

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Automatización de una máquina cortadora plasma para materiales metálicos de  
espesores entre 1 y 50 mm.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**AUTOR:**

**Leonidas Israel Perez Peña**

**ASESORES:**

Mg. Ing. César Antonio Lengua Huertas

Ph. D. Ing. Julio César Tafur Sotelo

**Lima, abril del 2020**

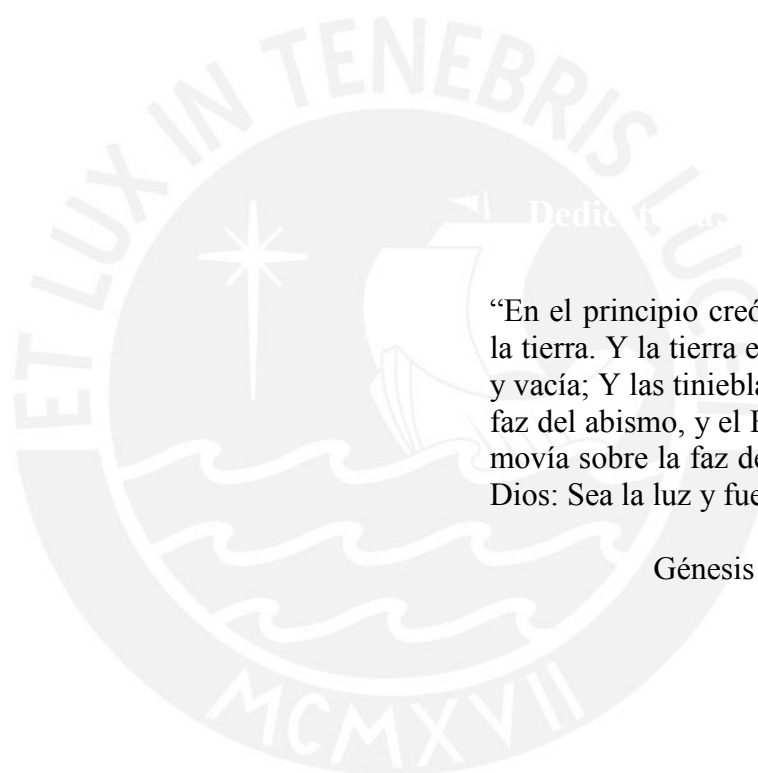
## Resumen de la tesis

En el sector de metal mecánica el trabajo de corte de metales es realizado en condiciones de labores peligrosas y hostiles para los técnicos u operarios que la realizan, por lo cual se busca la automatización del proceso mediante un sistema mecatrónico.

El trabajo realizado consiste en el diseño de una máquina que automatiza el corte plasma de láminas de acero de espesores variables, tubos, perfiles y elementos de máquinas, mediante una mesa de movimientos cartesianos y una cortadora plasma manual la cual se acopla al cabezal de corte. Para el diseño mecatrónico y obtención de requerimientos se consultó a los dueños y gerentes de talleres de trabajo metal- mecánico sobre los trabajos de corte que realizan y sus necesidades particulares. A esto se suman los requerimientos de ingeniería propuestos para obtener una diferenciación frente a equipos ya existentes en el entorno.

Después del diseño se verifica que las ventajas competitivas propuestas de la máquina a diseñar como el espacio que ocupa y la no liberación de emisiones gaseosas son posibles más suman al costo final una cantidad que supera el admisible para ser adquiridos por los emprendedores. Por otro lado su principal característica es el funcionamiento automático efectivo para el corte de figuras complejas o que requieren exactitud mayor a la que se obtiene con el pulso del operario.

Se concluye que es posible la fabricación de máquina y sistemas más eficientes o con características más deseables pero para que sea rentable esta mejora y no afectar el precio máximo que pagarían los clientes se debe pensar en producciones de miles de máquinas y procesos de producción normalizados y automáticos.



“En el principio creó Dios los cielos y la tierra. Y la tierra estaba desordenada y vacía; Y las tinieblas estaban sobre la faz del abismo, y el Espíritu de Dios se movía sobre la faz de las aguas. Y dijo Dios: Sea la luz y fue la luz”

Génesis 1:1-3



“Dad gracias en todo porque esta es la voluntad de Dios para con vosotros en Cristo Jesús.”


1 Tesalonicenses 5:18

### TEMA DE TESIS

<b>PARA OPTAR</b>	: Título profesional de ingeniero mecatrónico
<b>TEMA</b>	: Automatización de una máquina cortadora plasma para materiales metálicos de espesores entre 1 y 50 mm.
<b>ÁREA</b>	: Ingeniería mecatrónica - Automatización industrial
<b>ASESOR</b>	: Mg. Ing. César Antonio Lengua Huertas
<b>CO-ASESOR</b>	: Ph. D. Ing. Julio César Tafur Sotelo
<b>ALUMNO</b>	: Leonidas Israel Pérez Peña - Código: 20111051
<b>FECHA</b>	: 10/06/2019
<b>MÁXIMO</b>	: 100 páginas

El trabajo, en el sector metal-mecánico, disminuye en riesgo y peligrosidad mediante el uso de sistemas mecatrónicos; no obstante, el costo de implementación dificulta su acercamiento a talleres e industrias emergentes. En el presente trabajo se considera el proceso de corte con plasma de metales: Se diseñará una máquina que automatice este trabajo y permita obtener el corte con la calidad requerida y seguridad íntegra para el operario, que permitan la síntesis entre los factores técnicos y económicos que finalmente conduzca a la fabricación y ensamble del equipo a un precio que guarde relación directa con las utilidades que generen a estos usuarios.

El objetivo general es el diseño mecatrónico de una máquina modular para automatizar el proceso de corte plasma de tal forma que se adapte a diferentes entornos de trabajo especializados. Entre los objetivos específicos se tiene: El diseño mecatrónico del cabezal de corte mediante el acople del terminal de una cortadora plasma comercial seleccionada, el diseño de la mesa de trabajo y de los sistemas de movimiento del cabezal, el sistema de acondicionamiento y distribución de energía eléctrica, el sistema de control de las variables del proceso y el sistema de comunicación tanto el interno entre los dispositivos del autómatas y externo entre el usuario y la máquina. Estos cinco sistemas, de forma coordinada, dirigirán y controlarán el proceso.

V. B. 

  
V. B.  
César Lengua  
20/6/19

## Índice del contenido

Resumen del trabajo .....	v
Índice de figuras .....	ix
Índice de tablas .....	xi
Índice de símbolos.....	xii
<b>Capítulo 1: Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemática del corte por plasma: .....	1
1.2 Solución de automatización propuesta.....	5
1.3 Objetivos para mejora de la calidad y seguridad en el corte: .....	6
1.3.1 Objetivo general .....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación de la propuesta de automatización: .....	7
1.5 Alcance del trabajo de diseño: .....	8
<b>Capítulo 2: Antecedentes al diseño del automatizador</b> .....	<b>9</b>
2.1 Explicación del proceso de corte plasma: .....	9
2.2 Estado del arte de las tecnologías de corte de metales.....	10
2.2.1 Tipos de tecnologías para realizar el corte de metales: .....	11
2.2.2 Prototipo de sistemas automáticos de posicionamiento cartesiano .....	14
2.2.3 Tecnologías de corte plasma especiales: .....	16
2.2.4 Patentes de tecnología de aplicaciones en máquina disponibles en el mercado.17	
2.2.5 Máquinas cortadoras plasma automáticas disponibles en el mercado. ....	20

<b>Capítulo 3: Diseño del automatizador del corte plasma</b> .....	23
3.1 Requerimientos de ingeniería.....	23
3.2 Entradas y salidas del proceso de corte y estructura de funciones:.....	29
3.2.1 Problema general:.....	30
3.2.2 Problemas parciales:.....	30
<b>Capítulo 4: Cortadora plasma automática para acero</b> .....	33
4.1 Presentación del funcionamiento de la máquina:.....	33
4.2 Subsistemas y componentes de trabajo.....	41
4.2.1. Sistema de posicionamiento del cabezal de corte.....	43
4.2.2. Sistema de mantenimiento, limpieza y absorción de emisiones y partículas....	46
4.2.3. Sistema de control de altura y generación de antorcha.....	47
4.2.4. Sistema de verificación y seguridad.....	50
4.2.5 Sistema de control general.....	51
4.2.6. Sistema de energía eléctrica.....	52
4.2.7 Sistema de administración de información.....	65
4.3 Explicación de construcción y ensamble de la máquina.....	66
4.3.1 Explicación de unión de componentes mecánicos y eléctricos.....	66
4.3.2 Especificaciones técnicas de la cortadora plasma manual a automatizar.....	73
4.4 Costos de implementación de la máquina propuesta.....	76
4.5 Hoja de datos y especificaciones de la cortadora CP-50.....	78
Conclusiones y recomendaciones.....	79
Bibliografía.....	80

## Índice de figuras

	Pág.
<b>Figura 2.1</b> Generación del plasma.....	10
<b>Figura 2.2</b> Cabezales de corte para máquinas.....	11
<b>Figura 2.3.1</b> Arquitectura de comunicación anterior.....	13
<b>Figura 2.3.2</b> Arquitectura de comunicación actual.....	13
<b>Figura 2.3.3</b> Arquitectura de comunicación de la tarjeta principal de la máquina CNC..	14
<b>Figura 2.4</b> Máquina cortadora híbrida.....	16
<b>Figura 2.5</b> Corte plasma en posición vertical.....	17
<b>Figura 2.6</b> Patente de máquina cortadora plasma.....	18
<b>Figura 2.7</b> Patente de sistema de enfriamiento para sistemas de soldadura.....	20
<b>Figura 3.1</b> Entradas y salidas del sistema.....	30
<b>Figura 3.2</b> Estructura de funciones del sistema integrado .....	32
<b>Figura 4.1</b> Vista isométrica del sistema integrado Plano E0-A0.....	34
<b>Figura 4.2.1</b> Sistema integrado Plano E0-A0 (a) Vista superior.....	35
<b>Figura 4.2.2</b> Rejilla de apoyo y plancha de acero.....	36
<b>Figura 4.2.3</b> Sistema integrado Plano E0-A0 (b) Vista frontal.....	36
<b>Figura 4.2.4</b> Partes y componentes del sujetador de antorcha y panel de control.....	37
<b>Figura 4.2.5</b> Sistema integrado Plano E0-A0 (c) Vista lateral derecha.....	38
<b>Figura 4.2.6</b> Bomba centrífuga, tolva de recepción de agua .....	38
<b>Figura 4.2.7</b> Sistema de ventilación y separación de partículas.....	39
<b>Figura 4.2.8</b> Cobertor exterior de seguridad.....	39
<b>Figura 4.3</b> Diagrama de bloques del sistema integrado.....	40
<b>Figura 4.4.1</b> Elementos del sistema Motor Y y del sistema Guía X.....	41
<b>Figura 4.4.2</b> Vista frontal del sistema de movimiento Y del sensor de aperturas.....	41
<b>Figura 4.4.3</b> Estructura de soporte y protección de los sistemas de movimiento.....	42
<b>Figura 4.5</b> Motor a pasos PD60-3-1161.....	43
<b>Figura 4.6</b> Sensor de límite GLLA01F.....	44
<b>Figura 4.7</b> Rodamiento DIN 625-1.....	45

<b>Figura 4.8</b>	Ventilador centrífugo.....	46
<b>Figura 4.9</b>	Sistema de absorción de emisiones y partículas.....	47
<b>Figura 4.10</b>	Componentes del sistema del sistema de control de altura.....	48
<b>Figura 4.11</b>	Diagrama de bloques del sistema de control de altura.....	49
<b>Figura 4.12</b>	Sensor de temperatura ES120 0024.....	50
<b>Figura 4.13.1</b>	Diagrama de flujo del sistema general.....	51
<b>Figura 4.13.2</b>	Diagrama de flujo de función: lectura de datos.....	52
<b>Figura 4.13.3</b>	Diagrama de flujo de función: Movimiento guiado.....	53
<b>Figura 4.13.4</b>	Diagrama de flujo de interrupciones y cálculo de parámetros.....	54
<b>Figura 4.13.5</b>	Diagrama de flujo de función: Generar trayectoria.....	55
<b>Figura 4.13.6</b>	Programa CP-50 para el control del corte plasma con un ejemplo.....	60
<b>Figura 4.14</b>	Diagrama de detalle del microcontrolador ATmega88.....	61
<b>Figura 4.15</b>	Diagrama de detalle del adaptador TTL-232R-5V-PCB.....	62
<b>Figura 4.16</b>	Tarjeta de control TMCM-1161.....	63
<b>Figura 4.17</b>	Diagrama de bloques de la tarjeta de control TMCM-1161.....	63
<b>Figura 4.18</b>	Convertidor AC-DC LCL 500 PS24.....	64
<b>Figura 4.19</b>	Proceso de información.....	65
<b>Figura 4.20.1</b>	Esquema de conexiones de componentes eléctricos y electrónicos.....	68
<b>Figura 4.20.2</b>	Conexiones de motor PD60-3-6161 y controlador TMCM 6011.....	69
<b>Figura 4.21.1</b>	Conexiones la cortadora y el controlador CNC XPTHC100V.....	70
<b>Figura 4.21.2</b>	Diagrama esquemático de etapa de potencia.....	71
<b>Figura 4.21.3</b>	Diagrama esquemático de etapa de control.....	72
<b>Figura 4.22</b>	Máquina generadora de potencia plasma y terminales de corte.....	73
<b>Figura 4.23</b>	Conectores para automatizar la cortadora plasma.....	74

