1

Escala:

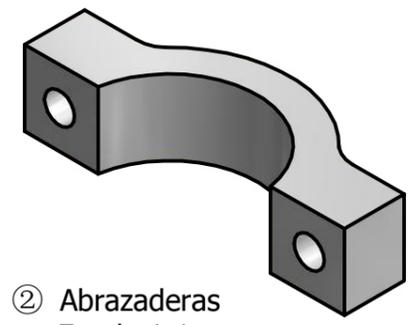
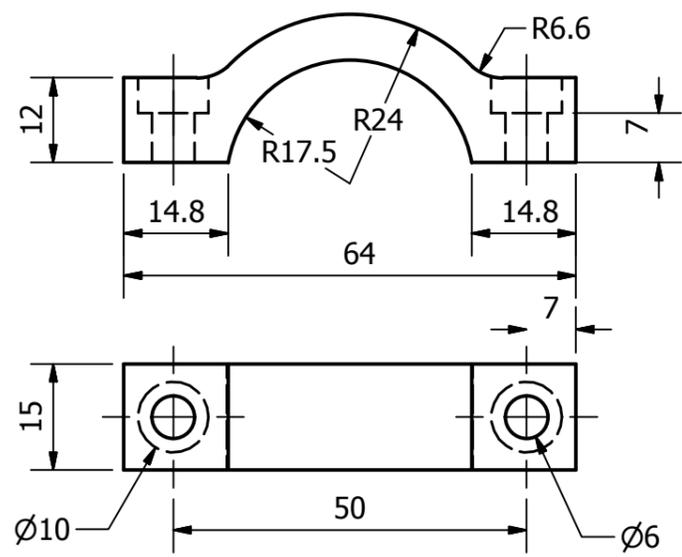
1:10

Máquina Cortadora por plasma

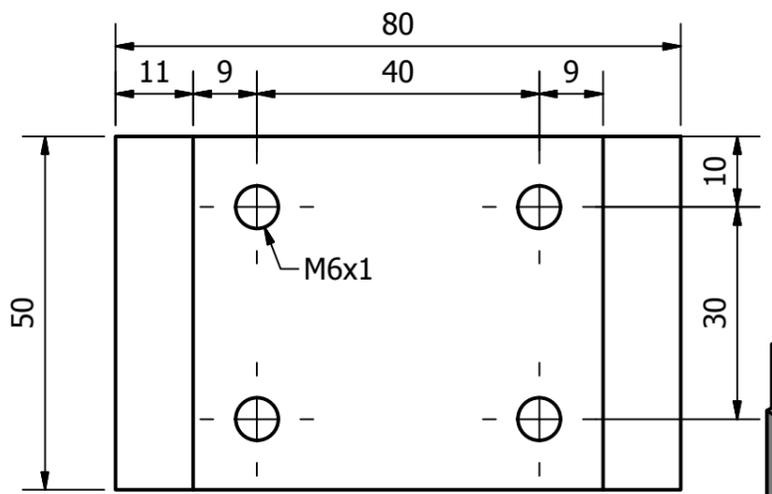
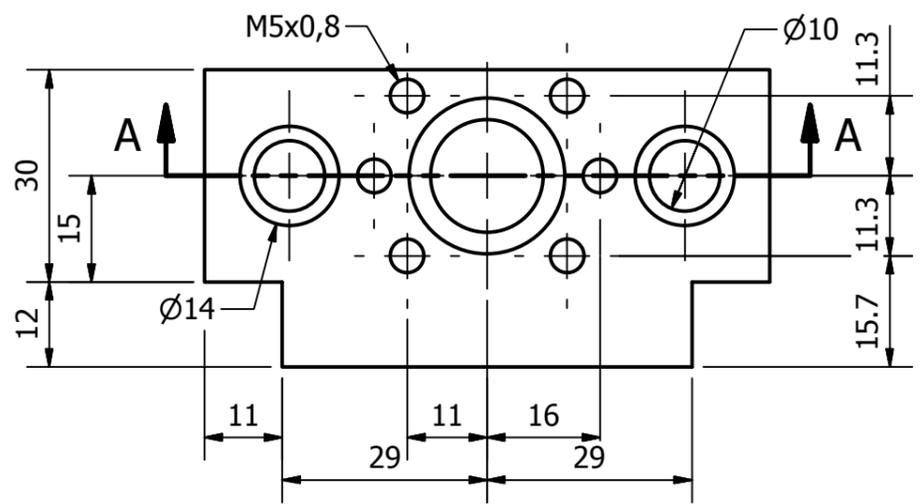




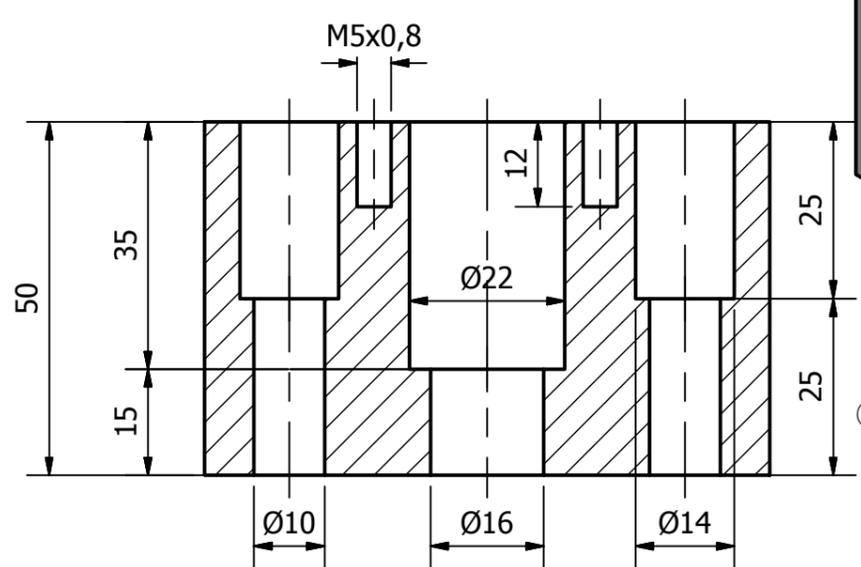
| Lista de piezas | | | |
|------------------------------------|----------|---|------------------------------|
| Número Pieza | Cantidad | Descripción del material | |
| 1 | 1 un | Torch Mechanic equipo plasma Lincoln Electric k2808-2 Tomahawk | |
| 2 | 2 un | Abrazaderas | |
| 3 | 4 un | Perno M6x35 | |
| 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 |
| Escala: | | Fecha | Dibujado por: |
| 1:2 | | 02/09/2015 | Mirallas Kevin /Portes Pedro |
| | | Aprobado por: | MSc. Jorge Marcial |
| | | | No. 2 |
| Conjunto sistema sujeción antorcha | | | |



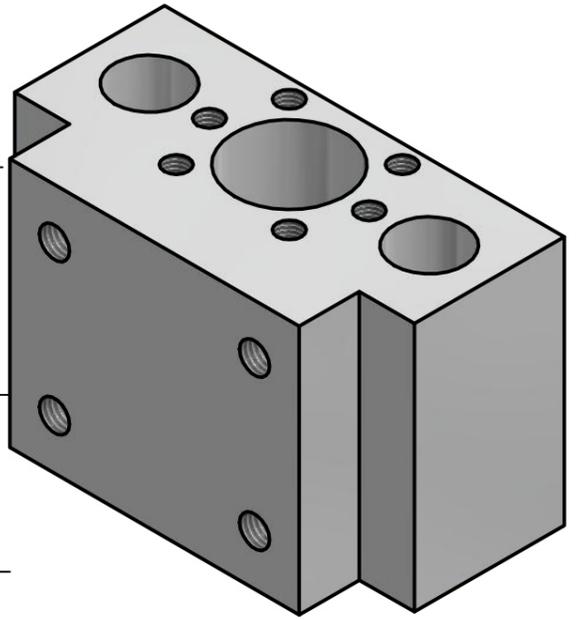
② Abrazaderas
Escala 1:1



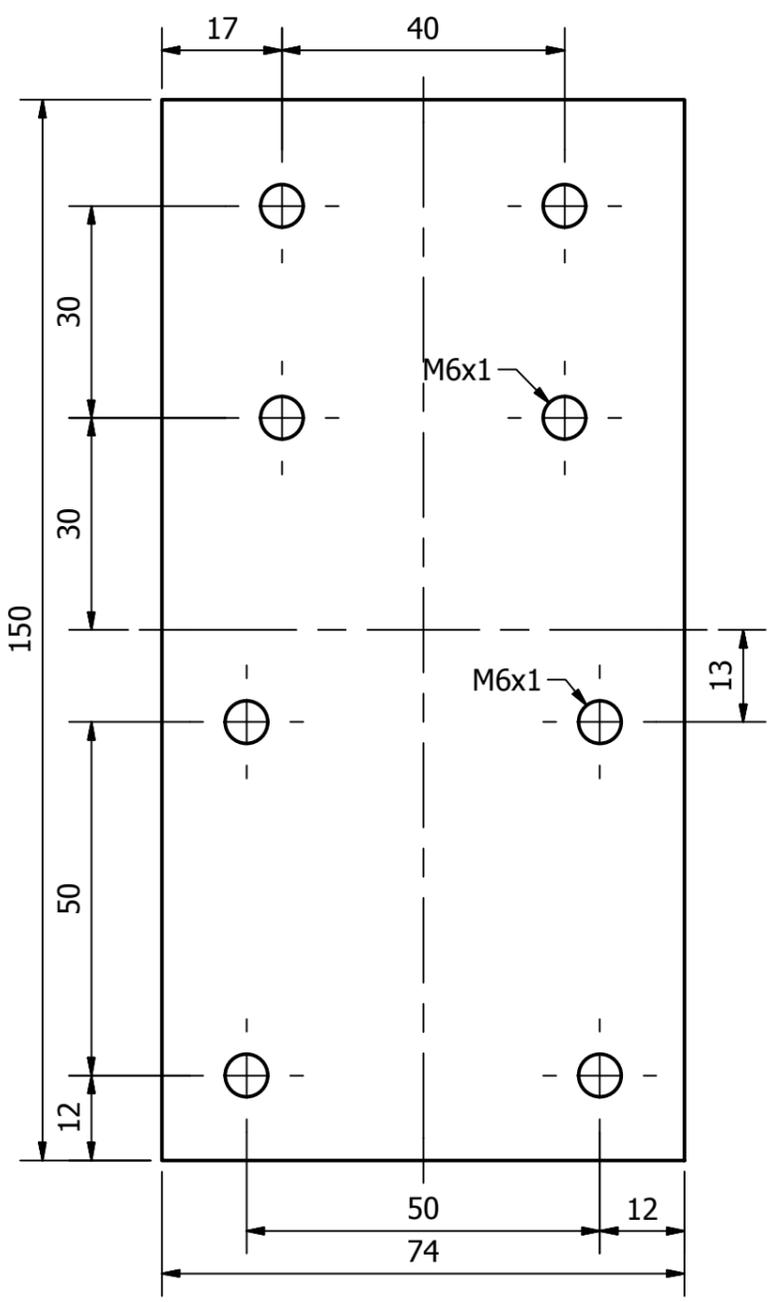
⑤ Placa1
Escala 1:1



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

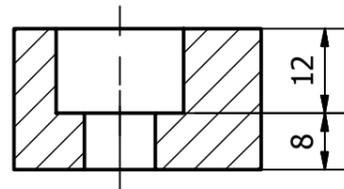
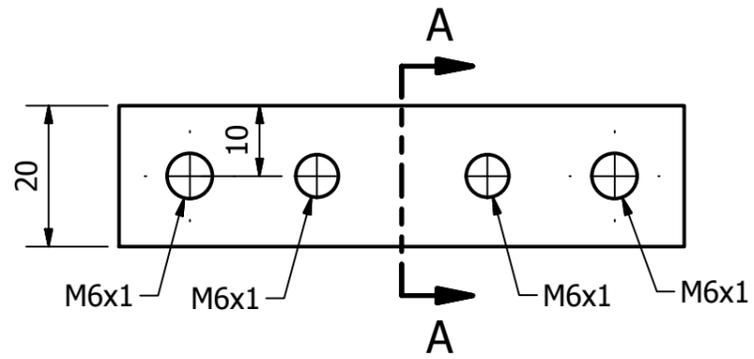


⑦ Bloque para tuerca del husillo de bolas
Escala 1:1

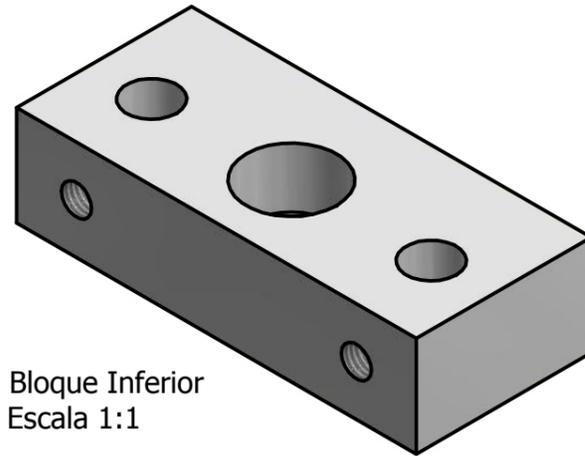
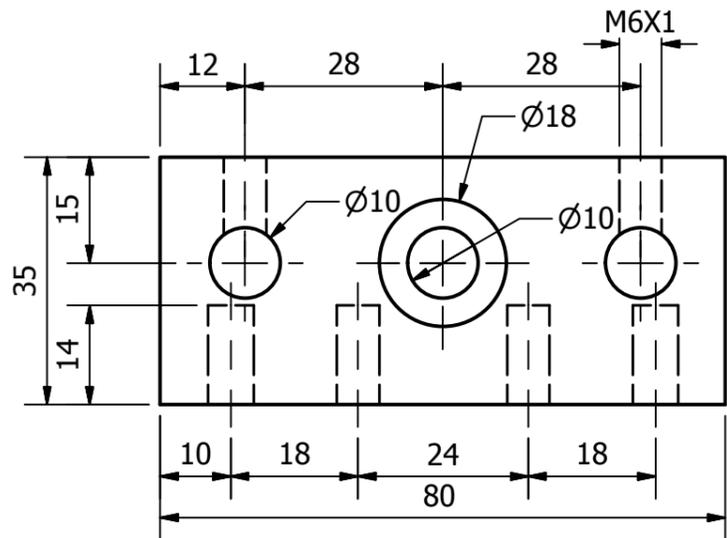


| | | | | |
|--|-------------------------------|---------------|------------------------------|------------------|
| | Proyecto/ Materia Integradora | | Nombre | No.° 3 |
| | Fecha | Dibujado por: | Mirallas Kevin /Portes Pedro | |
| Escala: | 02/09/2015 | Aprobado por: | MSc. Jorge Marcial | |
| Partes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