## Índice de tablas

		Pág.
<b>Tabla 2.1</b>	Comparación entre tecnologías de corte: plasma, laser y agua a presión...	12
<b>Tabla 2.2</b>	Resumen de diseño de la mesa para una máquina de corte con plasma.....	15
<b>Tabla 2.3</b>	Datos destacados de la patente de la máquina de corte con plasma.....	19
<b>Tabla 2.4</b>	Comparación entre maquinas cortadoras plasma automáticas.....	21
<b>Tabla 3 1</b>	Codificación de requerimientos.....	24
<b>Tabla 3.2</b>	Lista de exigencias.....	24
<b>Tabla 4.1</b>	Características del motor a pasos PD60-3-1161.....	43
<b>Tabla 4.2</b>	Características del sensor GLLA01F.....	44
<b>Tabla 4.3</b>	Cantidad de rodamientos requeridos por eje.....	45
<b>Tabla 4.4</b>	Características del rodamiento 6001-2Z seleccionado.....	45
<b>Tabla 4.5</b>	Características del ventilador centrífugo.....	46
<b>Tabla 4.6</b>	Características del sistema de control de altura y divisor de voltaje.....	48
<b>Tabla 4.7</b>	Características del Sensor de temperatura ES120 0024.....	50
<b>Tabla 4.8</b>	Características principales de selección del microcontrolador ATmega88..	61
<b>Tabla 4.9</b>	Características principales de selección del adaptador.....	62
<b>Tabla 4.10</b>	Parámetros del TMCM 1161.....	63
<b>Tabla 4.11</b>	Potencia eléctrica requerida por componentes.....	64
<b>Tabla 4.12</b>	Elementos de sujeción o unión seleccionados.....	66
<b>Tabla 4.13</b>	Lista de planos de ensamble y fabricación.....	67
<b>Tabla 4.14</b>	Señales de control del modelo Powermax 125®.....	74
<b>Tabla 4.15</b>	Especificaciones técnicas del modelo Powermax 125.....	75
<b>Tabla 4.16</b>	Datos de operación del modelo Powermax 125.....	75
<b>Tabla 4.17</b>	Presupuesto de fabricación de proyecto de corte automático.....	76
<b>Tabla 4.18</b>	Materiales posibles de utilizar para le corte plasma.....	78
<b>Tabla 4.19</b>	Tipos de cabezales posibles de acoplar a la máquina.....	78

## Índice de símbolos

Se utilizan las siguientes normas DIN para la definición y designación de símbolos

Unidades	DIN 1301
Signos matemáticos	DIN1302
Notación para fórmulas en general	SI 2019
Masa, peso, fuerza de peso, aceleración de caída	DIN 1305
Rotación. Hélice. Ángulo	DIN 1312
Densidad	DIN 1306
Presión	DIN 1314
Redondeado de números	DIN 1333
Estado normal Volumen normal	DIN 1343
Notación en resistencia de materiales	DIN 1350
Notación para fórmulas en la construcción de máquinas eléctricas	DIN 40121

Los símbolos no indicados se proponen de forma personal para este documento

### Unidades de medida (Según DIN 1301)

Longitud	:	m (Metro)
Superficie	:	m <sup>2</sup> (Metro cuadrado)
Volumen	:	m <sup>3</sup> (Metro cúbico)
Ángulo plano	:	rad (Radiante)
Tiempo	:	s (segundo)
Frecuencia	:	Hz (Hertz)
Masa	:	Kg (Kilogramo)
Temperatura	:	°K (Grado Kelvin)
	:	°C (Grado Celsius)
Fuerza	:	N (Newton)
Presión	:	N/m <sup>2</sup> (Newton/metro cuadrado)

Energía, trabajo, cantidad de calor	:	J (Joule)
Potencia	:	W (Watt)
Viscosidad dinámica	:	N.s/m <sup>2</sup>
Viscosidad cinemática	:	m <sup>2</sup> /s
Intensidad de corriente	:	A (Ampere)
Tensión eléctrica	:	V (Volt)
Resistencia eléctrica	:	$\Omega$ (ohm)
Conductividad	:	S (Siemens)
Capacidad eléctrica	:	F (Farad)

### Símbolos en fórmulas (según DIN 1304)

$\alpha, \beta, \gamma$	:	ángulo
l	:	longitud
b	:	anchura
h	:	altura
r, R	:	radio
d, D	:	diámetro
A	:	Área
S	:	superficie
V	:	volumen
t	:	tiempo
$\omega$	:	Velocidad angular
$\alpha$	:	Aceleración angular
g	:	aceleración de la gravedad
T	:	duración del periodo
F	:	frecuencia
n	:	número de revoluciones
m	:	Masa
$\rho$	:	densidad
J	:	momento de inercia
F	:	fuerza

G	:	fuerza de peso
M	:	momento
P	:	presión
$\sigma$	:	tensión de tracción o compresión
$\tau$	:	tensión tangencial, tensión de cortadura
E	:	módulo de elasticidad
G	:	módulo tangencial
I	:	momento de inercia superficial
M	:	coeficiente de rozamiento
$\eta$	:	viscosidad dinámica
$\nu$	:	viscosidad cinemática
$\gamma$	:	tensión superficial
E	:	energía
P	:	potencia
T	:	temperatura Kelvin
t	:	temperatura Celsius
A	:	conductividad térmica
S	:	entropía
s	:	entropía específica
H	:	entalpía
h	:	entalpía específica
R	:	constante de gas
Q	:	cantidad de carga eléctrica
U	:	tensión eléctrica
C	:	capacidad eléctrica
R	:	resistencia eléctrica, resistencia efectiva

#### Subíndices:

máx	:	máximo
min	:	mínimo
zul* (adm)	:	admisible
t	:	componente tangencial
r	:	relativo, radial

$n$	:	componente normal
$a^*$ (e)	:	exterior
$i$	:	interior
$0$	:	valor característico, valor inicial valor de reposo

#### Notación de resistencia de materiales (según DIN 1350)

$\sigma$	:	tensión normal
$\tau$	:	tensión tangencial
$\sigma_{adm}$	:	tensión normal admisible
$\tau_{adm}$	:	tensión tangencial admisible
$v^*$ (F.S.)	:	factor de seguridad
$\sigma_F$	:	tensión en el límite de fluencia
$\sigma_B$	:	resistencia a la tracción
$E$	:	módulo de elasticidad
$G$	:	módulo de elasticidad transversal
$M$	:	Momento de una fuerza
$M_t$	:	momento de torsión
$M_b$	:	momento de flexión
$i$	:	radio de inercia
$W$	:	momento resistente
$S$	:	momento estático de una superficie
$J_p$	:	momento de inercia polar
$J$	:	momento de inercia superficial

#### Símbolos de uso particular

$c_{1,2}$	:	factor de corrección de proporción entre $D$ y $d$
$c_c$	:	confiabilidad estadística
$c_{carg}$	:	factor de carga
$c_s$	:	coeficiente de superficie
$c_t$	:	coeficiente de tamaño

$C_{temp}$	:	coeficiente de temperatura
$R_t$	:	profundidad de rugosidad
$R_z$	:	profundidad promedio de la rugosidad
$\beta_k$	:	factor efectivo de concentración de esfuerzos
$\beta_{kflexión}$	:	$\beta_k$ para esfuerzos que ocasionan flexión
$\beta_{k(2,0)}$	:	$\beta_k$ para $D/d = 2$ ,



## Capítulo I: Introducción

En este capítulo se presenta la información que permite comprender el problema que se desea afrontar, sus causas, los objetivos, justificación y alcance.

### 1.1 Problemática del corte por plasma:

El trabajo de producción en el sector de metal-mecánica requiere de labores y tareas que demandan tanto de esfuerzo físico como de soportar las adversidades del ambiente de trabajo: calor de radiación del sol, objetos punzocortantes, materiales a temperaturas que producen quemaduras al contacto físico (productos de los procesos de soldadura o corte), sonidos de alta intensidad alrededor de 85dB, sustancias y gases ácidos e inflamables (ácido clorhídrico, refrigerantes y combustibles), caída de objetos desde alturas entre 2 y 10 [m]. **(Valores promedio en talleres metal mecánico visitados)**

El trabajo de corte de perfiles y componentes metálicos según una forma requerida es una labor principal dentro de este campo. Entre las tecnologías disponibles más recientes para esta tarea se encuentra el corte por arco plasma, por haz de láser y agua presurizada con partículas abrasivas.

En el trabajo con máquinas de corte por plasma se presentan los siguientes riesgos:

- 1) Cercanía con **temperaturas de hasta 12000 °C** en la boquilla de la antorcha.
- 2) Exposición a **gases contaminantes** suministrados o producidos durante el corte como anhídridos carbónicos, óxidos nitrosos, fosgenos (producido con disolventes clorados), amianto, isocianatos, formaldehidos, fluoruros y **ozonos** (Osolan, 2009, p. 9-12).
- 3) Contacto con **óxidos metálicos** de hierro, manganeso, bronce o aluminio y contaminantes presentes en recubrimientos superficiales como óxidos de zinc, plomo y cromo (Osolan, 2009, p. 9-10).
- 4) Liberación de **luz con intensidades dañinas** a los ojos y piel. (Hypertherm, 2017, p. SC-6)
- 5) **Dispersión en los contorno de escorias** y partículas a temperaturas de fundición.
- 6) Riesgos de **electrocuciones** o descargas eléctricas y de **explosión** de gases combustibles en los alrededores (Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España, 1998, p. 2)
- 7) Riesgos de amagos o **incendios** ocasionados por las elevadas temperaturas entre 50 y 1000C° de los metales en el proceso de corte y de las partículas dispersadas en los contornos las cuales pueden elevar a la temperatura de ignición a los elementos con los que está en contacto. (Hypertherm, 2017, p. SC-4)

Si el operario se expone de forma constante a este ambiente sin **equipos de protección personal** como casco de soldar, mascarillas, mandil y guantes de cuero puede ocasionarle efectos patológicos como irritación tractorespiratorias, neumoconiosis o asma, daños físicos tales como cortes, quemaduras, electrocuciones (Osolan, 2009, p. 19-23).

En relación al corte plasma no automatizado, primero se trazan las formar determinadas sobre los metales a cortar, se requiere para esta labor de conocimientos de dibujo técnico, geometría descriptiva y cálculos geométricos y trigonométricos. Luego mediante reglas, compases, plantillas con formas definidas o guiado con el cuerpo se dirige la trayectoria de la antorcha plasma la cual funde el metal y expulsa las partículas hasta la profundidad de tiene

capacidad de cortar, de forma común entre 1 y 15 mm y en casos especiales hasta 35mm. Para esta tarea se necesita de una precisión entre 0.5 y 1mm en el pulso de la persona, para realizar el corte con medidas tolerables en su mercado de clientes. Es necesario conocer las técnicas para el encendido de la antorcha plasma, para iniciar el corte de la pieza, para mantener la calidad del acabado superficial del contorno durante la marcha y para retirar la antorcha plasma de la pieza. Entre la información técnica requerida se conocen los parámetros de altura de posicionamiento de la boquillas del electrodo (mm), intensidad de corriente (A), presión del gas (MPa) y velocidad de corte adecuadas(mm/s) para obtener la calidad superficial requerida (um).

Después del corte plasma, debido a algunas irregularidades en el corte, se requiere de un proceso de pulido o rectificado como limado, esmerilado, torneado o fresado. Finalmente se obtienen las medidas y tolerancias solicitadas.

Existen cortadoras plasma automatizables que permite el control CNC mediante el cual se puede variar la presión de los gases, la altura de corte, la tasa de división de corriente, el encendido y apagado de la antorcha en tiempo real, con estos equipos se obtienen las calidades requeridas para el uso inmediato de la piezas cortadas sin procesos de acabado adicionales, no obstante se requieren de conocimientos de programación en lenguajes EIA-ISO lo que implica la contratación de una persona capacitada en esta área y la disposición de un área de trabajo dedicada entre 1 y 5 m<sup>2</sup>.

Las herramientas disponibles en el mercado que automatizan el corte plasma y disminuyen la exposición de los operarios a los peligros en el ambiente de trabajo no han sido adquiridos por la mayoría de talleres metal-mecánicos de pequeñas y microempresas (MYPES) situados

en la ciudad capital. Se realizó una encuesta en algunos centros de trabajo ubicados en la Av. Guillermo Dansey, Cercado de Lima, para conocer las posibles causantes de donde se obtuvo la siguiente información:

1. Las máquinas poseen un costo mayor del que podrían pagar
2. Emiten gases, lo cuales no les está permitido por peligro de incendio.
3. Ocupan un espacio mayor del disponible en el taller de trabajo.
4. Requieren de una persona especializada para su uso.

También explicaron que el trabajo que desarrollan es bajo presión y con tiempos de entrega por lo que calibrar o programar una máquina es difícil de sobrellevar con la tensión del trabajo. Otra dificultad importante es el mantenimiento correctivo puesto que se requiere de personal especializado de la empresa fabricante y no se dispone del tiempo suficiente para esperar la llegada de la ayuda o asesoría técnica.

De este modo se concluye que existen máquinas automáticas en venta, pero que poseen procedimientos de control y operación que no son compatibles con el entorno de trabajo de los talleres de metal-mecánica de las pequeñas y microempresas.

En este documento de tesis se propone diseñar una máquina que permita automatizar el corte plasma con cortadoras plasma de uso manual o automatizables, que pueda ser adquirida y funcional para estas empresas.

La máquina a diseñar debe permitir el corte de planchas de espesores variables, tubos redondos o cuadrados, perfiles estructurales y elementos de máquinas. En su **funcionamiento**

**automático** recibirá información de una fuente de memoria externa sobre las geometrías, ubicación de las piezas, por el panel de control se indicarán las características del material base; por último, se indicará la posición de inicio de corte. El sistema **determinará la trayectoria** a seguir y cortará las piezas con las formas indicadas.

En su **funcionamiento semiautomático asistido por el operario**, se moverá el cabezal con el teclado del panel de control y se irá **posicionando en los lugares calculados**, luego se indicará la forma a cortar y sus medidas, el sistema mostrará una señal sobre el material base de la geometría ingresada; luego, el sistema procederá con el corte. Se seguirán procesos semejantes para el corte de los tubos, perfiles y elementos mecánicos con la ayuda de **accesorios de sujeción**.

Se utilizará software **CAD/CAM** para el dibujo de las formas solicitadas y generación del archivo con la ubicación de las piezas en un plano cartesiano.

## **1.2 Solución de automatización propuesta:**

Se requiere mejorar y facilitar el trabajo a las personas con el diseño de máquinas y herramientas que puedan ayudar a realizar esta actividad. Se afirma que con el uso de una máquina automatizadora del corte plasma con las formas de control y operación automática y semiautomática asistida por el operario, se podrá realizar el corte de piezas de acero de formas complejas y con las exigencias funcionales que se requieren en las pequeñas y microempresas.

### 1.3 Objetivos para mejora de la calidad y seguridad en el corte:

Se presentan los siguientes objetivos a cumplir en el presente trabajo académico.

#### 1.3.1 Objetivo general:

Realizar el diseño mecatrónico de una máquina para automatizar el proceso de corte plasma a partir de una **cortadora plasma seleccionada** de control manual o de uso mixto: manual y automatizable con el acople de un controlador externo.

#### 1.3.2 Objetivos específicos:

Se presentan los objetivos específicos los cuales son los pasos a cumplir en el presente trabajo académico.

- 1) Definir el problema como tal y sus requerimientos
- 2) Diseñar un sistema mecánico que desplace el cabezal de corte sobre toda el área de trabajo y permita su movimiento a velocidades necesarias y permita acoplar en su estructura el terminal de una cortadora plasma, debe permitir regular la altura de la boquilla según se necesite.
- 3) Diseñar una mesa de trabajo que permita posicionar las diferentes piezas base, debe poseer resistencia mecánica suficiente para soportar el peso de los mismos, forma ergonómica y segura con estructuras internas para el soporte de accesorios incluyendo un sistema de absorción de gases, partículas generadas desde la antorcha y un sistema de ingreso de líquido refrigerante si requiere el proceso.
- 4) Acondicionar la energía suministrada a la máquina para cada subsistema, diseñar una vía de suministro de energía para cada componente que lo requiere.
- 5) Diseña un sistema de supervisión que verifique el estado de las variables de seguridad principales de la máquina, un subsistema que controlen los actuador y sensores que corresponden a cada sistema mecánico y un sistema que integre los dominios según los requerimientos del trabajo.

6) Diseñar un sistema de comunicación entre el receptor de información, los controladores principales y secundarios y los componentes que transmiten o reciben información, una interfaz humano-máquina que permita al usuario ingresar los parámetros del corte por parte del operario, diseñar algoritmos y procedimientos para interpretar la información recibida y generar la trayectoria a seguir en el caso de funcionamiento automático

7) Estimación de los costos de producción de una unidad del producto.

#### **1.4 Consideraciones de diseño:**

El diseño de la máquina automatizadora propuesta mitiga los riesgos presenten durante el corte plasma y soluciona los inconvenientes presentados para su uso en los talleres de las MYPES.

Se consideran los siguientes aspectos en el diseño de la máquina:

1. Información de geometría y ubicación de las piezas mediante dispositivo de almacenamiento externo o indicado a través del tablero de control
2. Ensamblado a partir de módulos mediante elementos de unión separables.
3. Sistema de absorción de gases, partículas y radiación luminosa emitidos.
4. Cobertura de la antorcha de plasma al contacto con el operario cuando es encendida
5. Protección total de la máquina contra el polvo, agua e impactos.
6. Absorción de la luz emitida hacia el exterior
7. Ingreso de información de geometría y ubicación de las piezas a cortar.
8. Sistema de protección al operario de accidentes y siniestros.
9. Control automático, semiautomático asistido por el operador
10. Corte de planchas, perfiles, tubos y elementos de máquina metálicos
11. Interfaz humano máquina con indicadores de trabajo.
12. Mantenimiento preventivo, correctivo y calibraciones en tiempo breve

Por estas consideraciones el uso de la máquina automatizadora de corte por plasma Acelerará el proceso frente al trabajo manual, disminuirá el contacto del operario con el electrodo y gases emitidos, facilitará la distribución de las figuras y optimización del uso del material base a cortar, disminuirá la intensidad del sonido producido en los talleres mencionados a un nivel aceptable entre 60 y 70 dB (Moreno, 1990, p. 64)

Es importante automatizar este proceso puesto que la industria metal-mecánica realiza el trabajo de corte de metales de forma constante., las piezas que se obtienen permiten la construcción y ensamble de estructuras metálicas de edificaciones, puentes y escaleras como también de piezas y elementos de diferentes formas para el armado de máquinas industriales.

### **1.5 Alcance del trabajo de diseño:**

El proyecto comprende el diseño de una máquina que permita automatizar el trabajo de una cortadora plasma de uso manual, esta última es propiedad del usuario. El terminal generador de la antorcha de la cortadora plasma se acopla en el cabezal de la máquina diseñada.

El diseño de la máquina implica los planos de ensamble, de fabricación, esquemático de conexiones, algoritmos de control, vistas de la interfaz humano-máquina y un dibujo 3D del diseño en conjunto. Se sustentan los planos con una metodología de diseño, cálculos y simulaciones. Se realiza también un presupuesto del costo de implementar la máquina.

Para acelerar el diseño algunos componentes han sido dimensionados por ergonomía y por funcionalidad, no se posee cálculos para sustentarlos. Se resalta que no se realizará la implementación de la máquina ni pruebas de funcionamientos.

## **Capítulo 2: Antecedentes al diseño de la máquina automática propuesta**

Para conocer la información necesaria para realizar la tesis se ha investigado el estado actual del conocimiento del problema en investigaciones, prototipos, patentes y productos, como también una base teórica sobre el tema en las bases de datos disponibles por la universidad y en páginas web, con el propósito de obtener la información más cercana al estado actual del conocimiento.

### **2.1 Explicación del proceso de corte plasma:**

El proceso de generación del plasma se realiza de la siguiente forma: Se conduce aire a elevadas presión por medio de un conducto, en el punto donde se expulsa el aire hay un electrodo el cual mediante corriente eléctrica y un arco voltaico genera un flujo eléctrico desde el electrodo hacia el material a cortar al cual se le ha colocado una conexión de tierra respecto del electrodo para que exista dicho flujo eléctrico. Luego el arco voltaico calienta el aire

expulsado a temperaturas cercanas a 4000 °C por lo que el aire es llevado a un estado llamado plasmático en el cual conduce energía eléctrica y de esta manera permite que la energía siga fluyendo después de alejar el electrodo del material a cortar. El aire a elevada presión y temperatura funde el material a cortar y lo expulsa con la presión del aire. Se muestra en la figura 2.1 un esquema del proceso mencionado.

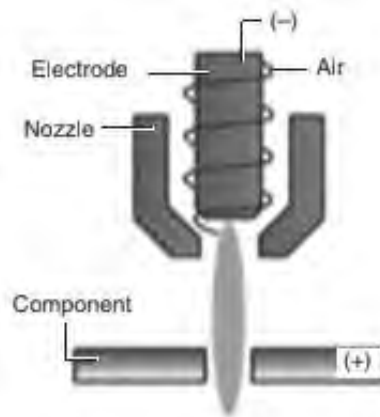


Figura 2. 1 Generación del plasma

Fuente: Molchanova, Bychkov y Chernyayev (2015)

Para realizar el proceso de corte se utiliza plasma generado a partir de aire solo o aire con otros gases como oxígeno, nitrógeno o hidrógeno. Si los materiales a cortar no fueren metálicos no podrá fluir la energía eléctrica y no se podría generar el plasma ni cortar el material, también es necesario considerar la altura del electrodo respecto del material a cortar porque esto influye en el tipo de antorcha generado y este a su vez en la calidad del corte (acabado superficial y grosor del corte).

## 2.2 Estado del arte de las tecnologías de corte de metales

Se presenta un resumen de los artículos revisados sobre tecnologías y máquinas desarrolladas para el corte plasma automatizado y sus respectivas características en el trabajo.

### 2.2.1 Tipos de tecnologías para realizar el corte de metales:

El trabajo de corte de metales según una forma requerida se realiza a diferentes escalas y con diferentes herramientas. Se tiene las máquinas de corte con sierras metálicas, con cizallas, con disco de diferentes materiales (metal y fibra de vidrio), oxicorte, con láser y con plasma. Entre las tecnologías de corte de metales que se ha expandido su uso en el área industrial en los años más recientes tenemos: El corte plasma, corte con agua a presión y corte láser. La tabla 2.1 muestra la comparación entre las tecnologías mencionadas

“Al escoger que proceso de corte se utilizará se debe de considerar: el material, el espesor y la calidad de corte. Para determinar la calidad del corte se considera: Los requerimientos de precisión y exactitud el ángulo en los bordes y los efectos en los contornos del corte.” (Molchanova, Bychkov & Chernyayev, 2015). La figura 2.1 muestra el corte plasma y la figura 2.2 muestra un cabezal de los sistemas de corte por chorro de agua y por láser.