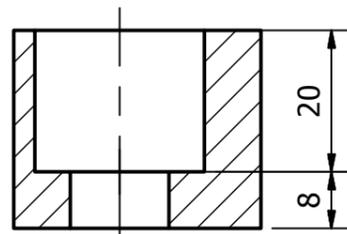
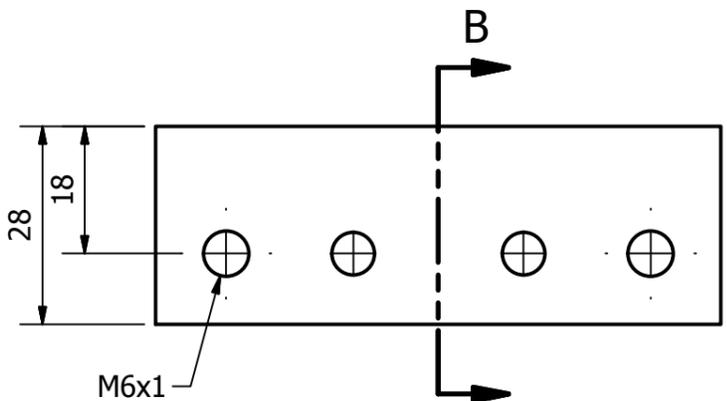




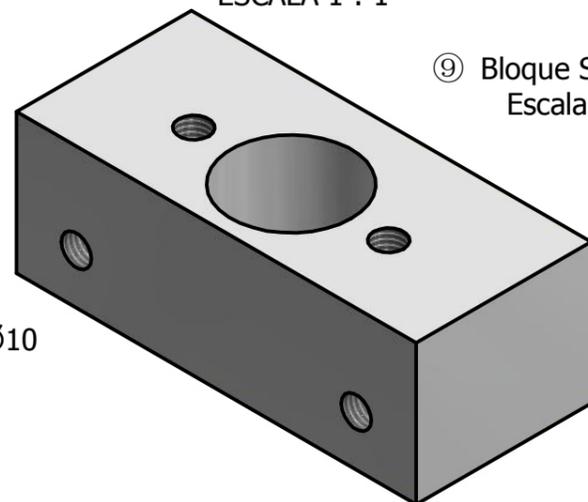
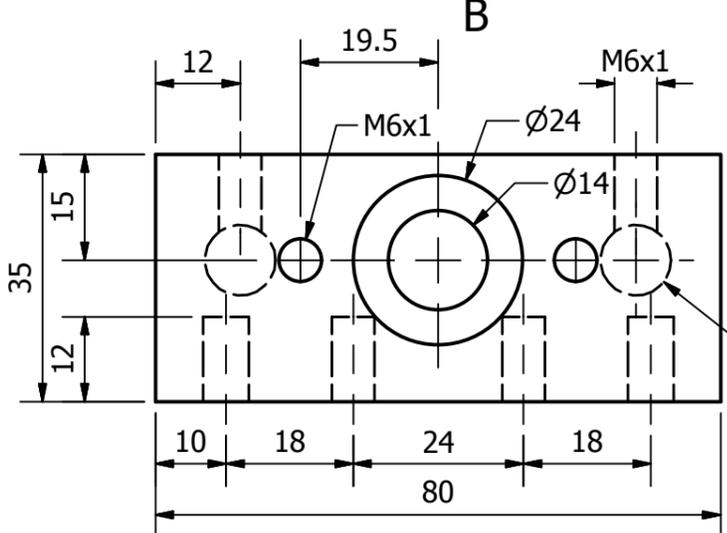
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1



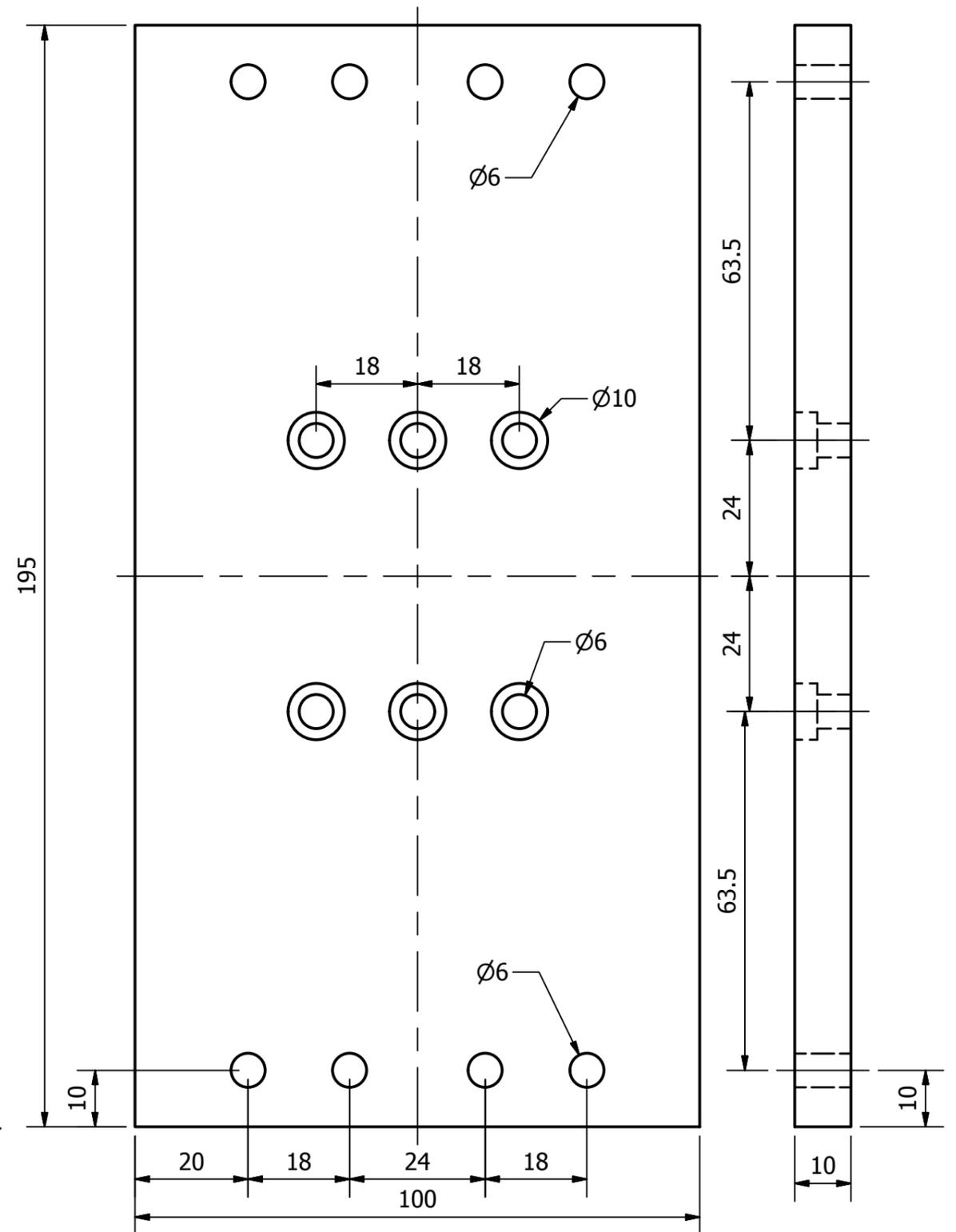
⑧ Bloque Inferior
Escala 1:1



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1



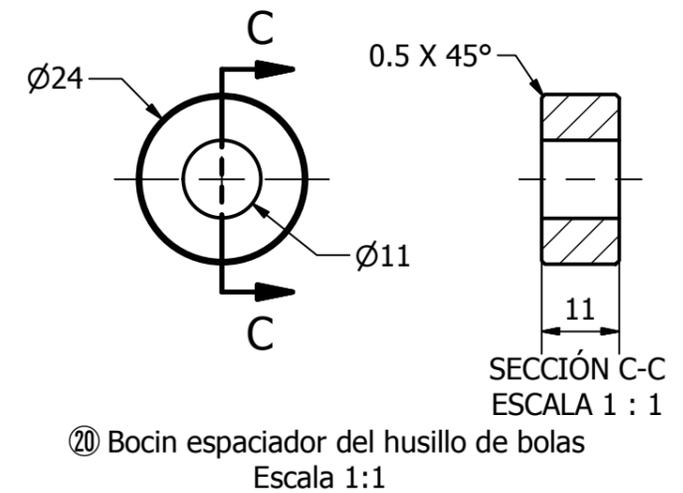
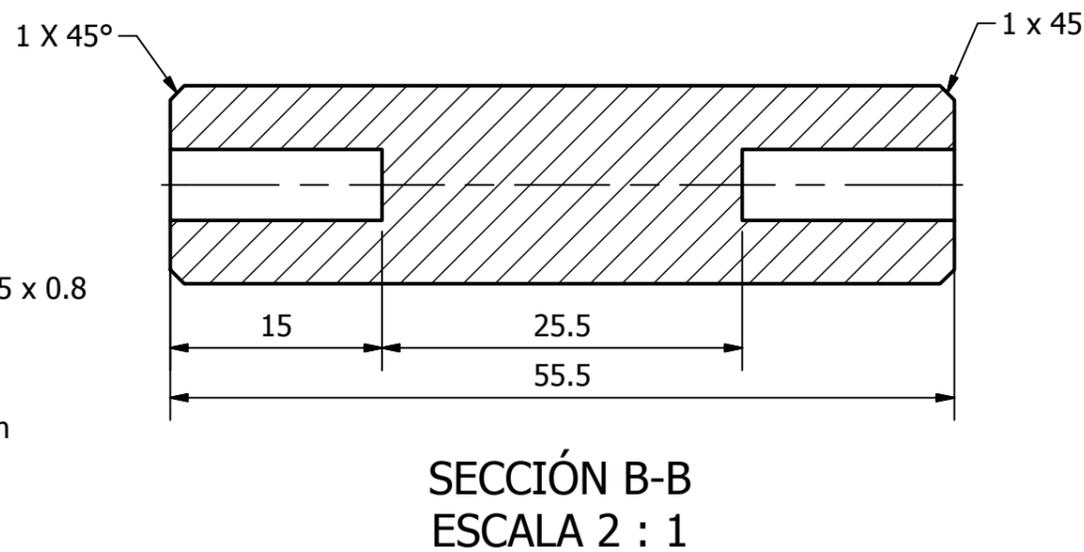
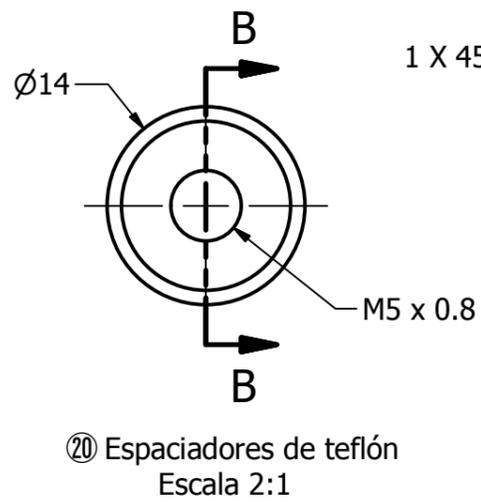
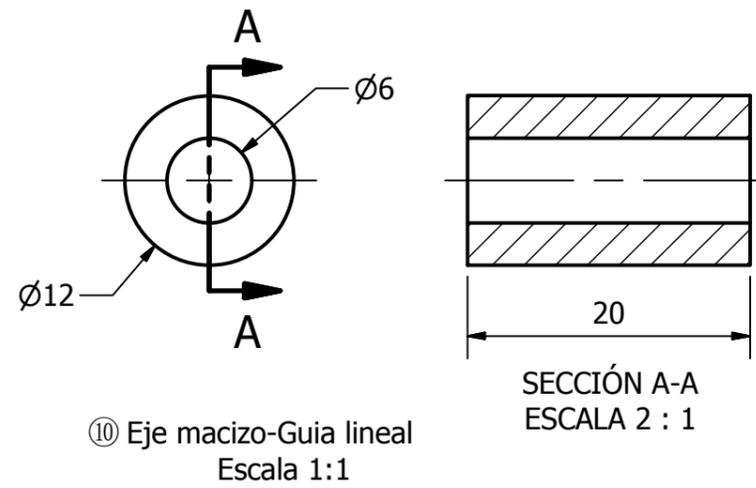
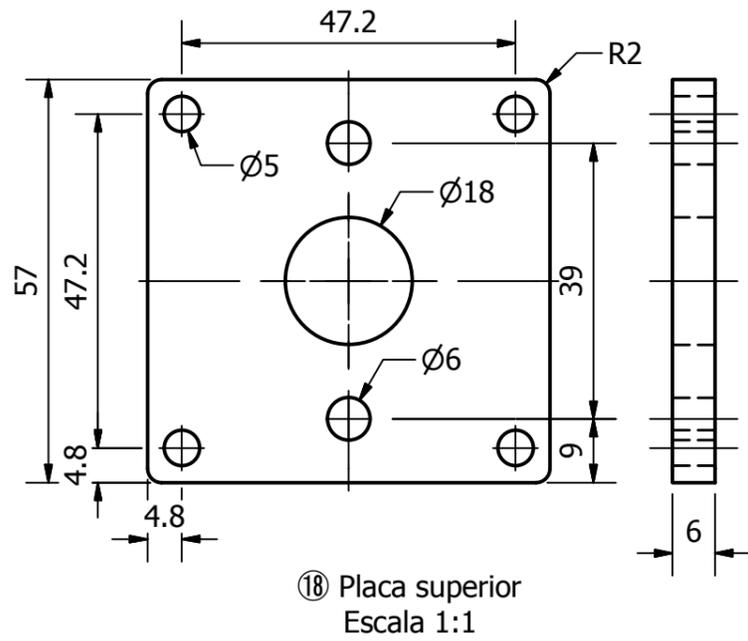
⑨ Bloque Superior
Escala 1:1



⑩ Placa 2
Escala 1:1

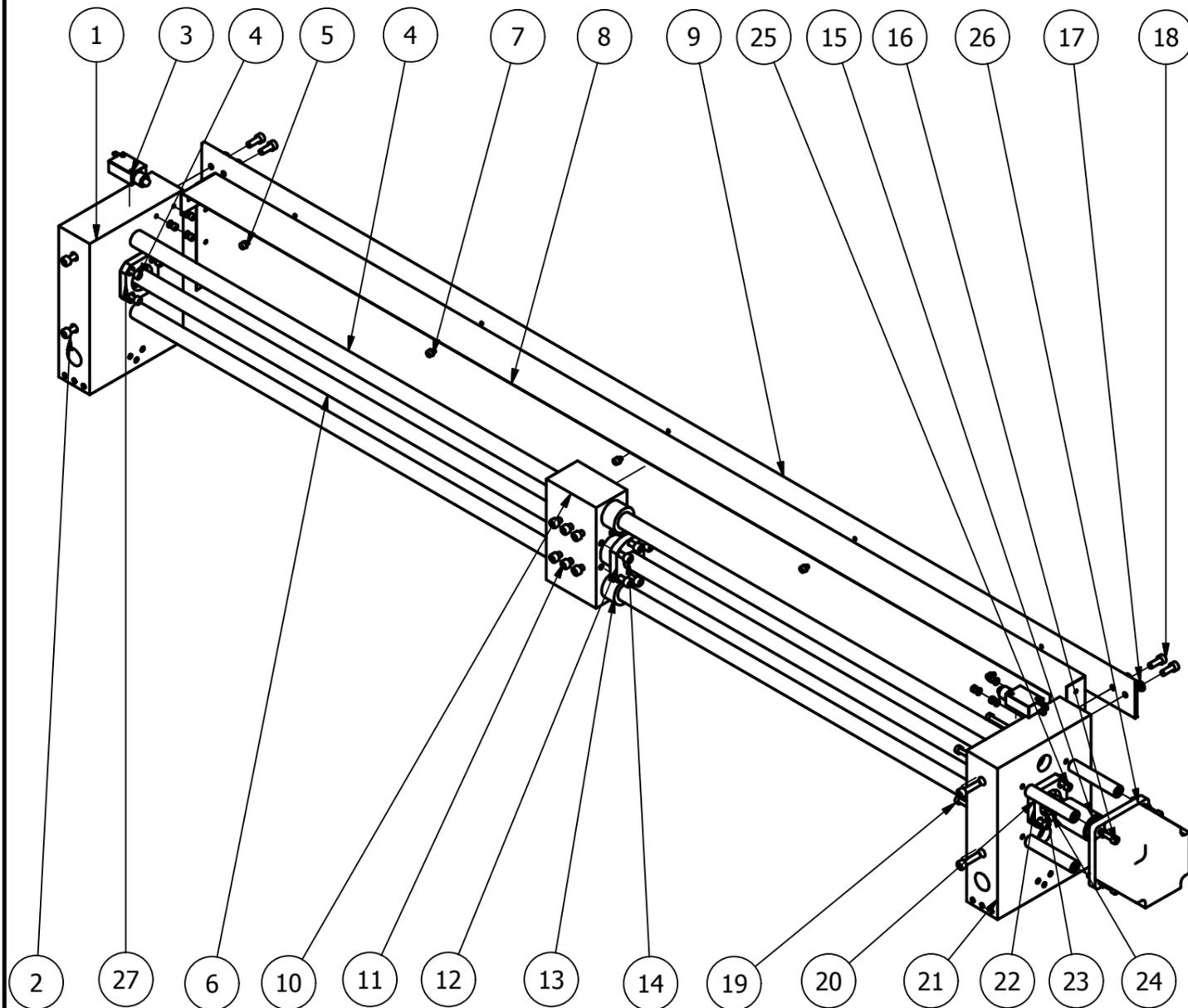
| | | | | |
|---------|-------------------------------|--|------------------------------|------------------|
| | Proyecto/ Materia Integradora | | Nombre | No.° 4 |
| | Fecha | Dibujado por: | Mirallas Kevin /Portes Pedro | |
| | 02/09/2015 | Aprobado por: | MSc. Jorge Marcial | |
| Escala: | | Partes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





| | | | | | |
|---------|--|---------------|------------------------------|--|------------------|
| | Proyecto/ Materia Integradora | | Nombre | | No.° 5 |
| | 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 |

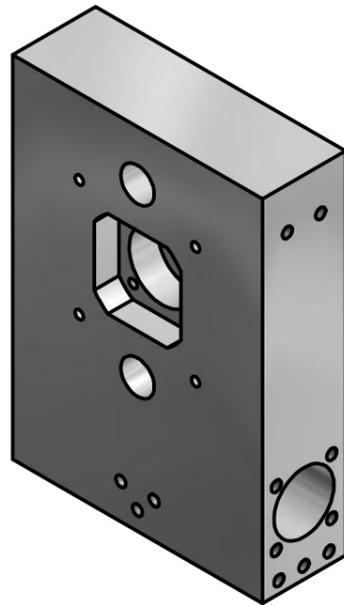
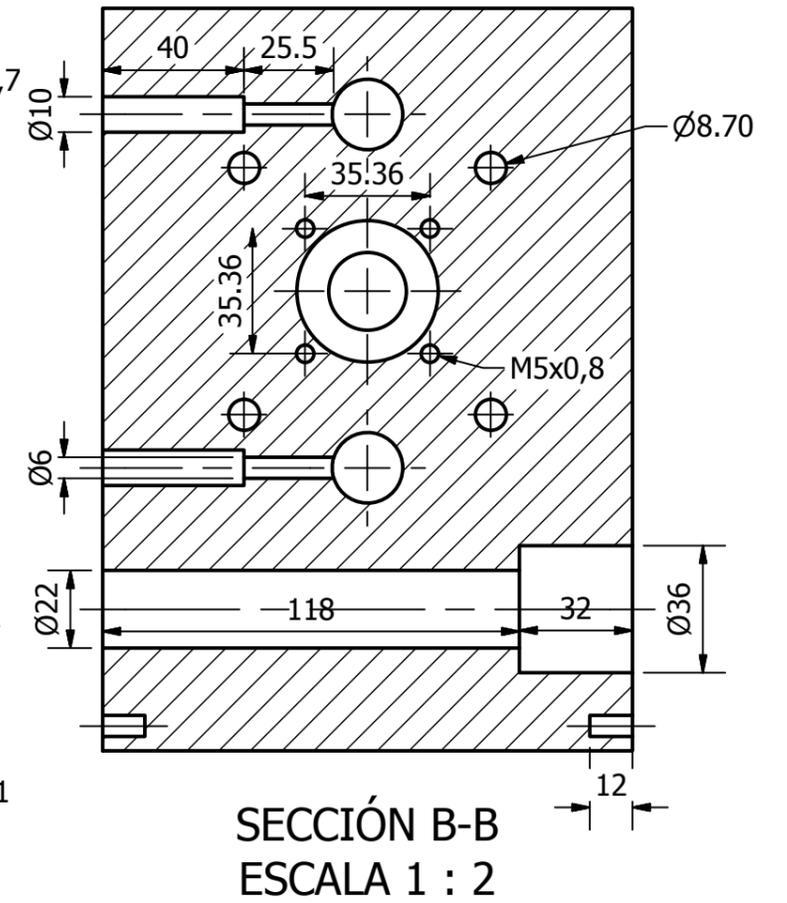
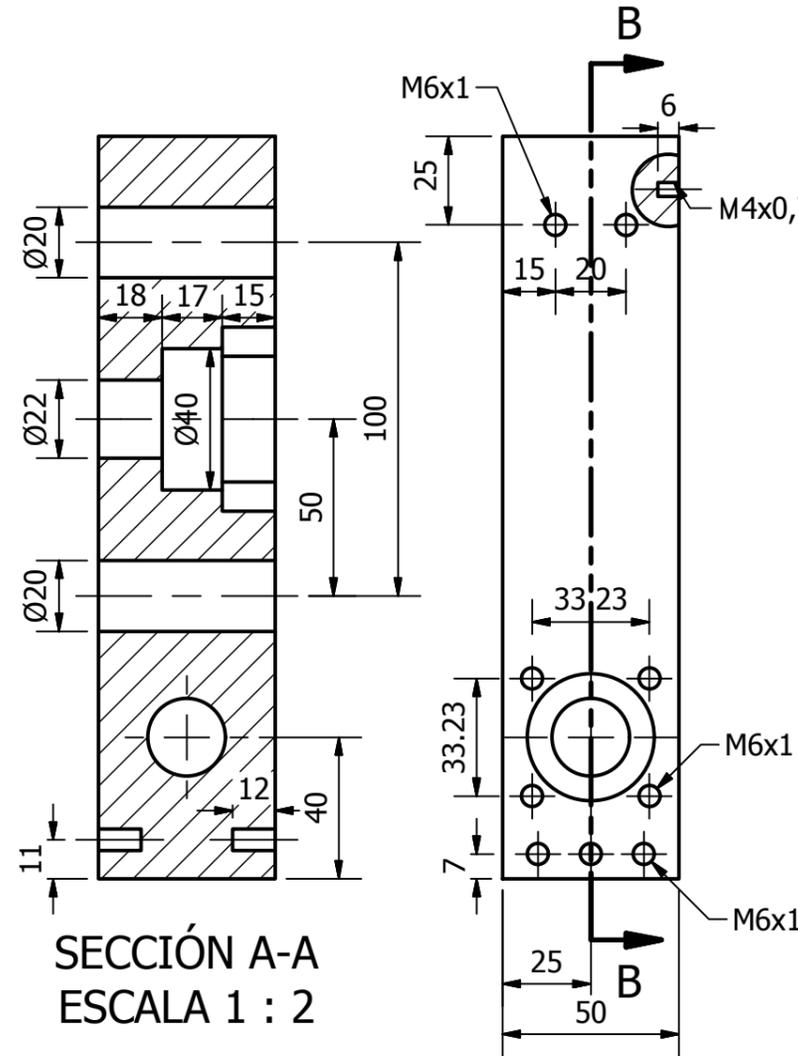
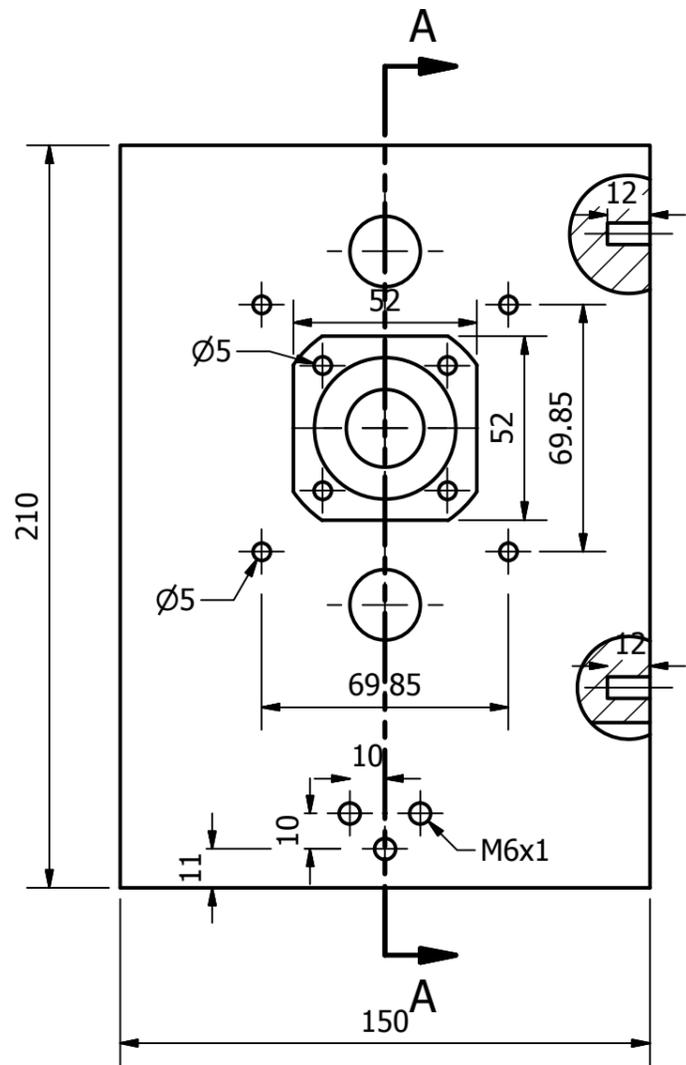