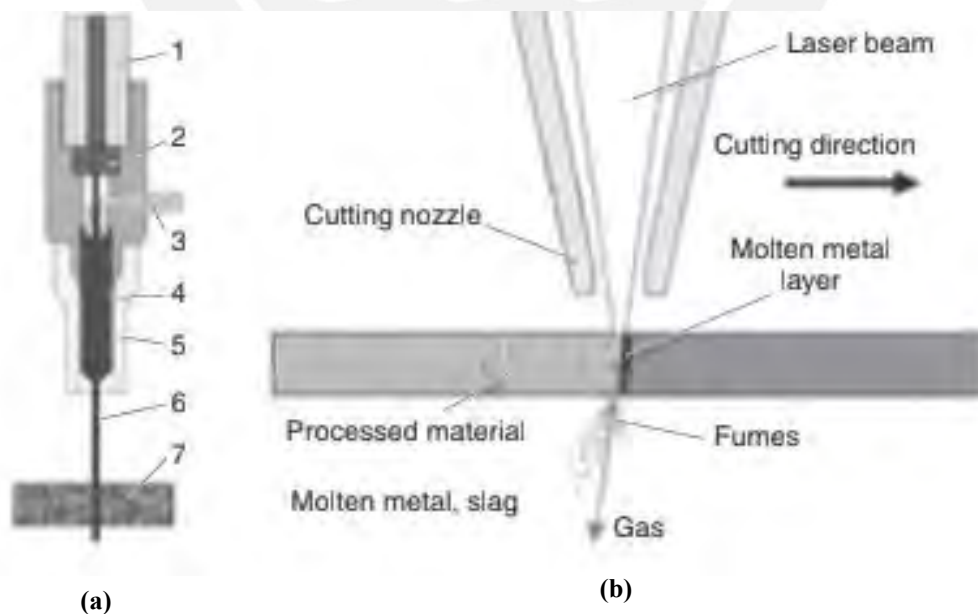


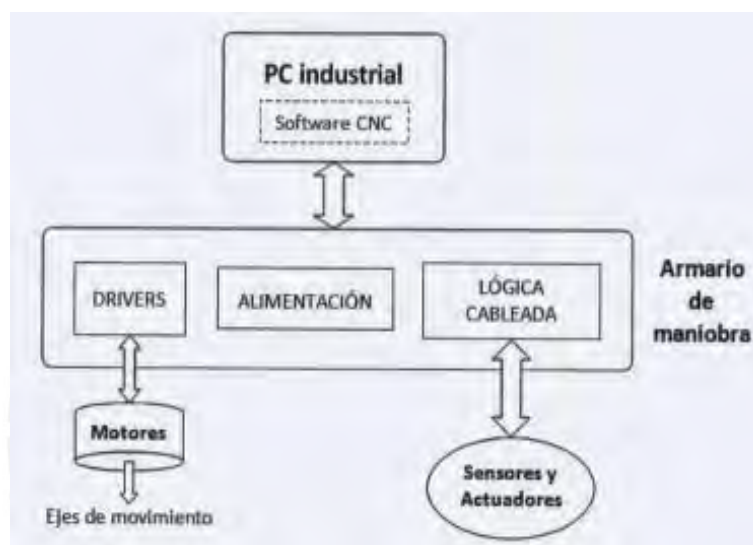
Figura 2. 2 Cabezales de corte para máquinas: (a) agua presión, (b) láser  
Fuente: Molchanova et al. (2015)

Tabla 2. 1 Comparación entre las tecnologías de corte: plasma, laser y agua a presión

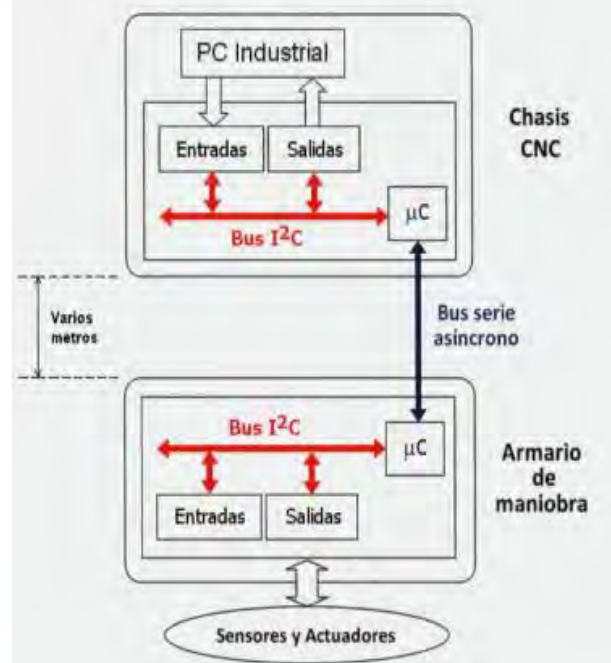
Características	Corte láser	Corte plasma	Corte con agua a presión y abrasivos
<b>Principio de corte</b>	Efecto térmico sobre el material	Efecto térmico sobre el material	Efecto de erosión sobre el material
<b>Herramienta de corte</b>	Haz láser	Gas plasma (Aire conductor de electricidad, 500-1500 m/s)	Agua a presión con partículas abrasivas (4000Mpa o mayor) (~3 - 4 l/min)
<b>Materiales acompañantes</b>	Gases CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> o He	CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub>	_____
<b>Materiales:</b>	Materiales excepto: Cobre (efecto reflexivo) y vidrio (absorción)	Corte de metales ferrosos y no ferrosos	Corta todo tipo de material
<b>Precisión</b>	0.08mm	Mayor a 1mm	Radio de curvatura (0.1-3mm) ángulos más agudos
<b>Velocidad de corte</b>	25 m/min (materiales delgados)	35 m/min	De 1 a 300 m/min (Depende del espesor)
<b>Temperatura</b>	_____	5000-30000C°	60-90C°
<b>Rugosidad superficial</b>	10um	Mayor a 1mm	0.5 - 1.56um
<b>Espesor</b>	Acero: 1-90mm Vidrio orgánico: 50mm	Acero: De1 a 100mm	Acero: 300 mm Concreto: 1000 mm
<b>Emisiones:</b>	Gases	Gases y partículas	Agua con partículas abrasivas
<b>Otros:</b>	Alto grado de automatización. Menor tiempo de preparación del material. Posee mayor eficiencia y posibilidad de desarrollo.	El calor se concentra de forma puntual. Limpieza y alta calidad superficial. Proceso seguro (solo utiliza aire).	No cambia la estructura física y mecánica de los materiales. Previene la deformación y quemado de materiales. Menor pérdida de material.
<b>Desventajas:</b>	Acabado de corte de menor calidad respecto que los demás.  Dificultad de corte de metales corroídos.	Corte de materiales de alta conductividad térmica.  Dificultad en cortes curvilíneos y produce quemado de los bordes.	Ruido entre 85 - 95 dB.  Corta duración de los elementos del cabezal de corte.

Fuente: Adaptado de Molchanova et al. (2015)

Se propone una arquitectura para controlar un sistema CNC existente en el cual se reemplaza la lógica cableada de relés, contactores y la electrónica utilizada (figura 2.3.1) por un sistema basado en microcontroladores, comunicación serial y acondicionadores de señales (figura 2.3.2). Solo se modifica la parte de lógica cableada del armario de maniobras, el chasis del CNC donde se encuentra la PC Industrial con software propio, los controladores de los motores y sensores ya existentes se mantienen iguales. Se espera que la máquina se comporte de forma similar que la anterior pero con la ventaja de ocupa menor espacio y facilitar el mantenimiento (Suárez et al., 2014, p. 211-219).

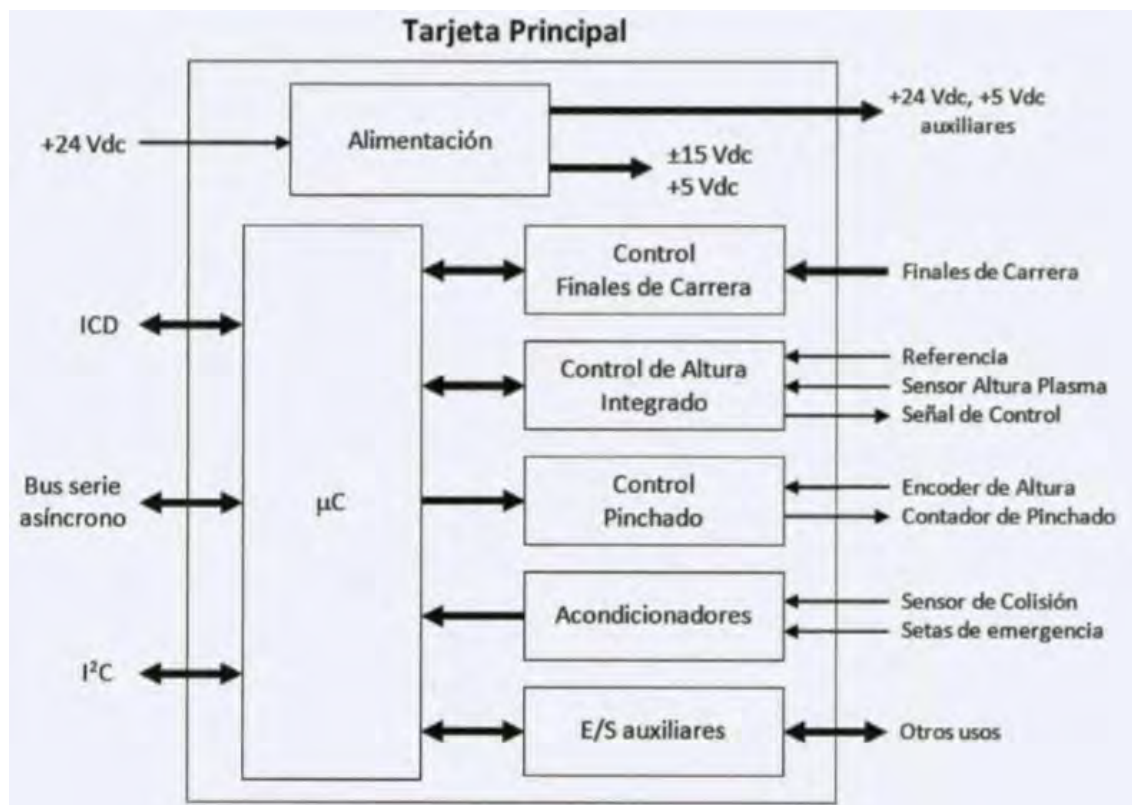


**Figura 2.3.1** Arquitectura de comunicación anterior Fuente: adaptado de Suárez et al. (2014)



**Figura 2.3.2** Arquitectura de comunicación actual Fuente: adaptado de Suárez et al. (2014)

El sistema actual (figura 2.3.2) cuenta con una PC industrial con software propio el cual se comunica con el armario de maniobra donde residen los controladores de los motores, el suministro de energía y la lógica cableada, en la figura 2.3.3 se observa a detalle la tarjeta principal y sus componentes.



**Figura 2.3.3** Arquitectura de comunicación de la tarjeta principal de la máquina CNC

El autor propone el uso un microcontrolador que mediante comunicación serial asíncrona se comunique con el armario de maniobra sin modificar el chasis CNC, mediante el protocolo I<sup>2</sup>C intercambiara información con los sensores y actuadores situados en el exterior.

### 2.1.2 Prototipo de sistemas automáticos de posicionamiento cartesiano

Para la automatización de proceso de corte es útil un sistema de posicionamiento CNC que desplace la antorcha de plasma en el espacio. Se explica el diseño y ensamblaje de un

sistema cartesiano de tres ejes, la base del equipo es semejante a una mesa de trabajo, sobre esta se encuentran los subsistemas de movimiento en los 3 ejes coordenados: X, Y y Z. En la tabla 2.2 se ubica al principio las características de la metodología de diseño seguida, luego algunos datos técnicos y luego el parte derecha se listan algunos componentes seleccionados (Ramírez, Correa & Flores., 2013, p. 1-11).

**Tabla 2.2** Resumen de diseño de la mesa para una máquina de corte con plasma

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
<b>Etapas de diseño</b>	Preliminar	-Búsqueda de información -Definición de exigencias. -Restricciones del alcance	<b>Programas utilizados</b> -Dibujo 3D : Solid Edge ® -MEF : Solid Works®
	Básico	- Identificación de diferentes subsistemas -Definición de soluciones constructivas	<b>Materiales utilizados</b> -Perfiles cuadrados de Al de 35mm -Guías de banda dentada. precisión de 0.5mm -Ejes :20- 50mm de diámetro - Acoples -Eje X, Y y Z: Servomotor AC 0.8, 0.4 y 0.3 Nm y 2000, 2000 y 1500 rpm respectivamente.
	Detallado	-Cálculos y uso de herramientas CAD/CAE	
<b>Tareas que realiza</b>	-Corte y ruteo de materiales		
<b>Aplicación</b>	-Transporte y manipulación de objetos -Medición automatizada -Construcción de maquinaria -Fabricación de circuitos electrónicos		
<b>Medidas de mesa según trabajo</b>	-Pesado: 6 - 70 x 2.5 - 14 m -Medio : 3 - 30 x 1.5 - 4 m -Ligero : 2.5 - 4 x 1.3 - 2 m	<b>Características de la mesa diseñada</b>	-Peso: 62 Kg -Velocidad máxima (sin cortar): 120m/min
<b>Requerimientos de la mesa</b>	- Tamaño: 75 x 55 cm - Velocidad de corte: (0.5-16 m/min) - Montaje: rápido, práctico y seguro.	<b>Herramientas para la fabricación</b>	-Torno, fresadora, taladro.

Fuente: Elaboración propia a partir Ramírez, Correa y Flores (2013).

### 2.2.3 Tecnologías de corte plasma especiales:

#### 1) *Máquina de corte plasma híbrida con plasma y agua a presión:*

Existen máquinas que utilizan varias tecnologías de corte a la vez, La empresa ESAB posee un sistema llamado Hydrocut LX® el cual combina el corte de materiales con plasma y chorro de agua usando procesos térmicos y no térmicos en el mismo pórtico. Al incorporar ambas tecnologías le permiten tener la alta calidad del corte con chorro de agua donde se requiera y el corte de alta velocidad y bajo costo del plasma donde se necesite. Esto se puede dar en una misma pieza, las partes donde se requiere alta precisión se cortan con chorro de agua y las demás partes con plasma (Modern equipment review, 2014, p. 191).