Escala:
1:6

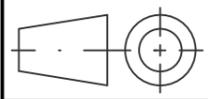
| | | | | |
|-------------------------------|---------------|------------------------------|--|------------------|
| Proyecto/ Materia Integradora | | Nombre | | No.º 6 |
| Fecha | Dibujado por: | Mirallas Kevin /Portes Pedro | | |
| 02/09/2015 | Aprobado por: | MSc. Jorge Marcial | | |

Conjunto componente de
guiado lineal transversal (X)

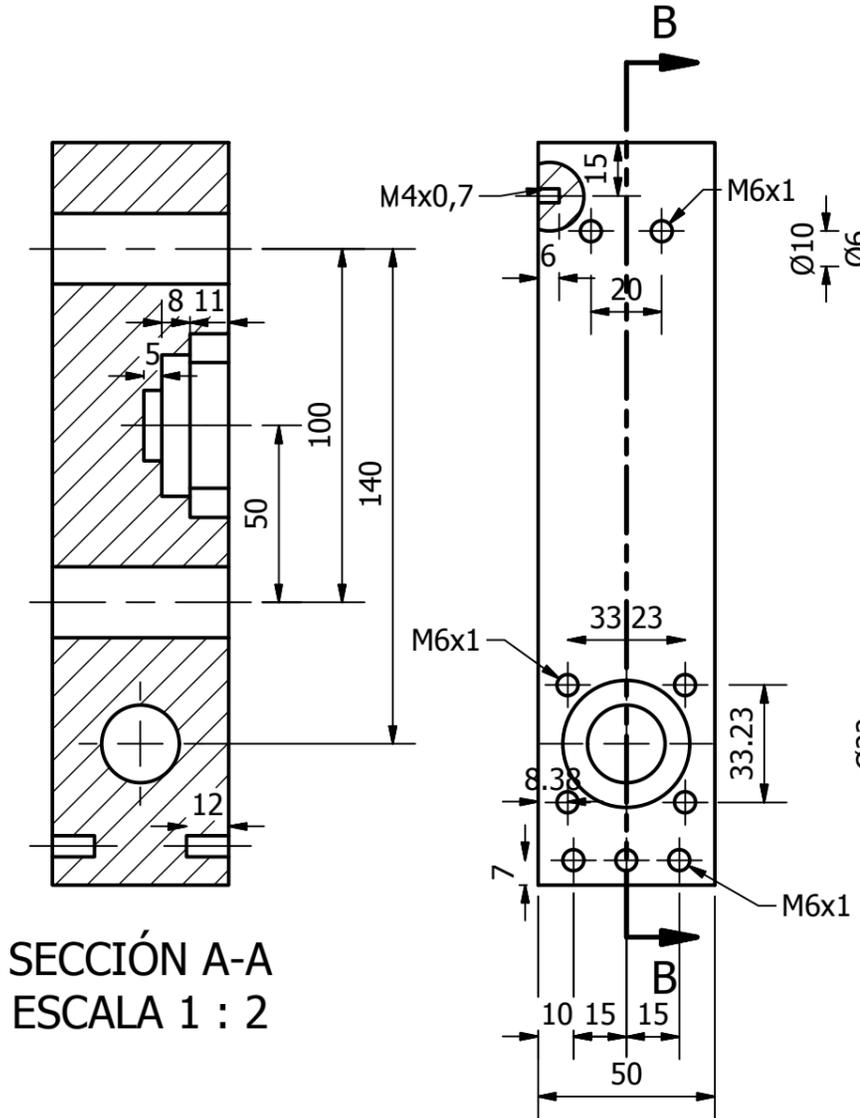
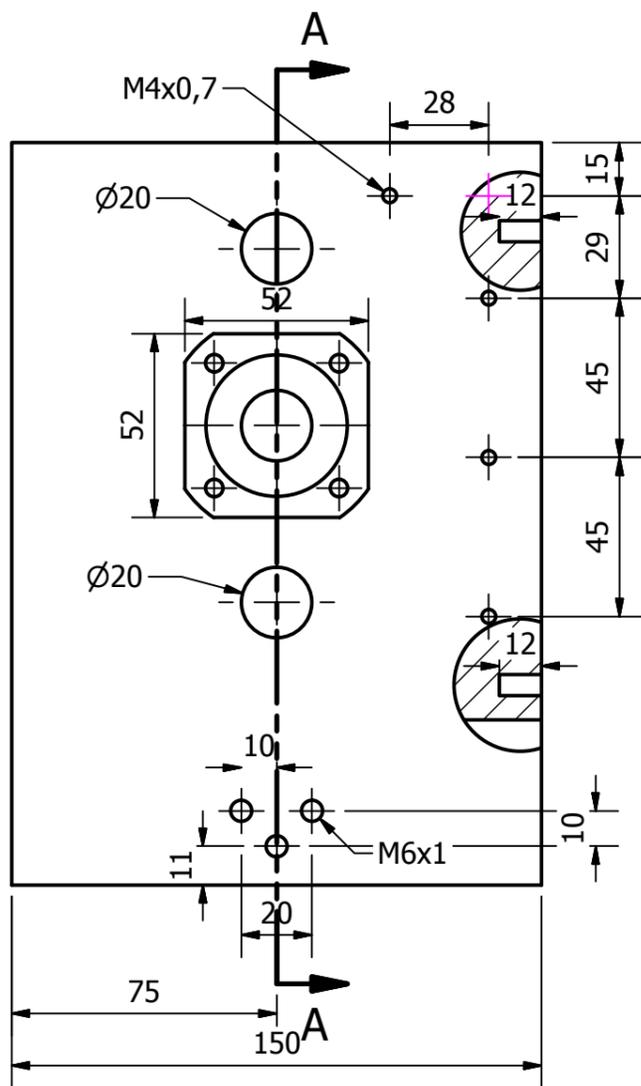




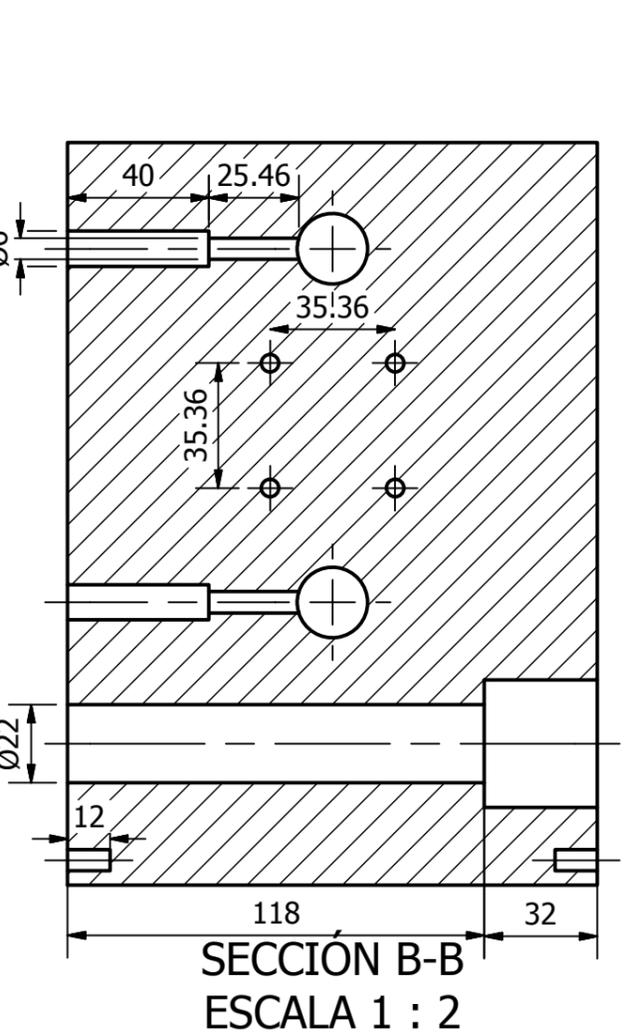
20 Bloque Y-motor
Escala 1:3

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

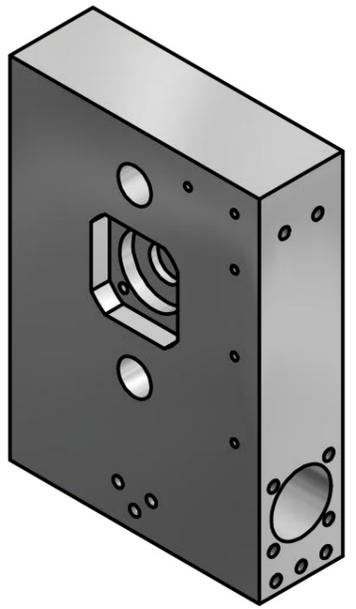




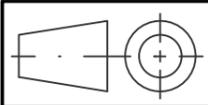
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2



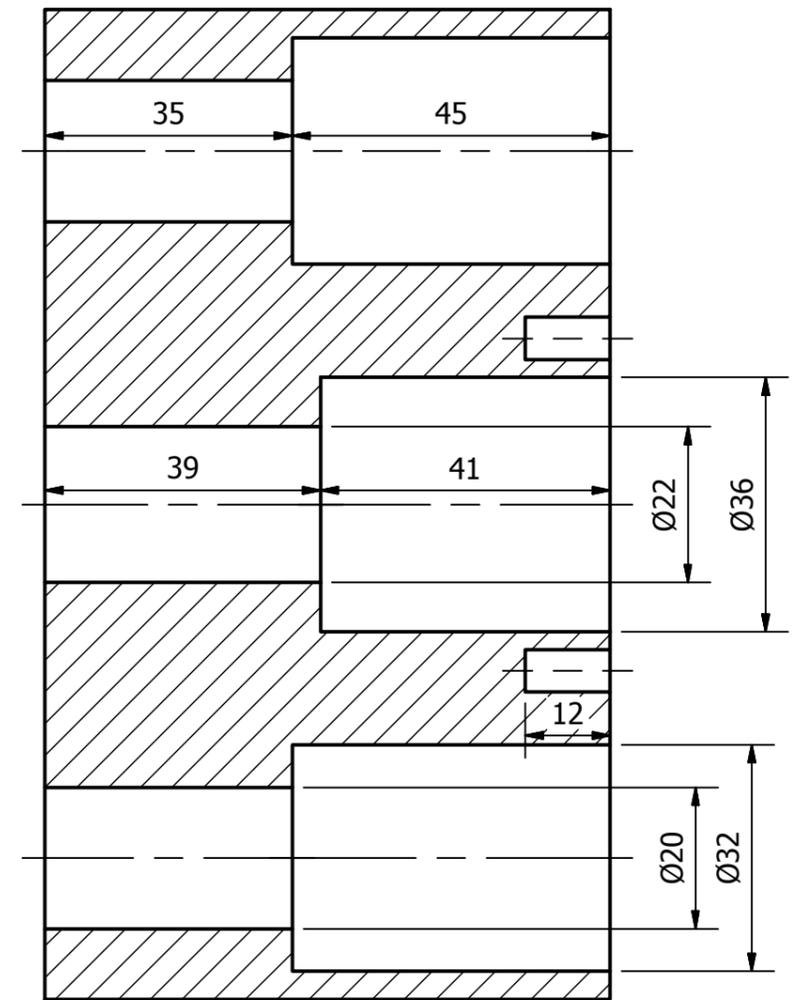
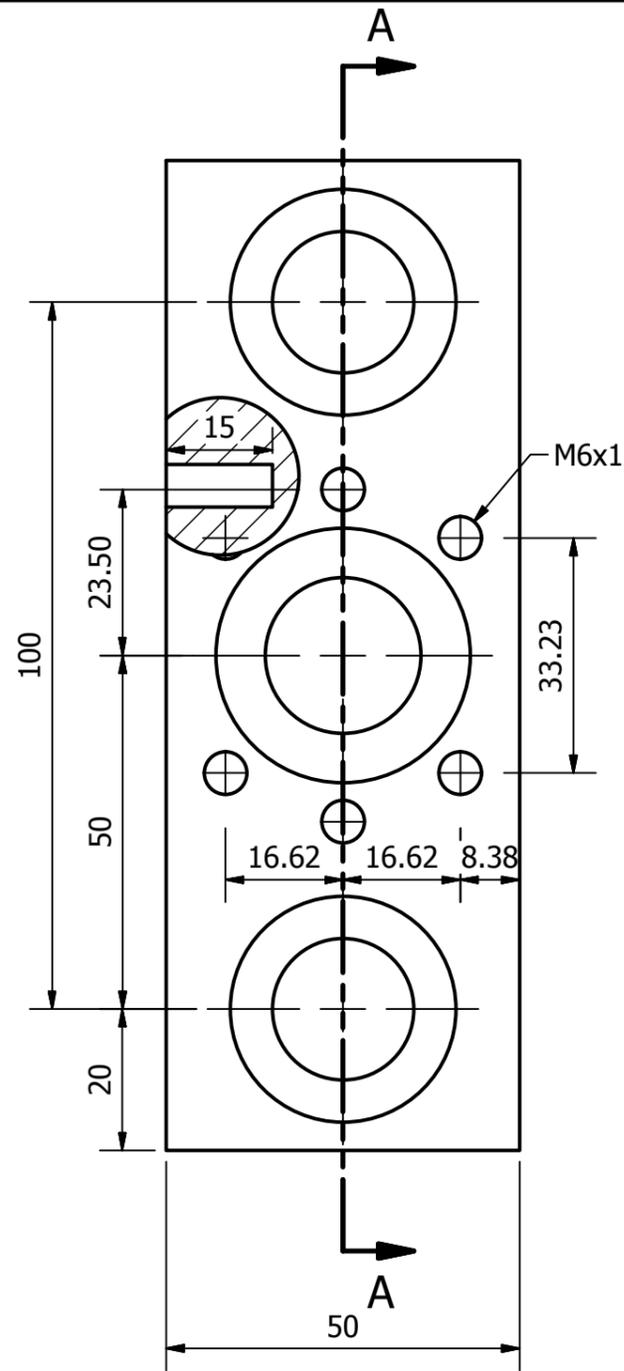
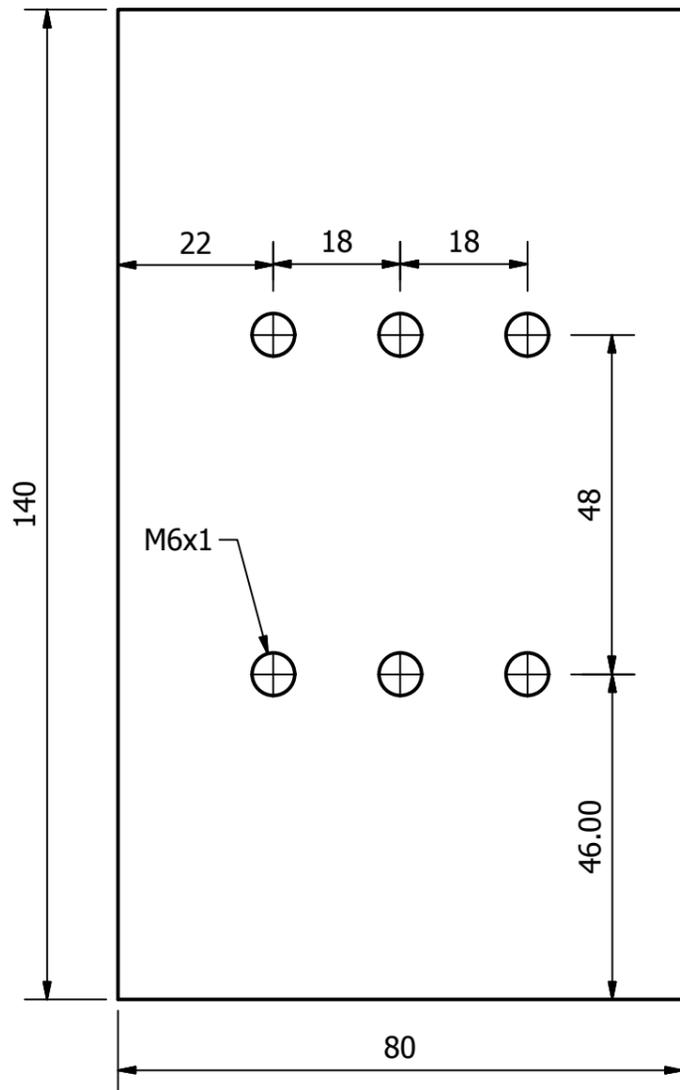
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 2



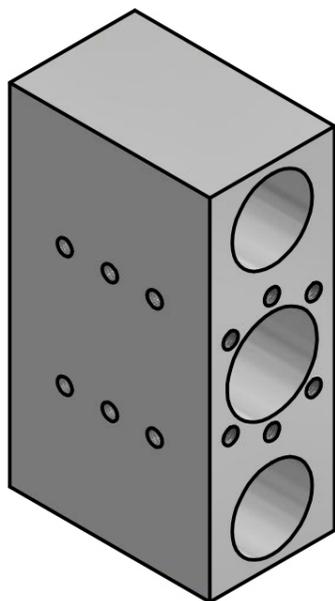
① Bloque Y
Escala 1:3

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

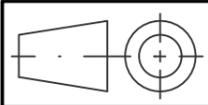




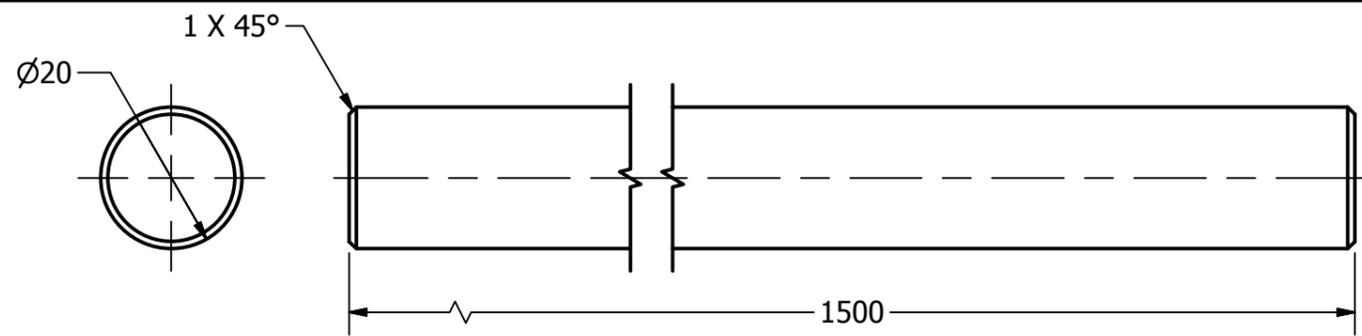
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1



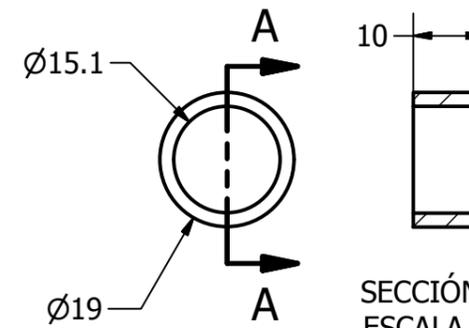
⑩ Bloque tuerca husillo de bolas (x)
Escala 1:2

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

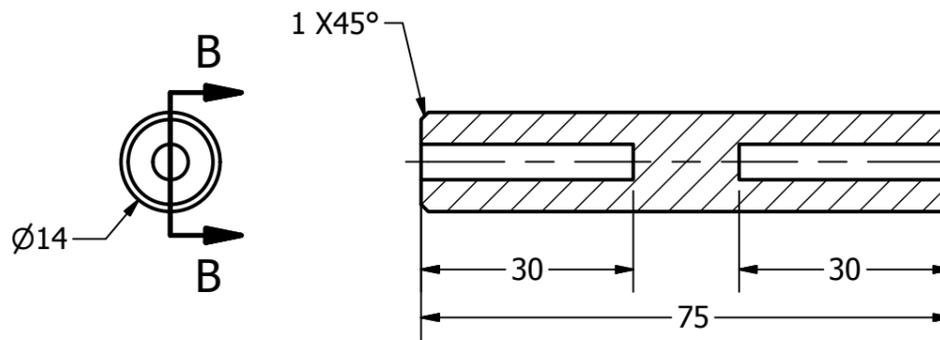




④ Eje guía
Escala 1:1

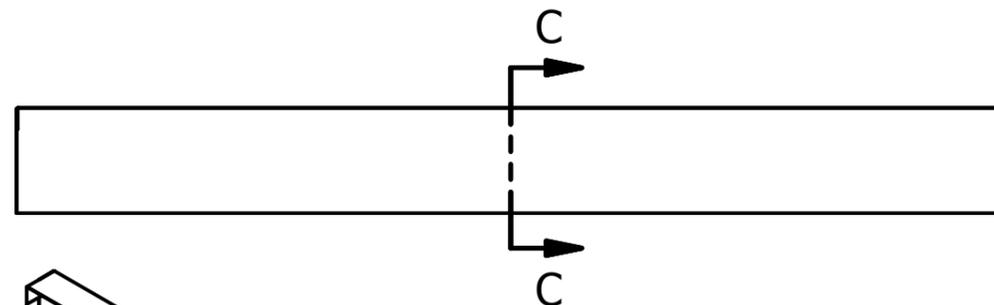


⑩ Bocin espaciador del husillo de bolas
Escala 1:1



⑩ Bocin espaciador del motor
Escala 1:1

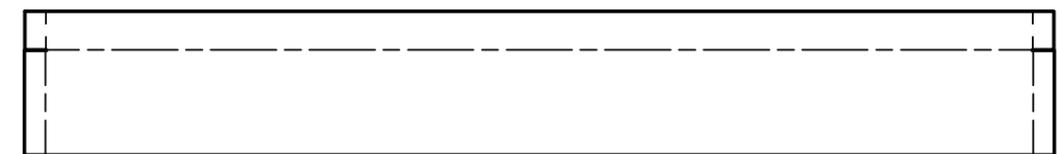
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1



⑧ Protector eje X
Escala 1:1



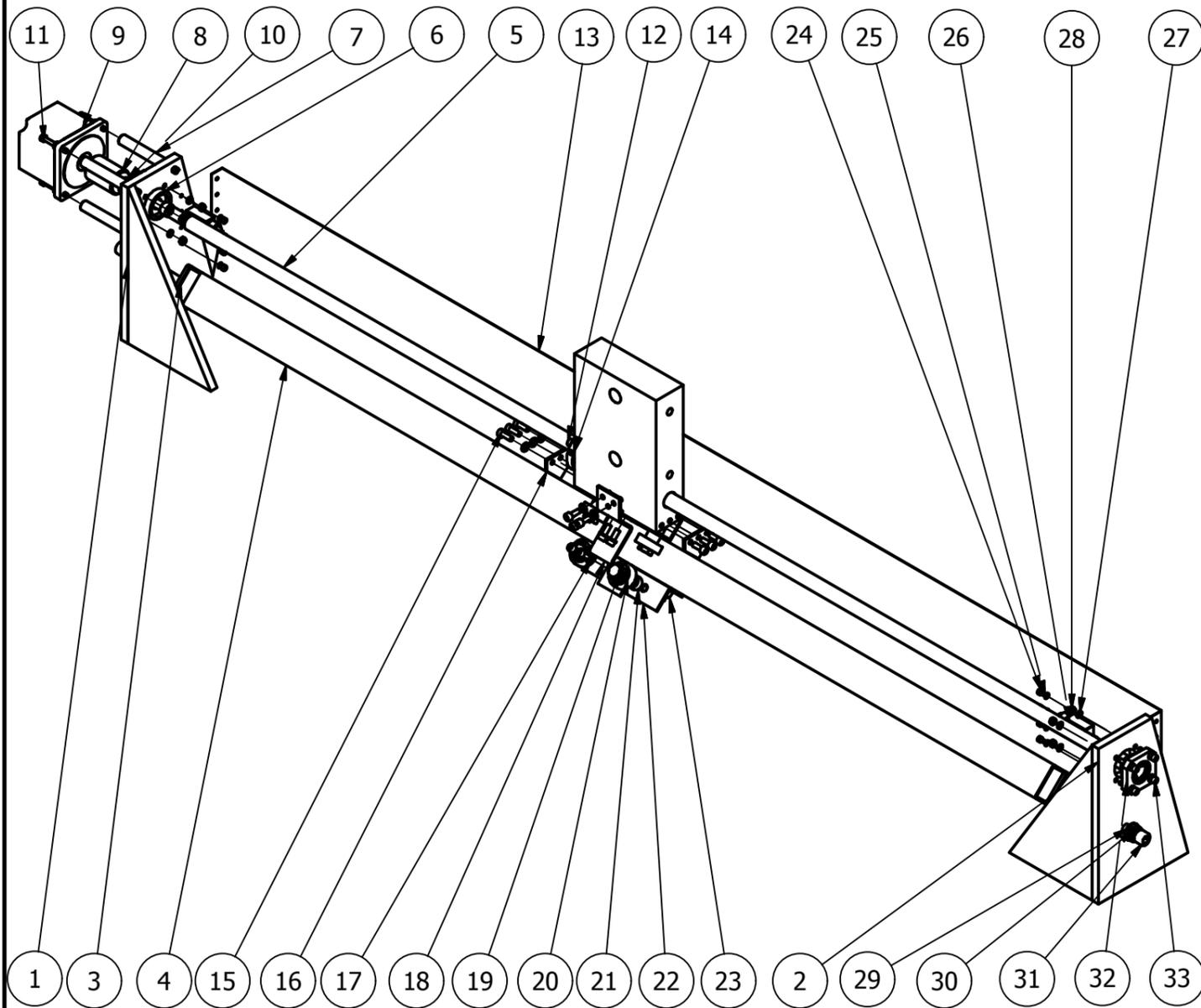
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 / 10



⑧ Protector eje X / lamina Desplegado
Escala 1:1

| | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------|------------------------------|-------------------|
| | Proyecto/ Materia Integradora | | Nombre | No.° 10 |
| | Fecha | Dibujado por: | Mirallas Kevin /Portes Pedro | |
| | 02/09/2015 | Aprobado por: | MSc. Jorge Marcial | |
| Escala: 1:1 | 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 |