Figura 2.4 Máquina cortadora híbrida Fuente: ESAB®.

## 2) *Máquina de corte plasma vertical:*

Las máquina de corte plasma existente posee una mesa de trabajo en posición horizontal, mas existen algunas que utilizan una mesa de trabajo en posición vertical como es el caso se los sistemas imaQcut de la compañía Reed Elsevier, Inc. los cuales permite el corte plasma desde una posición vertical, no hay necesidad de esperar la carga y descarga de los materiales y produce menor ruido que las máquina ya conocidas de corte plasma. (Manufacturers monthly, 2008, p. 64)



Figura 2.5 Corte plasma en posición vertical. Fuente: imaQcut®

### 2.2.4 Patentes de tecnología de aplicaciones en máquina disponibles en el mercado:

#### 1) *Cortadora plasma con cámara para medir las características de la antorcha:*

Existen patentes de máquinas cortadoras plasma automáticas en la figura 2.6.1 se puede observar una patente registrada que además analiza el espectro del haz de luz generado al momento del corte. Se muestran los esquemas de la estructura de la máquina, el sistema

de control y el diagrama de flujo de funcionamiento del sistema. (U.S Patent No. 15,886,806, 2018).

El sistema propuesto está compuesto por una mesa de trabajo (140), un pórtico móvil (150), un cabezal de corte (125), la antorcha plasma (120) mecanismo de movimiento vertical de la antorcha (127) y una pieza metálica a ser cortada (110). Una PC (135) con un software instalado el cual envía señales de control a través de un amplificador de señales (137) el cual envía las señales a través de un cable (130).

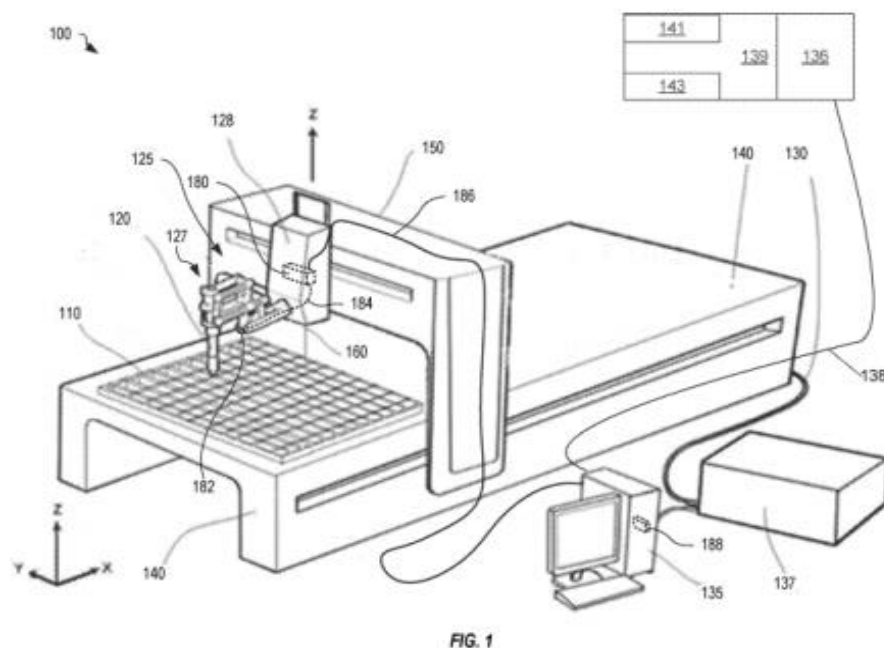


Figura 2.6.1 Patente de máquina cortadora plasma: ejemplo de analizador de metal de corte plasma CNC Fuente: Extraído de <http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US 203350153> (Consulta 26/03/2018)

El sistema de control patentado instalado en la PC (figura 2.6.2) (135) incluye un procesador (302) acoplado a una memoria (304) la cual almacena un software (188) el cual implica un sistema de operación (310), uno de análisis espectral (330) y un controlador NC (320) el cual sigue un programa NC (322) para el movimiento del cabezal, las ordenes se envían mediante el interfaz de control NC (324). De forma constante se procesa la información espectral (181), recibida mediante una interfaz (308) y se determina la composición de la flama (334).

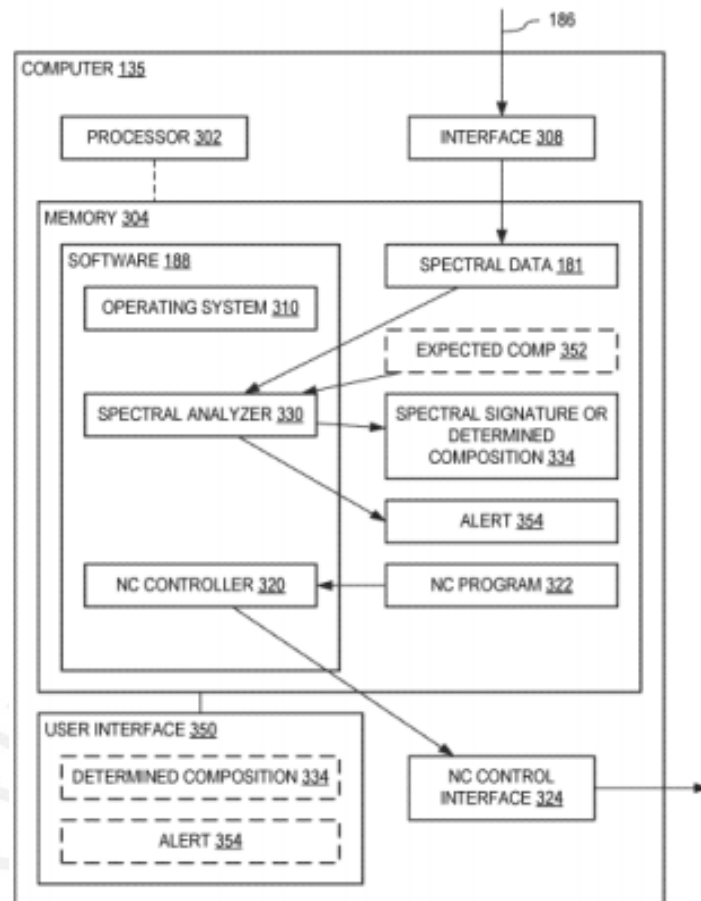


FIG. 3

Figura 2.6.2 Patente de máquina cortadora plasma: arquitectura de control Fuente: Extraído de <http://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US 203350153> (Consulta 26/03/2018)

En la tabla 2.3 se observan las principales características de esta patente

Tabla 2.3 Datos destacados de la patente de la máquina de corte con plasma

CARACTERÍSTICAS	MECÁNICAS	CONTROL	DIAGRAMA DE FLUJO
<b>ELEMENTOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mesa de corte</li> <li>-Pórtico</li> <li>-Sujetador del cabezal</li> <li>-Manipulador de la antorcha plasma</li> <li>-Servomotores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Computadora</li> <li>-Caja amplificadora de señales</li> <li>-Receptor espectral</li> </ul>	—
<b>FUNCIONAMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Posiciona la herramienta de corte a diferentes alturas.</li> <li>-El sistema de barras del manipulador mantiene el receptor espectral constantemente en la dirección de la antorcha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El sistema recibe la trayectoria desde una memoria externa</li> <li>-Un programa lee la trayectoria y genera señales de control</li> <li>-Un interfaz CNC recibe las señales y las envía a los motores</li> <li>-El sistema recibe los datos del sensor espectral, luego determina si es correcto o no respecto del esperado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Primero se recibe los valores de la composición esperada</li> <li>-Luego espera que se encienda el arco eléctrico</li> <li>-Después analiza si es la esperada y si no es así genera una alerta.</li> <li>-Finalmente muestra la composición hallada.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de U.S Patent No. 15,886,806 (2018)

## 2) *Patente de sistema de enfriamiento para sistemas de soldadura o corte plasma:*

Se describe un sistema de enfriamiento de estas máquinas, el cual comprende un conjunto de aletas tubulares interligadas y dispuestas en la parte interna de la máquina de soldar o cortar y ayudan a disipar el calor de la entrada del aire o gas, mejorando a si la eficiencia y aumentando la vida útil delos equipamientos (U.S Patent No. PCT/BR2017/050,139, 2017).

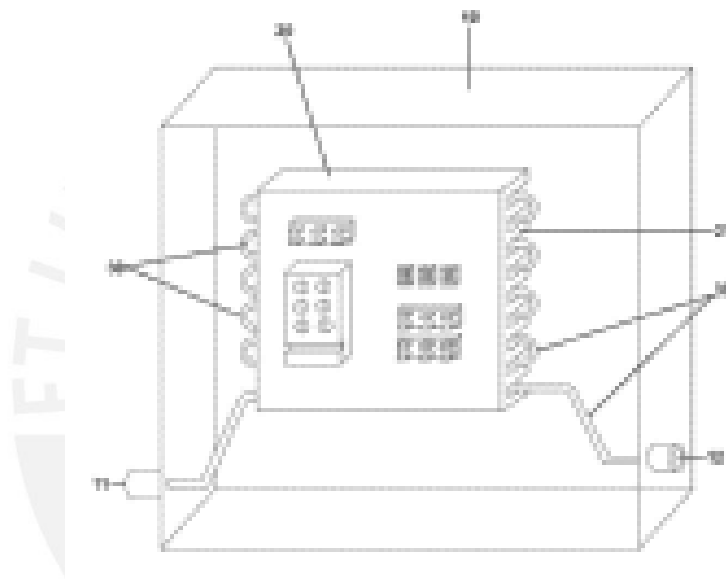







Fig. 1

Figura 2.7 Patente de sistema de enfriamiento para sistemas de soldadura  
Fuente: U.S Patent No. PCT/BR2017/050,139 (2017)

### 2.2.5 Máquinas cortadoras plasma automáticas disponibles en el mercado.

Se tiene un conjunto de máquinas cortadoras plasma de usos diferentes según la demanda de producción de la empresa, a continuación en la tabla 2.4 se muestra las relaciones entre las características de las máquinas encontradas.

Tabla 2.4 Comparación de características entre máquinas cortadoras plasma automáticas

CARACTERÍSTICAS	 Figura 2.1 (i)	 Figura 2.2 (ii)	 Figura 2.3 (iii)	 Figura 2.4 (iv)	 Figura 2.5 (v)
<b>Modelo</b>	Microstep MG	Microstep MicroCut-P	Torchmate X Air Plasma	Minitcut H	MultiCam 1000 Series
<b>Empresa</b>	MicroStep Spain	MicroStep Spain	Lincoln Electric	Motocono	Design and cutting
<b>Tipo de corte</b>	Plasma	Plasma y Oxicorte	Plasma	Plasma	Plasma convencional
<b>Funciones</b>	Corte de chapas, tubos, taladrado	Corte de metales y tubos	Corte de metales	Corte de chapa, perfora tubos	Corte por plasma
<b>Tipo de uso</b>	Industrial intensivo	Servicios a clientes	Trabajo continuo	Trabajo medio	Trabajo medio
<b>Cabezal</b>	Cabezal de corte con 5 ejes.	Cabezal dual: plasma y oxicorte	Cabezal de corte plasma	Cabezal de corte plasma	Cabezal corte plasma
<b>Longitud de mesa</b>	De 3 a 30 m	3 m	De 0.13 a 2,4 m	2 m	No especifica
<b>Anchura de mesa</b>	1.5 a 4.5 m	2m	De 0.3 a 3.8 m	1 m	No especifica
<b>Velocidad Máxima</b>	35 m/min	25m/min	12.7 m/min	30 m/min	No especifica
<b>Motorización</b>	Doble moto reductor con piñones pretensados	Doble arrastre de correas y un solo motor	Doble motorización en el pórtico	3 servomotores AC	Motores eléctricos de dos fases, control digital.
<b>Espesor de corte</b>	De 1 a 100mm	De 1 a 60 mm	plasma: 50.8 mm oxicorte: 254mm	Hasta 20mm	No especifica
<b>Interfaz con el operario</b>	MSNC-500 Basado en PC pantalla táctil, teclado y ratón	MSNC-500, monitor TFT y pantallas táctil	Software controlador Torchmate CAD/CAM	Pantalla táctil Software sencillo y nesting.	No especifica
<b>Comunicación</b>	Ethernet, ADSL	Ethernet, ADSL	No posee	Ethernet	No posee
<b>Guías del sistema</b>	Guías lineales de precisión	Guías lineales de precisión	Guía lineal de precisión	_____	Guía de rieles maquinadas
<b>Precisión</b>	No especifica	No especifica	0.01mm	0.2mm	No especifica
<b>Otros:</b>	Formato DXF. Mesa de extracción de humos	Posee servomotores y reductores planetarios.	Software Visual machine designer, tarjeta de motor de 8 A.	Sistema centralizado de engrase automático	Posee extractor de humo
<b>Las imágenes de (i) al (v) son tomadas de las marcas o empresas: Microstep®((i) y (ii)), Torchmate®(iii), Motocono® (iv) y MultiCam®(v)</b>					

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la web de los fabricantes

Las máquinas cortadoras plasmas de la tabla 2.4 son automáticas y la mayoría posee su propio sistema de generación del plasma a diferencia de la máquina que se propone diseñar la cual automatizará el uso de una cortadora manual.