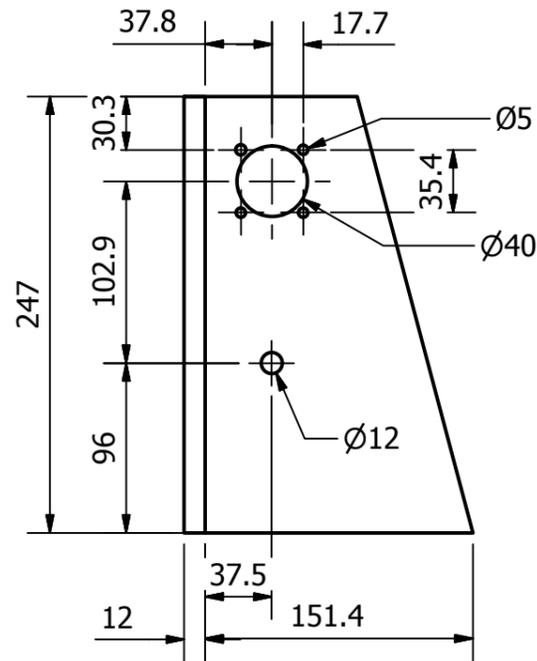
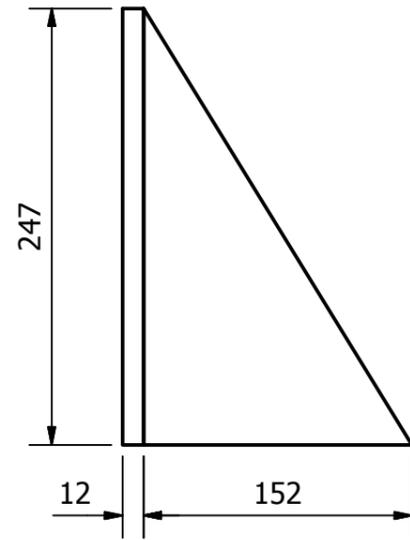


Escala:
1:8

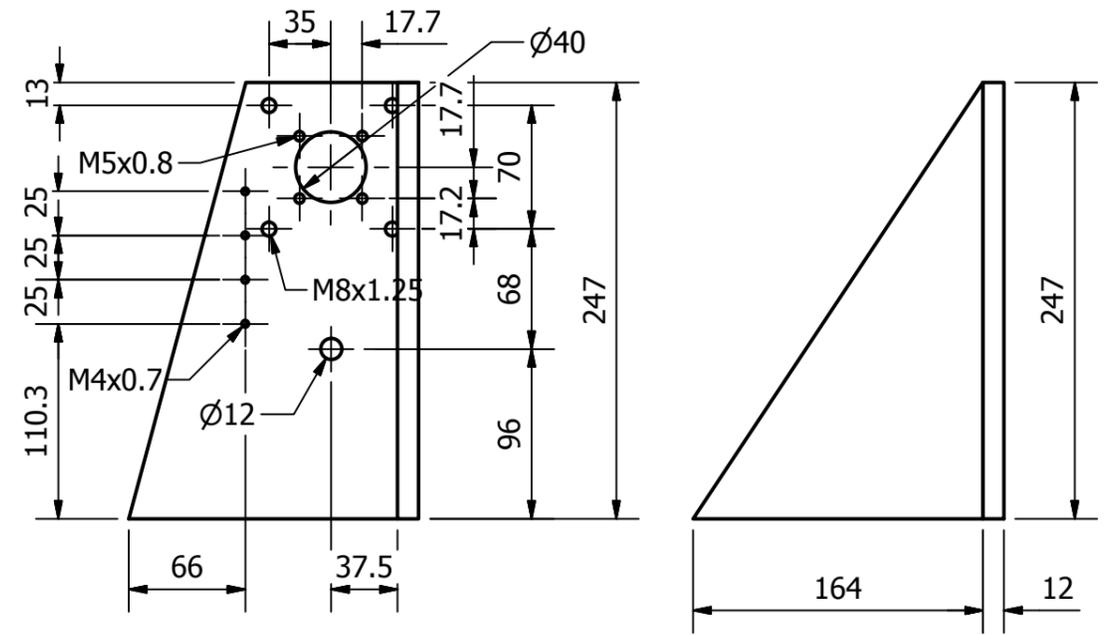
| | | |
|-------------------------------|---|-----------|
| Proyecto/ Materia Integradora | Nombre | No. 11 |
| Fecha 02/09/2015 | Dibujado por: Aprobado por: Mirallas Kevin /Portes Pedro MSc. Jorge Marcial | |

Conjunto componente de guiado
lineal longitudinal (Y)

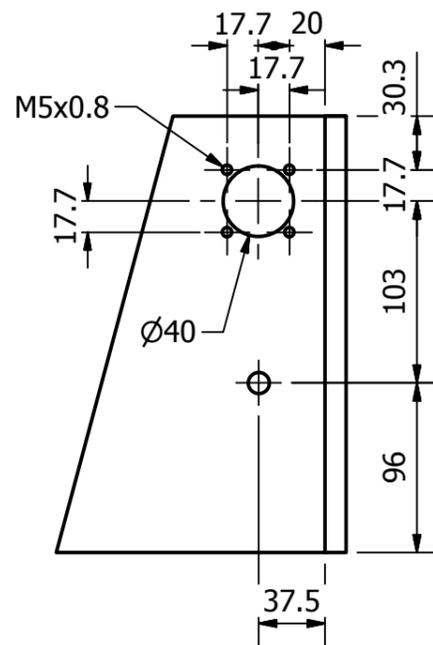
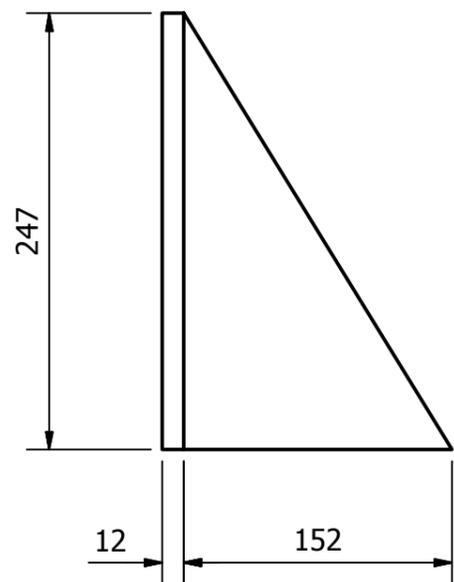
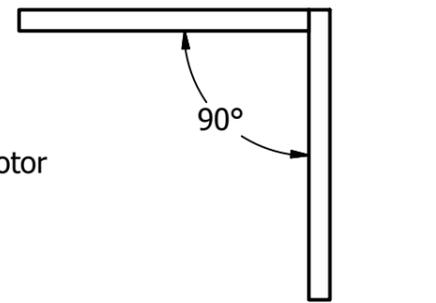
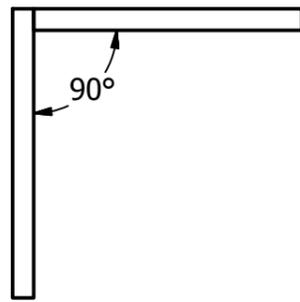




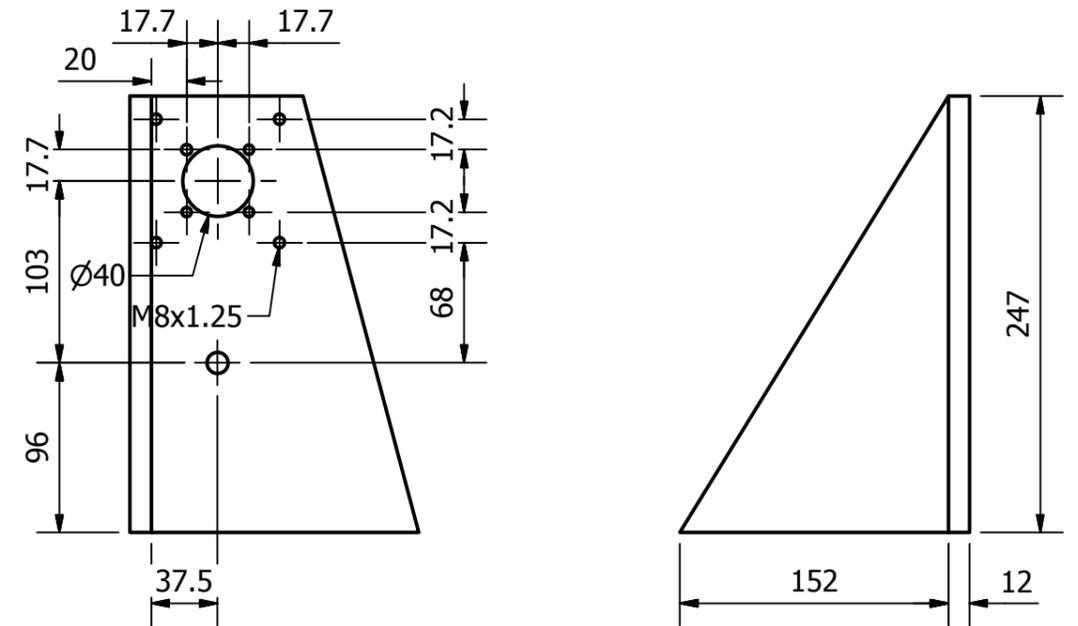
② Esquina soporte chumacera lado Der.
Escala 1:1



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



② Esquina soporte chumacera lado Izq.
Escala 1:1

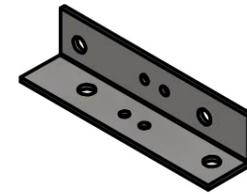
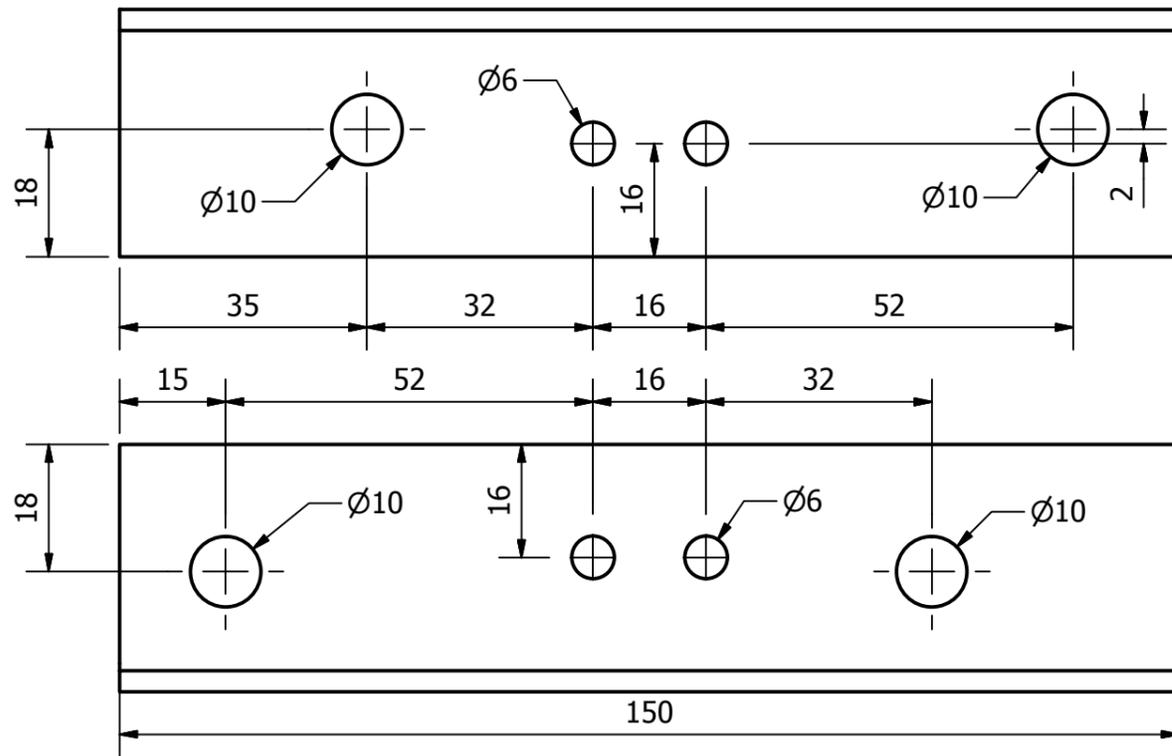


① Esquina soporte chumacera lado Izq. motor
Escala 1:1

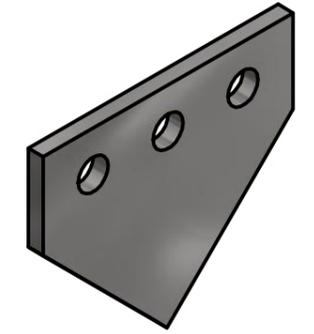
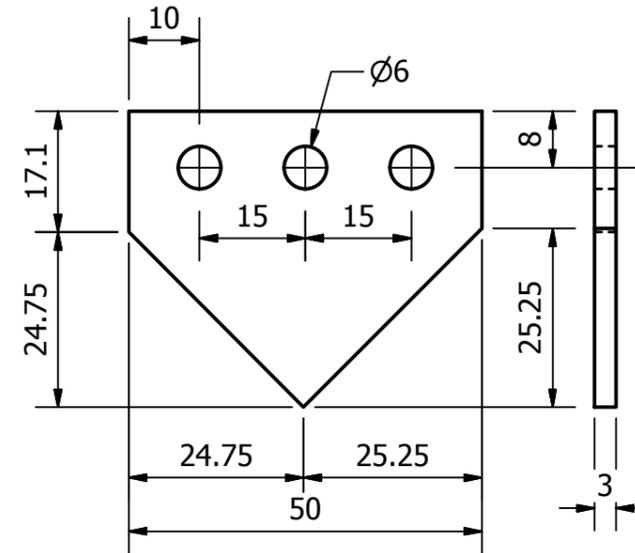
| | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------|------------------------------|-------------------|
| | Proyecto/ Materia Integradora | | Nombre | No.° 12 |
| | Fecha | Dibujado por: | Mirallas Kevin /Portes Pedro | |
| Escala: 1:1 | 02/09/2015 | Aprobado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



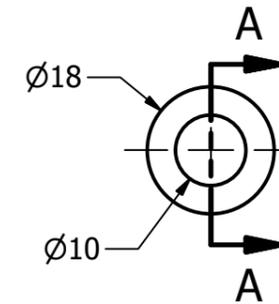
PERFIL AL 35x35x4



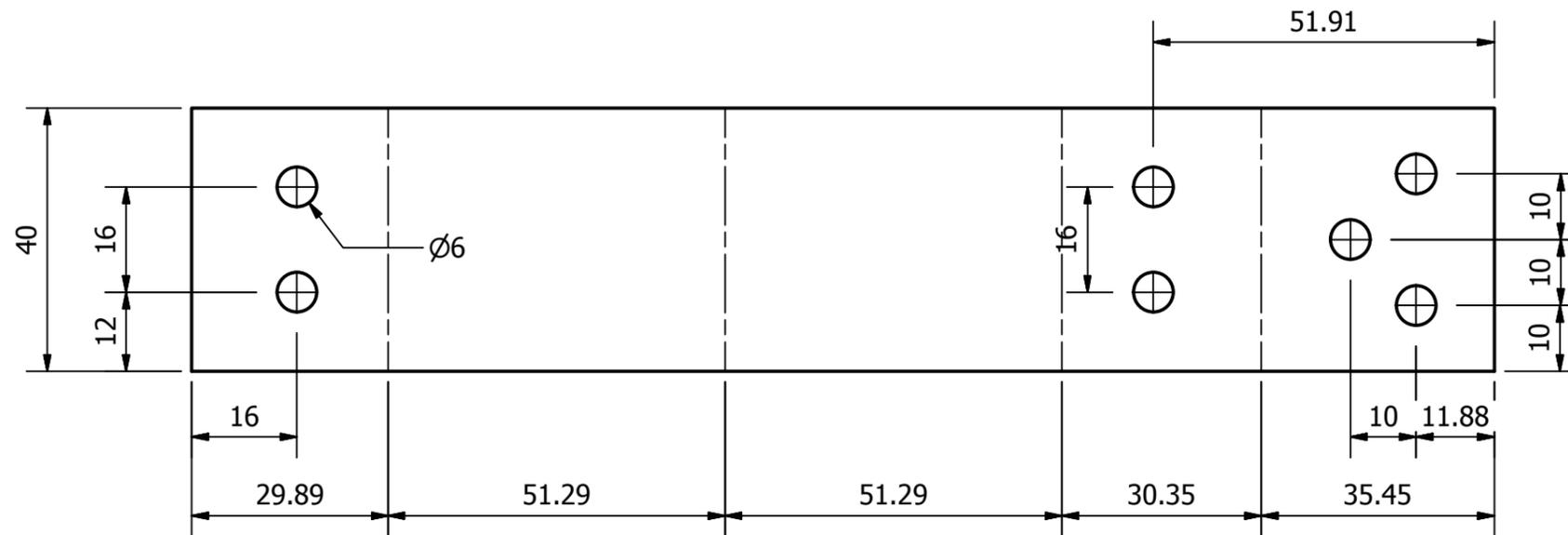
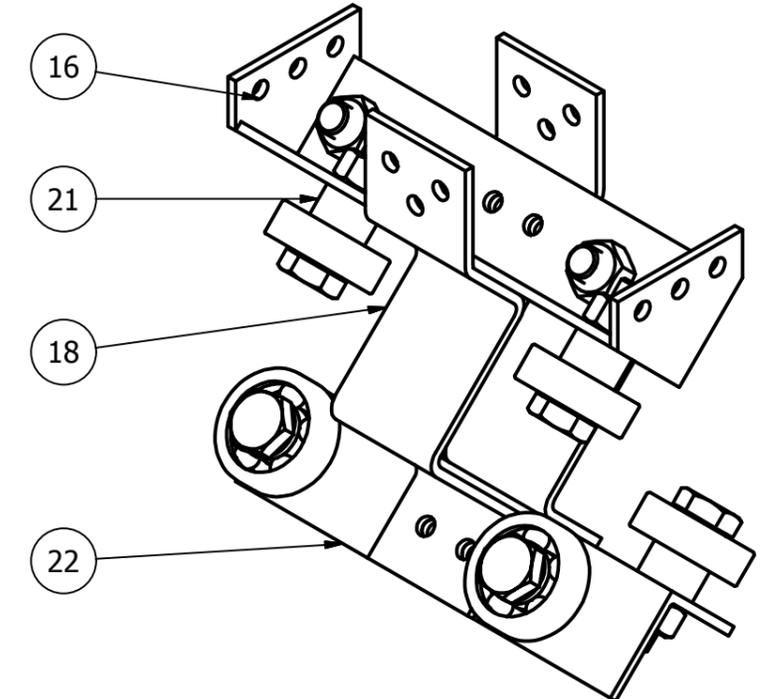
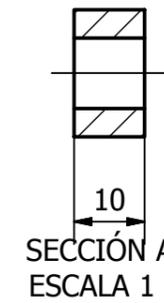
22 Ángulo L35x150
Escala 1:1



16 Topes rulinas
Escala 1:1



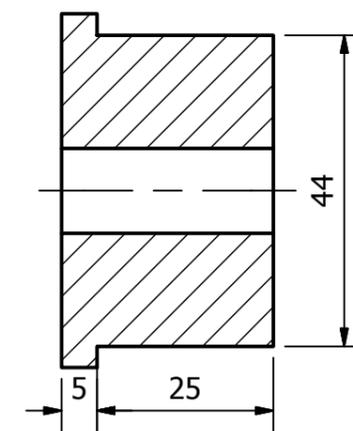
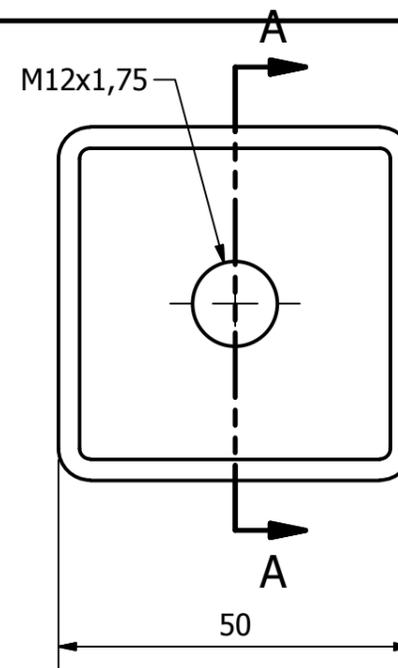
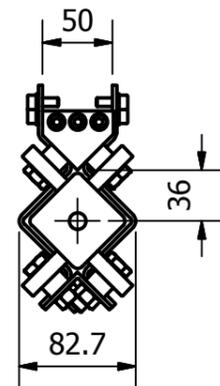
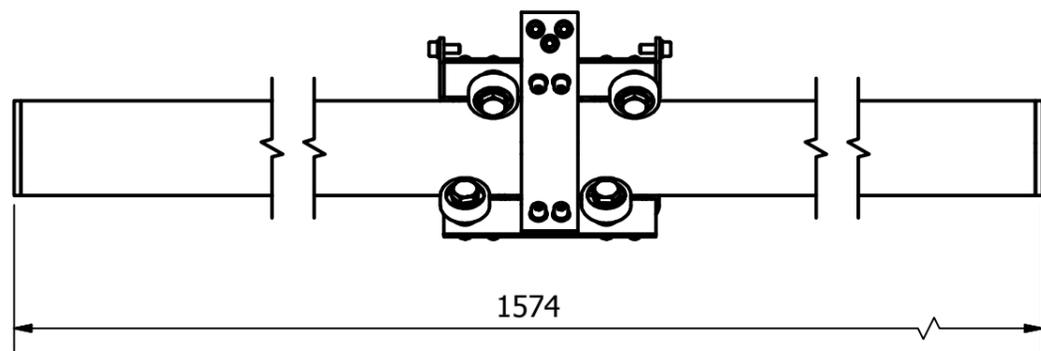
21 Bocin espaciador rodamiento
Escala 1:1



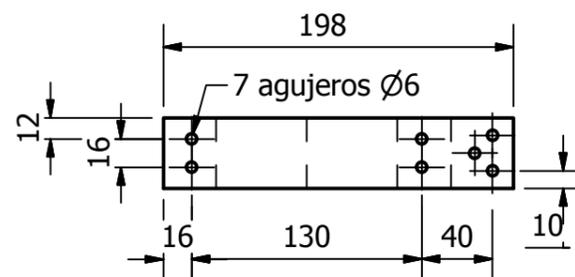
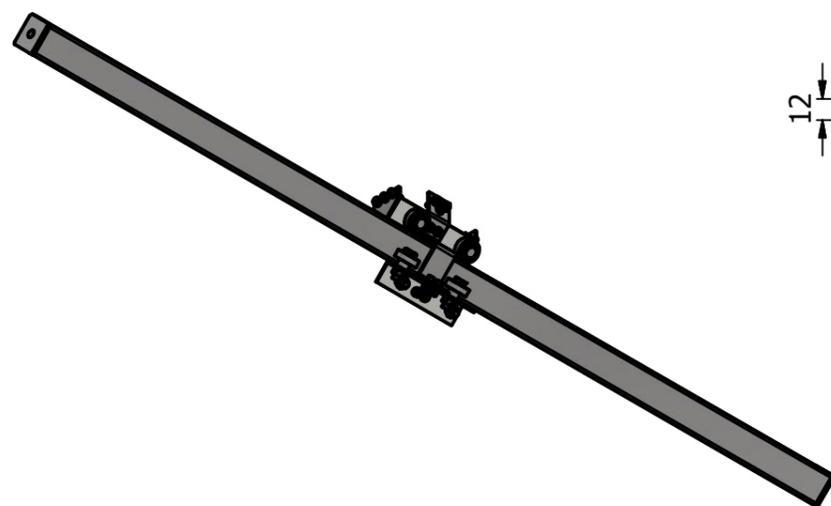
18 Platina de ensamble rulina
Escala 1:1

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

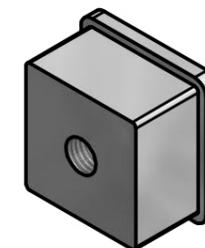
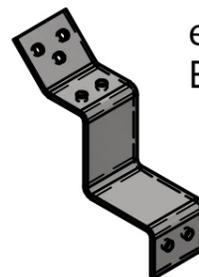




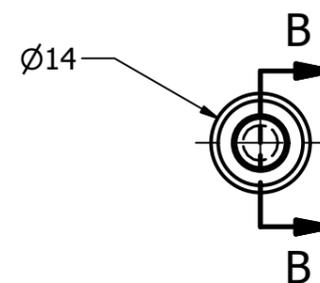
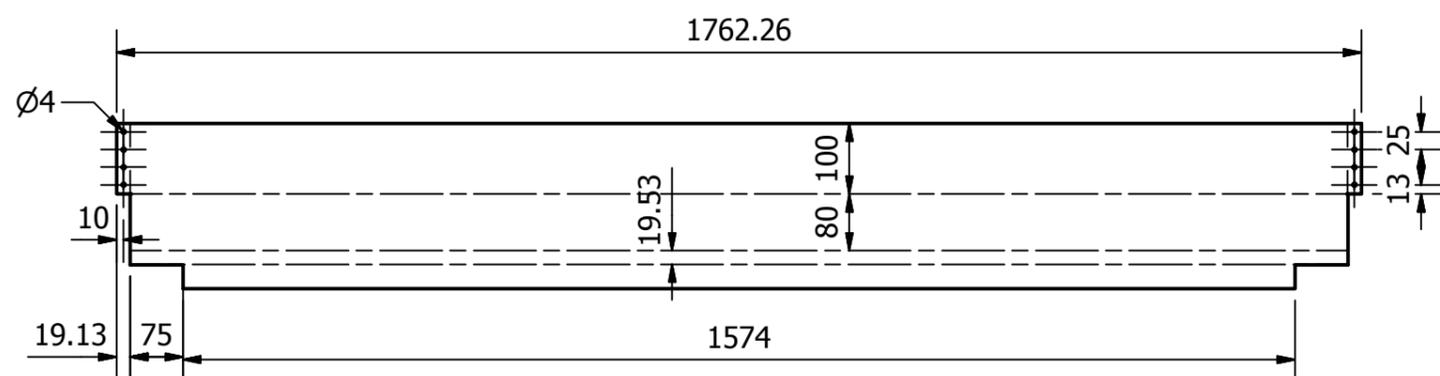
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1



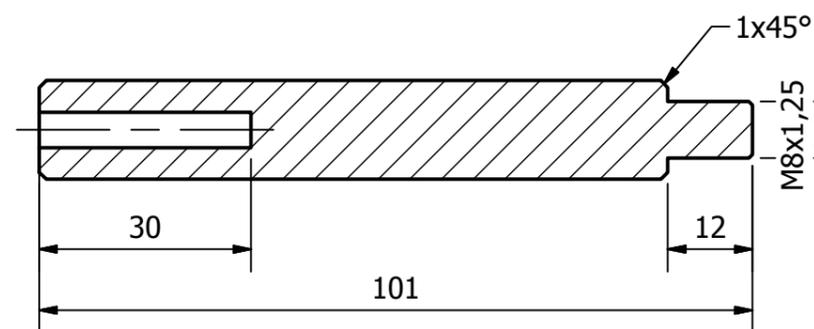
18 Platina de ensamble rulinas
espesor 4mm
Escala 1:4