Se concluye que existen máquinas disponibles con áreas de trabajo, espesor de corte y tipos de trabajo según se requiera. Se destaca las siguientes **semejanzas**.

1. Utilizan sistemas con coordenadas rectangulares para desplazar el cabezal.
2. Utilizan motores con engranajes unidos a cremalleras o con acoples unidos a tornillos de potencia como mecanismo de desplazamiento
3. Poseen una interfaz desde donde se introducen archivos e información requerida.

Entre las **principales diferencias** se encuentran:

1. El número de ejes que poseen desde 3 hasta 5 ejes, los adicionales permiten rotar la herramienta de corte para cortar sobre superficies inclinadas o curvas.
2. La cantidad de cabezales de corte: único o duales con plasma y oxigás.
3. Los tipos de trabajo que realizan: Solo corte de chaspas, corte de tubos con ayuda de un accesorio que gira el tubo en su eje, perforación y roscado con ayuda de ejes de movimiento adicionales o retirando la antorcha plasma e insertando otros equipos.

Se destacan los siguientes atributos:

1. Accesorio en forma de luneta que sujeta tubos redondos y los rota en su eje mientras que la máquina realiza el corte, con esta combinación se realiza cortes espaciales (Modelo ii).
2. Cabezal de 5 ejes que permite el corte en superficies de revolución o espaciales y que permite el intercambio de la herramienta de corte plasma por otros para realizar taladrados y roscados (Modelo i).
3. Instalación modular, la máquina se encuentra dividida en tres partes: la mesa de trabajo, el sistema de corte y el tablero de control de operaciones (Modelo iii).

### **Capítulo 3: Diseño de la automatizadora del corte**

La metodología de diseño mecatrónico realizada para el diseño total se basa en los estándares alemanes VDI 2221:1993-05 y VDI 2222 Blatt 1: 1997-06 y se divide en seis etapas principales: Lista de exigencias, estructura de funciones, matriz morfológica, conceptos de solución, evaluación técnico-económica y concepto óptimo. Se inicia con las exigencias de proyecto:

#### **3.1 Requerimientos de ingeniería**

Para elaborar los requerimientos se consideran las siguientes fuentes:

- 1) Realidad del trabajo en talleres de producción visitados
- 2) Riesgos a mitigar del corte plasma
- 3) Consideración en el diseño de la solución planteada
- 4) El objetivo general y los específicos
- 5) Características resaltantes de las máquinas comerciales
- 6) Criterios de diseño experimentales<sup>(1)</sup>

(1) Criterios que son aplicados debido a la experiencia positiva en el campo

Se elabora una **lista de requerimientos**, con la siguiente codificación:

**Tabla 3.1** Codificación de requerimientos

<b>E</b>	<b>M</b>	<b>1.</b>	<b>1</b>
1 <sup>era</sup> letra	2 <sup>da</sup> letra	1 <sup>er</sup> Número	2 <sup>do</sup> Número
<b>E:</b> Exigencia	<b>M:</b> Mecánico	Nombre y número del requerimiento	
<b>D:</b> Deseo	<b>E:</b> Energía		
	<b>C:</b> Control		
	<b>I:</b> Informático		
	<b>A:</b> Otros		
<b>Ejemplo:</b> EM 1.1 indica exigencia mecánica de geometría número 1			

**Fuente:** Elaboración propia

Las exigencias (**E**) son necesarias para la funcionalidad de la máquina y los deseos (**D**) generan un valor adicional; mas, su ausencia no impide alcanzar los objetivos iniciales.

**Tabla 3.2** Lista de exigencias

<b>REQUERIMIENTOS GENERALES</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>FUNCIÓN PRINCIPAL</b>	E 1	<b>Corte automático</b> de chapas, tubos, perfiles y piezas de metal hasta una profundidad de $50 \times 10^{-3}$ m.
	D 1	<b>Otras funciones:</b> Taladrado, roscado, troquelado de materiales de acero, aluminio, bronce y otros.
<b>TIPO DE CORTE</b>	E 2	<b>Corte plasma automático</b>
	D 2.1	<b>Corte láser con CO<sub>2</sub></b>
	D 2.2	<b>Oxicorte</b>
<b>VELOCIDADES DE MOVIMIENTO Y CORTE</b>	E 3.1	<b>Velocidad de movimiento</b> : Entre 0.1 y 25 cm/s
	E 3.2	Velocidad de corte : Entre 1 y 10 cm/s

**Fuente:** Elaboración propia

REQUERIMIENTOS GENERALES	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
<b>CABEZAL</b>	E 4	Cabezal de corte plasma con posicionamiento espacial
	D 4	Sujeción de módulo para tareas adicionales
<b>DIMENSIONES</b>	E 5.1	Dimensión externa de la máquina: <b>Ancho:2.00 m Largo:1.80 m Altura:1.75 m</b>
	E 5.2	Forma general de la máquina: prismática
<b>TIPO DE USO</b>	E 6	<b>Trabajo</b> con factor de servicio de 50% ( <b>Base: 10 min.</b> )
<b>ESPESOR DE CORTE</b>	E7	Espesor máximo de material (planchas): 50mm
<b>INTERFAZ CON LA PERSONA</b>	E 8	Tablero de control con aparatación eléctrica según normas internacionales IEC.
<b>INGRESO Y SALIDA DE INFORMACIÓN:</b>	E 9.1	Mediante una <b>interfaz de usuario</b> o un <b>dispositivo de almacenamiento</b> el cual tendrá la información grabada en su interior.
	E 9.2	El sistema mostrará información sobre el <b>estado de la máquina</b> y el <b>estado del proceso de corte</b> Información: Trayectoria del corte a realizar y material que se requiere cortar, geometría y ubicación
<b>PROTECCIÓN</b>	E10.1	En la antorcha(evitar quemaduras, dispersión de partículas y liberación de la luz) :IP67
	E 10.2	En los tableros eléctricos(si se requiere) : IP67
	E 10.3	Soporte y cubierta de los elementos motrices : IP67
	D 10.1	Succión de gas producidos en el proceso
	D 10.2	Conexión a tierra-R6
	D 10.3	Corrosión y óxido (componentes metálicos)
<b>PRECISIÓN Y EXACTITUD</b>	E 11.1	Precisión: +/- 0.25 ×10 <sup>-3</sup> m
	E 11.2	Exactitud: +- 0.25×10 <sup>-3</sup> m
<b>ERGONOMÍA</b>	E 12.1	Facilidad de acceso para el mantenimiento o cambio de piezas
	E 12.2	Debe permitir el ingreso y salida de materiales de forma rápida

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Continuación

REQUERIMIENTOS GENERALES	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
<b>ELEMENTOS A CORTAR</b>	E 14.1	Chapas: Espesor máximo 50 mm, medidas: 1.20 x 1.20 [m]
	E 14.2	Perfiles metálicos (platinas, ángulos, tees, zeos) hasta 50 mm de altura.
	E 14.3	Tubos metálicos extruidos o soldados (redondos, cuadrados, rectangulares) hasta 50 mm de altura.
	D 14	Componentes mecánicos ( engranajes, ejes, bielas, carcasas) Los elementos están fabricados de acero con diferentes durezas y espesores. <b>Ejemplo:</b> Acero (A30, A60), Acero inoxidable, Aluminio, Bronce.
<b>INTERACCIÓN CON EL AMBIENTE</b>	E 15	No emitir gases desde el punto de corte hacia el exterior de la máquina.
<b>TRANSPORTE</b>	E 16.1	Debe ser transportable en camionetas.
	E 16.2	Los objetos sensibles o calibrados deben ser trasportados con cubiertas adecuadas
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>	D 17	El costo energético del uso conjunto de la máquina automatizadora y de la cortadora plasma, no deben superar el 150% del costo individual de la cortadora plasma en un trabajo semejante.
<b>REQUERIMIENTOS MECÁNICOS (REQUERIMIENTOS FÍSICOS)</b>		
<b>GEOMETRÍA</b>	EM 1.1	Dimensión del área de trabajo: Ancho:1.20 m Largo:1.20 m
	EM 1.2	Forma general de la máquina: prismática
<b>CINEMÁTICA</b>	EM 2.1	<b>Velocidad máxima de movimiento</b> del cabezal de la máquina (sin cortar) :25cm/s
	EM 2.2	<b>Velocidad de corte:</b> será regulada según la tabla indicada en el manual de la cortadora por plasma de uso manual.
	EM 2.3	<b>Forma del corte:</b> Cortes con líneas rectas y curvas, formas preestablecidas como círculos, cuadrados, bridas y otras formas constructivas.
<b>RESISTENCIA</b>	EM 3.1	La mesa de trabajo debe soportar un peso de 5 000N distribuido uniformemente (Peso de media chapa de acero al carbono normalizada de 50 mm de espesor).
	EM 3.2	La mesa debe poseer resistencia a la fatiga que permita una duración superior a 3 años.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Continuación

REQUERIMIENTOS GENERALES	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
<b>REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS Y DE CONTROL</b>		
<b>INTERFAZ DE USUARIO</b>	EE 1.1	Debe permitir el ingreso de formas de corte variados según se requiera por ejemplo: Cortes rectos, corte circulares o cortes de formas establecidas como cuadrados, estrellas y otras formas constructivas.
	EE 1.2	El interfaz permitirá dibujar las piezas a cortar o ingresar información de piezas dibujadas anteriormente.
	EE1.3	Ingreso de información mediante dispositivo de almacenamiento o mediante el tablero de control
	EE 1.4	Debe poderse programar o aprender con conocimientos de matemática de la educación básica regular(EBR)
<b>SEÑALES</b>	EE 2	Indicadores de trabajo (encendido, apagado, en operación)
<b>CONTROL</b>	EE 3.1	El control sobre el movimiento del cabezal de corte debe ser: Automático
	EE 3.2	Semiautomático asistido por el usuario
	EE 3.3	Se debe controlar la altura, la posición y la velocidad de la antorcha de corte por plasma.
	EE 3.4	Debe permitir el control manual y automático de la máquina.
<b>ELECTRÓNICA (HARDWARE)</b>	EE 4	Debe operar con un sistema electrónico como sistema de control que posea sensores de presencia, temperatura, nivel de líquido y también actuadores tales como motores a pasos, motores eléctricos AC y DC.
<b>ENERGÍA</b>	EE 5	Utilización de energía eléctrica: Se alimentará la máquina desde una fuente de 220 VAC-60Hz monofásico
<b>REQUERIMIENTOS DE INFORMÁTICA Y COMUNICACIÓN</b>		
<b>SOFTWARE</b>	EI 6.1	El programa debe poder ser instalado en un sistema operativo gratuito.
	EI 6.2	La optimización de la distribución de las piezas a cortar debe de ser realiza por un software gratuito.
<b>COMUNICACIONES</b>	EI 7	Se deben utilizar los protocolos RS232, RS422, RS485, I2C o SPI y señales de control del tipo on-off o PWM.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Continuación

REQUERIMIENTOS GENERALES	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
<b>REQUERIMIENTOS GENERALES</b>		
<b>SEGURIDAD</b>	EA 1.1	Debe contar con un botón de apagado de emergencia
	EA 1.2	Debe tener indicadores de funcionamiento(Encendido, apagado y en operación)
	EA 1.3	Protección para impedir que la persona que opera la máquina sufra daños mientras se realiza el corte
	EA 1.5	Sistema de protección ante colapso del cabezal de corte
	EA 1.6	Sistema de protección ante colocación de parte del cuerpo en lugares de peligro
	EA 1.7	Absorción interna de gases y partículas producidas durante la operación
	EA 1.8	Absorción o reflexión de luces y radiación luminosa emitidas en el cabezal
	EA 1.9	Almacenamiento o liberación protegida
	EA 1.10	Cobertura de la antorcha al contacto con el operario
	<b>FABRICACIÓN</b>	EA 2.1
EA 2.2		Mínima pérdida de material a utilizar
EA 2.3		Construcción en talleres locales con insumos estándares para su sencilla construcción
<b>MONTAJE</b>	EA 3.1	El sistema debe ser desmontable en subsistemas considerando los siguientes: Mesa de trabajo, pórtico, soporte de cabezal, cabezal de corte
	EA 3.2	El ensamble será con uniones atornilladas.
<b>USO</b>	EA 4.1	Permita colocar chapas de acero al carbono (1-50mm de espesor) según los métodos conocidos en los talleres
	EA 4.2	Uso óptimo a una altura de 1200 msnm o menor.
	EA4.4	Uso para la producción en lugares de trabajo ambiente disponible para la máquina de máximo 4m <sup>2</sup>
	DA 4.1	Uso para la enseñanza en centros de estudios