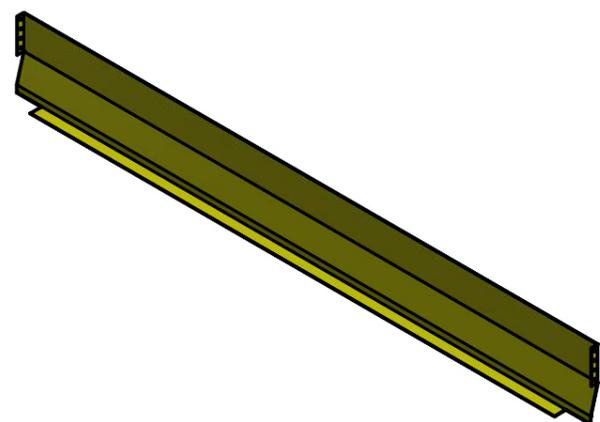
3 Tapones guias rulinas
Escala 1:2



7 Espaciador teflon
Escala 1:1



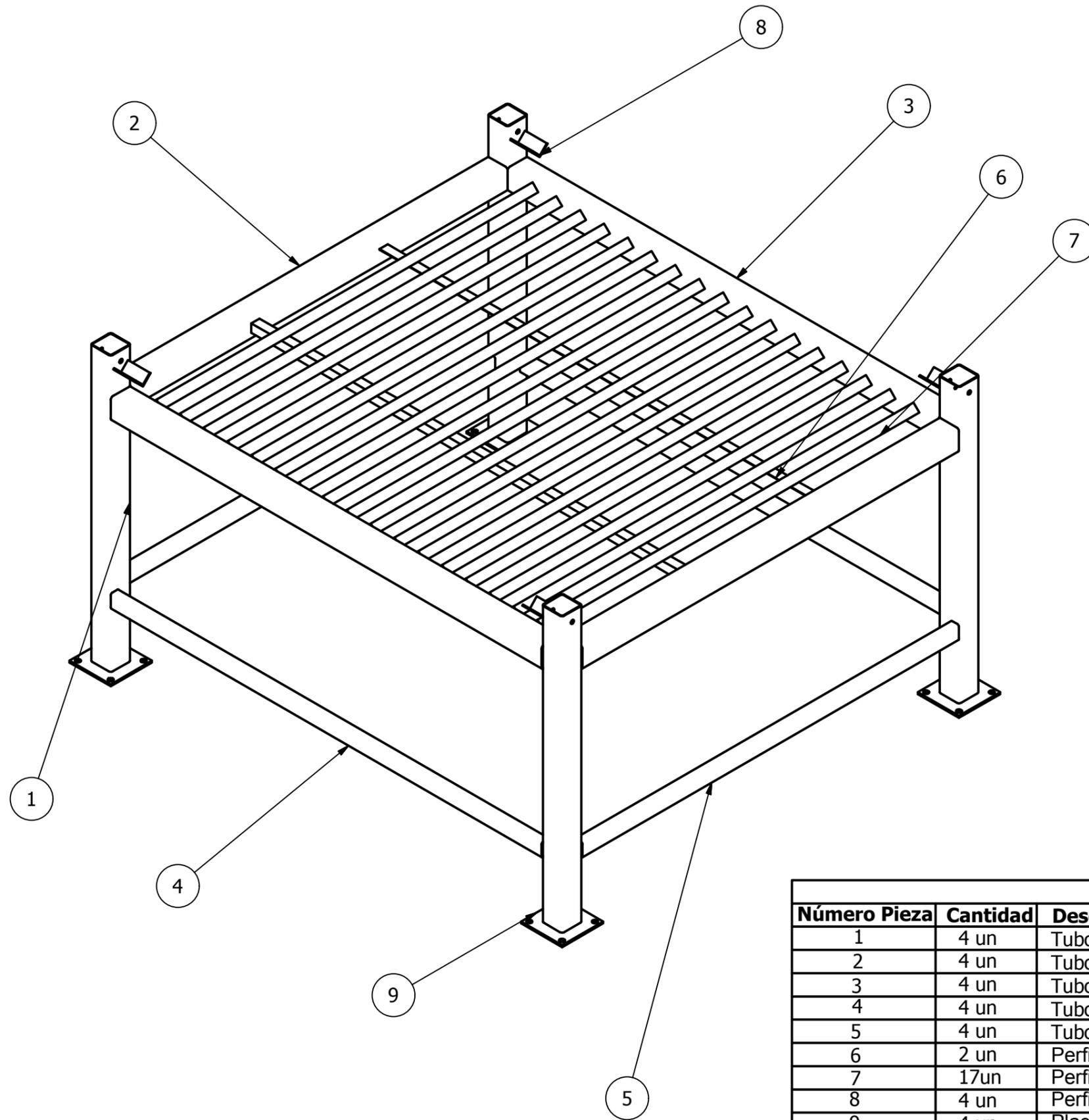
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 1



13 Protector eje Y
Escala 1:15

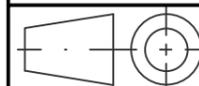
| | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|---------------|------------------------------|-------------------|
| | Proyecto/ Materia Integradora | | Nombre | No.° 14 |
| | Fecha | Dibujado por: | Mirallas Kevin /Portes Pedro | |
| | 02/09/2015 | Aprobado por: | MSc. Jorge Marcial | |
| Escala: 1:1 | 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

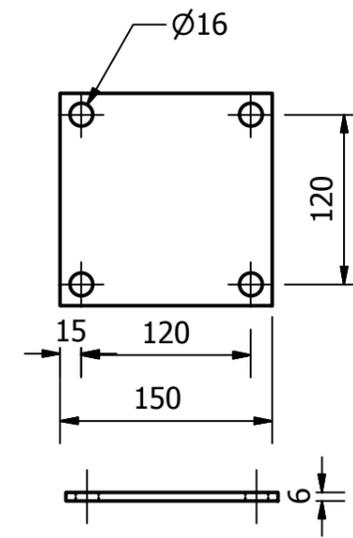
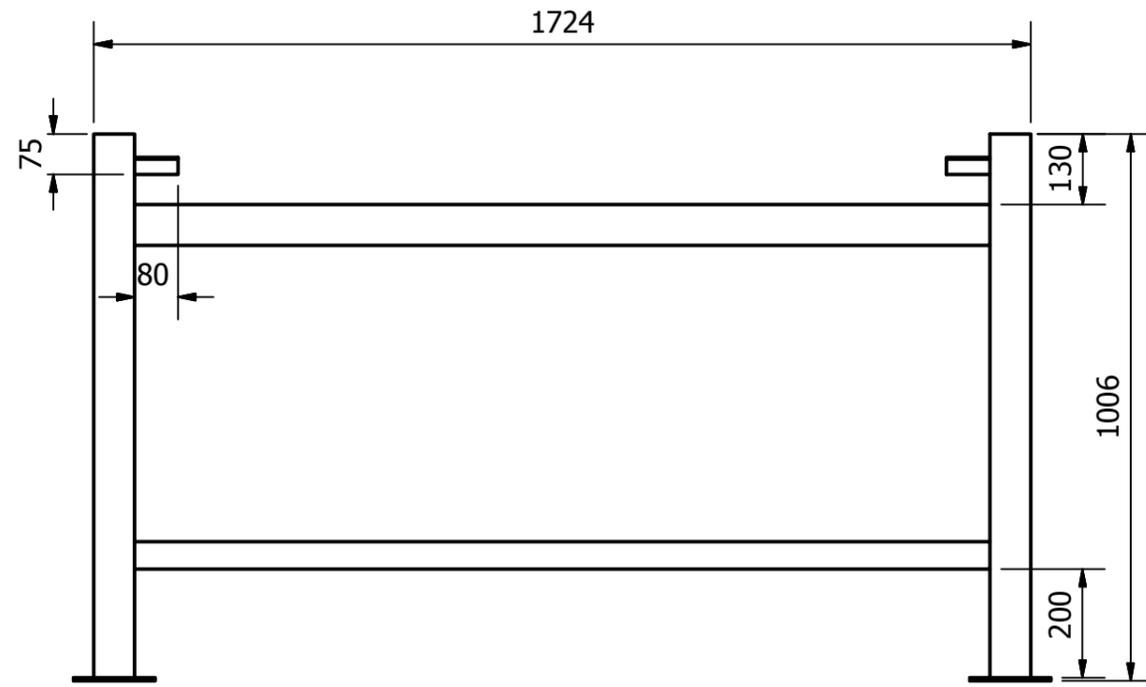
2

Escala:

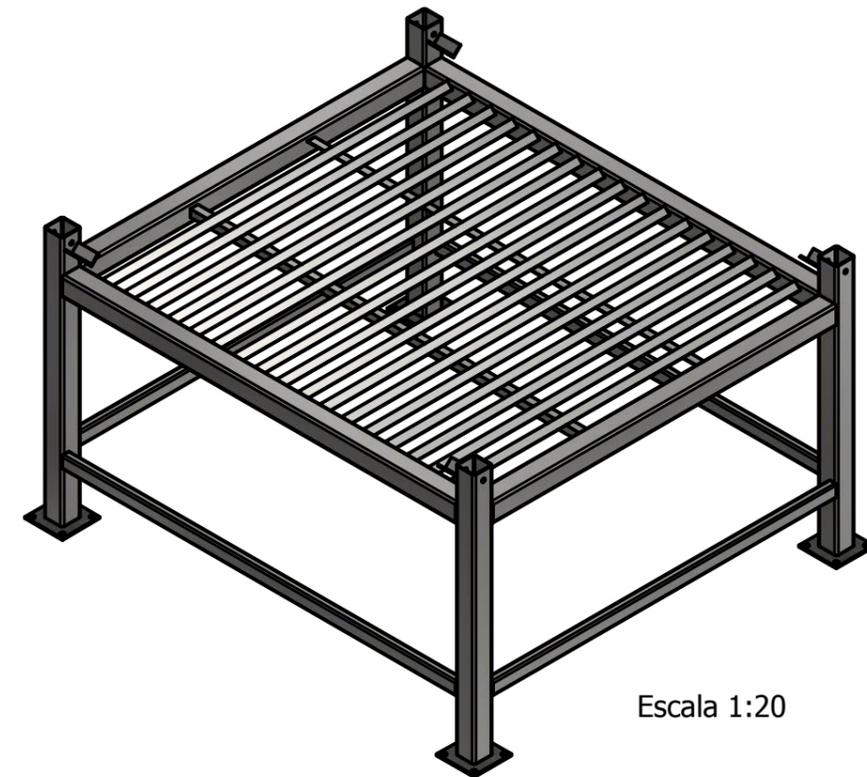
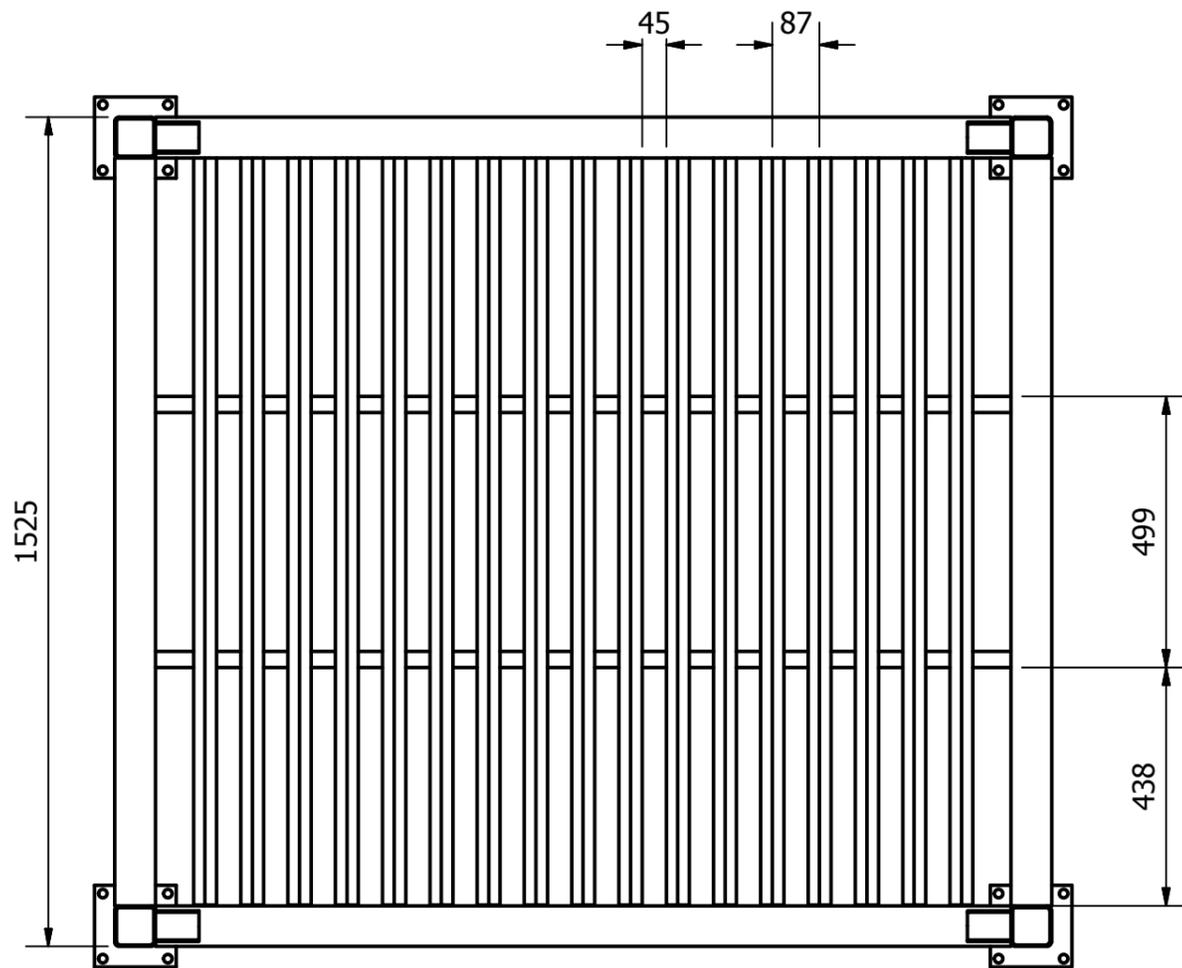
1:12

Conjunto mesa de trabajo





⑨ Placa base
Escala 1:5



Escala 1:20

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