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2 Continuación

REQUERIMIENTOS GENERALES	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
<b>MANTENIMIENTO</b>	EA 5.1	Preventivo (dos veces al año), calibraciones(deben poder ser realizadas de forma rápida (máximo 5 minutos)
	EA 5.2	Cambio de consumibles deberá ser rápido (máximo 30 segundos)
<b>COSTOS</b>	EA 6.1	El costo de diseño de la máquina guiadora de la herramienta de corte será máximo el mismo de la cortadora manual que se automatic. (Se considera S/. 25.00 por hora, tomando como base el sueldo promedio de un ingeniero mecánico en el país)
	EA 6.2	El costo total debe superar los \$ 5 000.00 puesto que es el precio mínimo de máquinas semejantes disponibles en el mercado ahora.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Entradas y salidas del proceso de corte plasma y estructura de funciones:

A partir de la **lista de exigencias** (tabla 3.1) presentada se elabora la estructura de funciones la cual muestra cómo solucionar el problema a partir de bloques con acciones relacionados en serie o paralelo a los cuales luego se les buscará portadores de soluciones. Se comienza elaborando el diagrama de caja oscura con sus entradas y salidas respectivas, en la figura 3.1 se observa el diagrama para el sistema solicitado. Entre los **materiales a cortar** tenemos las chapas y piezas de metal, entre los elementos externos se tiene el polvo, ruidos eléctricos y animales perjudiciales, en cuanto a la **información de entrada** se tiene la forma y cantidad de piezas a cortar; del otro lado, en las **salidas** se tiene los **productos restantes**: Mermas de metal, partículas y rebabas metálicas e insumos utilizados, entre los elementos perjudiciales se tienen las emisiones y polvos externos. Por último, en las **señales de información** de salida se tiene la cantidad y formas de piezas cortadas. Se puede ver todo el proceso completo de la metodología del diseño aplicada en el anexo C.



**Figura 3.1** Entradas y salidas del sistema **Fuente:** Elaboración propia

### 1) Problema general:

Diseñar una máquina cortadora con plasma de piezas de acero de diferentes espesores (Desde 1 mm hasta 50 mm), el cual permita indicar la forma de las figuras a cortar mediante un interfaz usuario-máquina instalado en una computadora, realice el proceso de forma segura y facilite el trabajo en el corte de metales en el sector de metal-mecánica. Se dividirá el trabajo en cuatro dominios: Mecánico, energético, control e información. El diagrama de estructura de funciones figura 3.2 se realiza bajo la definición de dividir la tarea global por dominio los cuales se resaltan con colores.

### 2) Problemas parciales:

1. Sistema mecánico de movimiento por coordenadas, que permita colocar en su estructura el electrodo (herramienta de corte) de una máquina cortadora plasma, se deberá poder regular la altura del electrodo según se necesite.
2. Diseñar un sistema electrónico que permita controlar el sistema mecánico de forma que la herramienta de corte se movilice sobre la lámina de acero y se puedan obtener las piezas indicadas mediante un software.

3. Diseñar un programa computacional el cual será grabado en un ordenador (Computadora personal), este programa permitirá que los operarios indiquen la forma de las piezas a cortar y luego enviará la información al sistema electrónico.

El camino de las funciones realizadas es la siguiente según corresponda:

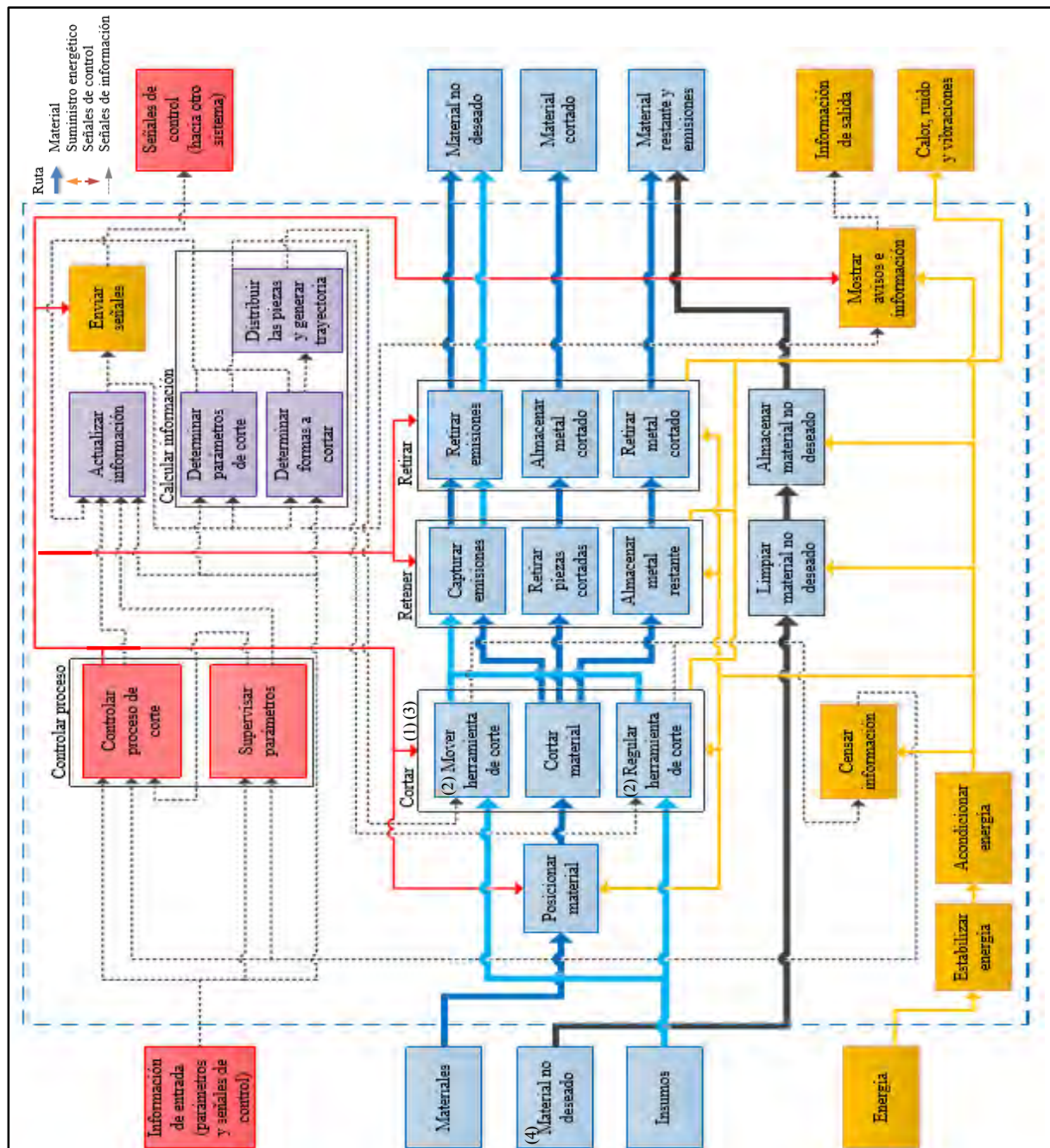
**Materiales:** El material base es posicionado para el corte posterior, de forma paralela los insumos se conducen al regulador de la herramienta de corte y al sujetador de este para su alimentación y operación; luego del corte del material base se retiran las piezas obtenidas, se capturan las emisiones y se almacenan los metales restantes; seguidamente, se almacena el metal cortado y se considera una salida, por otra parte las emisiones y las mermas son retiradas y pasan a ser salidas dos salidas más del sistema. Los lugares que presentan elementos ajenos al proceso son limpiados, almacenados y luego se consideran salidas.

**Control:** La información de entrada de parámetros y señales de control se dirigen al controlador del proceso de corte y al controlador de los parámetros de corte el cual reporta al primero; después, algunas señales son enviadas al exterior de la máquina, otras son mostradas como avisos o información al usuario y luego se consideran salidas, y otras ordenan el inicio del corte, captura o retiro de materiales.

**Informático:** La información y señales de control de entrada se interpretan y se determinan los parámetros de corte, las formas a cortar, la distribución y trayectoria del corte, luego estas son enviadas a los controladores los cuales retroalimentan información nueva al sistema informático y actualizan la información existente.

**Energético e instrumentación:** El suministro energético recibido se estabiliza y acondiciona para luego alimentar a los procesos mecánicos, sensores y actuadores, los cuales liberan energía en forma de calor, ruido y oscilaciones los cuales son salidas de la

máquina. Por otro lado se censa constantemente valores y posiciones, la información obtenida es enviada al controlador principal.



Notas:

1. El proceso de corte utiliza las señales de control y la trayectoria generada.
2. Mover la herramienta implica el desplazamiento sobre el área de corte mientras que regular la herramienta se refiere a controlar la intensidad de corriente en la antorcha plasma.
3. El proceso de corte incluye tres componentes: el movimiento de la herramienta, la regulación de su intensidad y el corte del material, el material a cortar se dirige a la función cortar material, donde luego se generan tres productos: las esquirlas, las piezas cortadas y el material restante.
4. Todo material que no forma parte del proceso que ingrese a la máquina es capturado y almacenado.

Figura 3.2 Estructura de funciones del sistema integrado Fuente: Elaboración propia

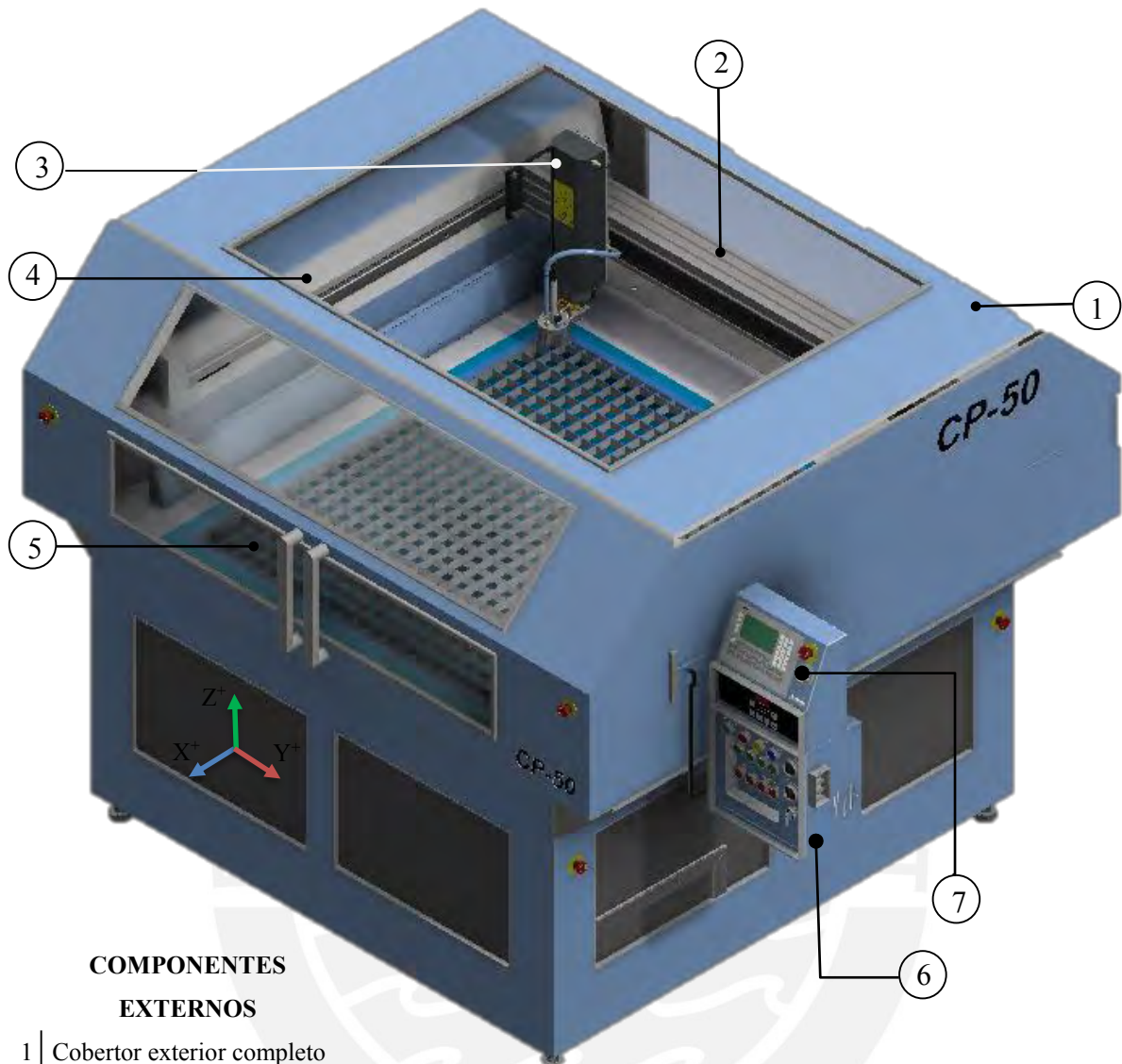
## **Capítulo 4: Automatizadora del corte con plasma**

En este capítulo se muestra el funcionamiento y el diseño interior de la máquina automatizadora de cortadoras plasma manuales para materiales metálicos, la cual se denominará con las siglas MACP (Máquina Automatizadora del Corte Plasma), se presentan a continuación sus sistemas y principales características técnicas y constructivas.

### **4.1 Presentación de la automatizadora de corte:**

La MACP obedece a requerimientos del lugar de trabajo de empresas del sector de metal-mecánica con 5 trabajadores como máximo denominadas MYPES, la capacidad de la máquina está en función de la cortadora plasma manual que se le acople.

La máquina de corte está formada por 5 partes principales las cuales se listan a continuación: Sistema de movimiento de la herramienta de corte (Ejes Y y Z), sistema de soporte y sujeción de los materiales a cortar, sistema de suministro de energía eléctrica, sistema de verificación y seguridad y sistema de control general el cual incluye las comunicaciones. Se observa en la figura **4.1** la vista isométrica de la máquina y sus principales partes.



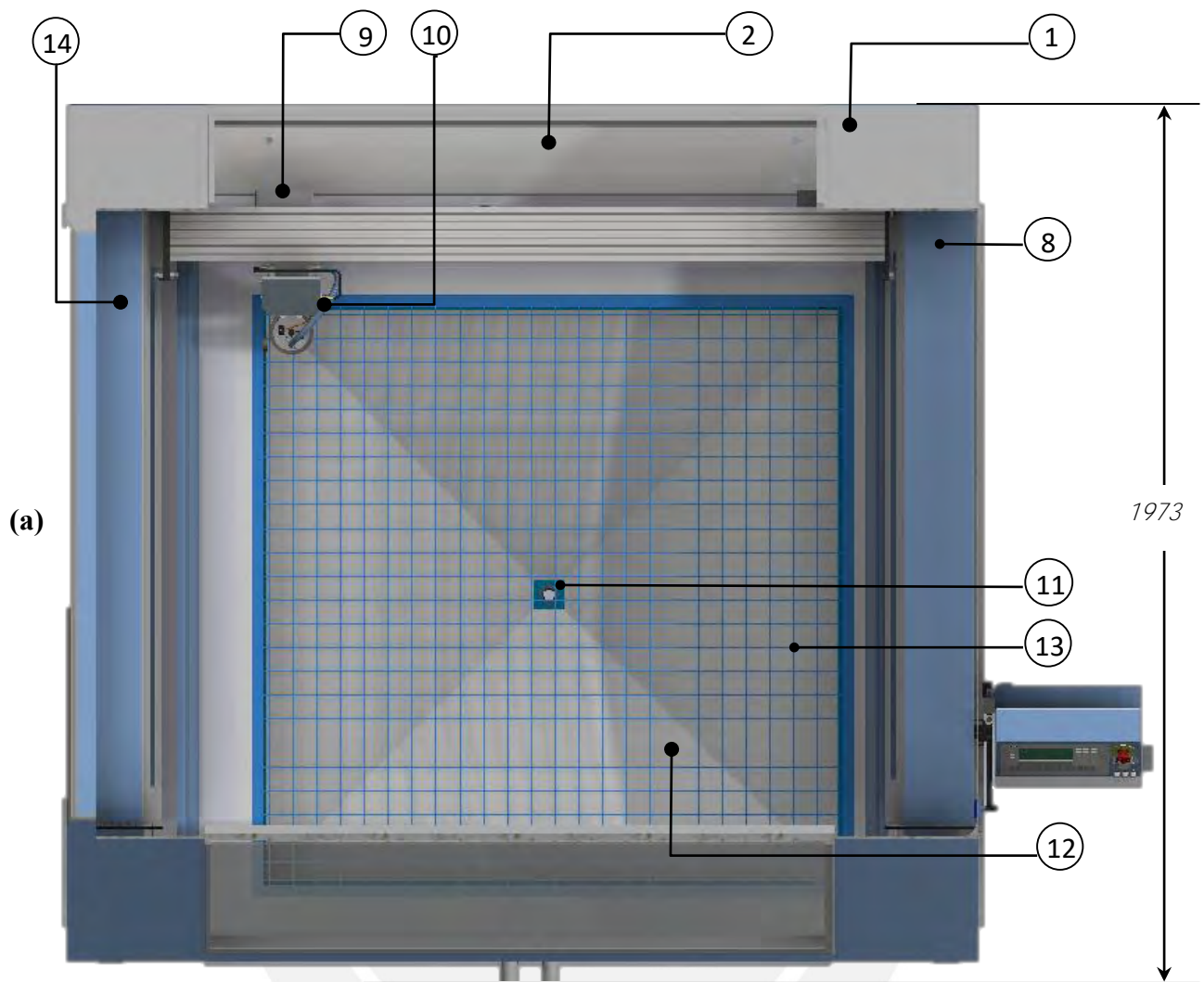
**COMPONENTES  
EXTERNOS**

- 1 Cobertor exterior completo
- 2 Sistema motor  $Y^+$  e  $Y^-$
- 3 Sistema motor  $Z^+$  y  $Z^-$
- 4 Protector de sistema  $X^+$  y  $X^-$
- 5 Área de trabajo:  $1.44 \text{ m}^2$
- 6 Caja protectora eléctrica
- 7 Panel de control

**Figura 4.1** Vista isométrica del sistema integrado Plano E0-A0 **Fuente:** Elaboración propia

Se detalla la forma geométrica de la máquina, el diagrama de bloques y partes de los planos de ensamble del sistema en general.

El sistema posee medidas exteriores de  $1570 \times 1406 \times 1873 \text{ mm}$ , las cuales se pueden observar en la **figura 4.2.1** junto con el área de trabajo el tablero eléctrico y el panel de control



**Figura 4.2.1** Sistema integrado (a) Vista superior Plano E0-A0 Fuente: Elaboración propia

#### COMPONENTES

8	Cobertor de Posicionador $X^+$ e $X^-$	11	Vertedero	14	Seguidor de posicionador $X^+$ , $X^-$
9	Sensor de fin de carrera	12	Tolva receptora de agua		
10	AbsorSOR de gases y partículas	13	Rejilla base para corte		

Desde la parte superior se observa la rejilla y plancha metálica a soportar, sobre estos se desplaza el cabezal de corte plasma, las piezas cortadas quedan ubicadas en su misma posición, en la figura 4.2.2 se observan estos componentes.

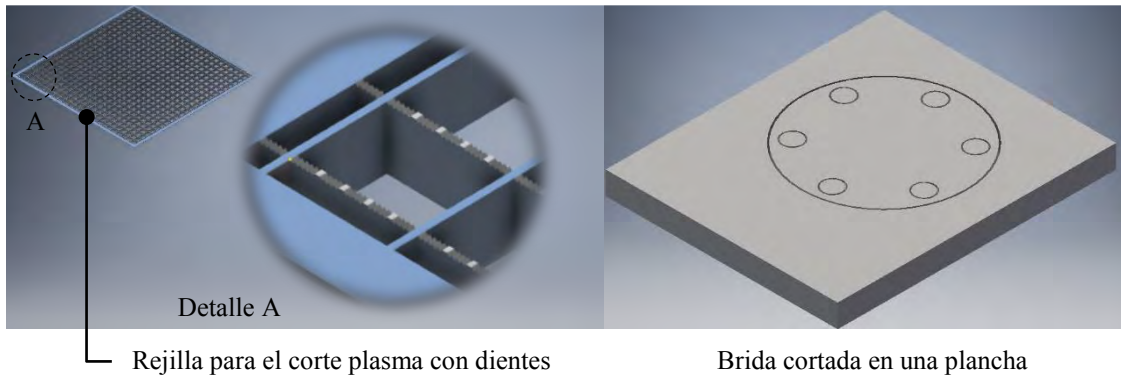


Figura 4.2.2 Rejilla de apoyo y plancha de acero  
Fuente: Elaboración propia

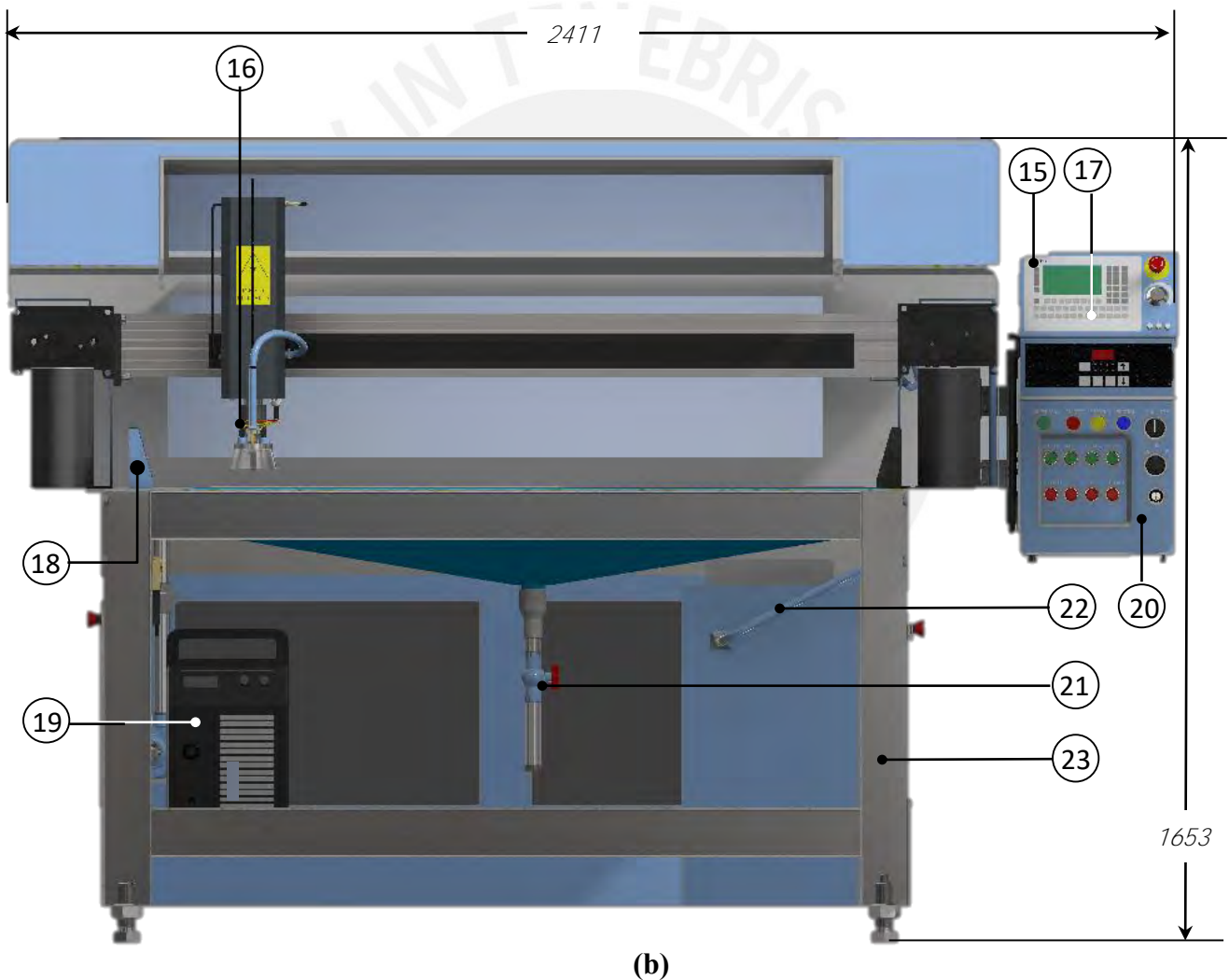


Figura 4.2.3 Sistema integrado (b) Vista frontal Fuente Plano E0-A0: Elaboración propia

**COMPONENTES**

15	Teclado de programación	18	Guía de centrado de planchas	21	Llave de transvase de agua efluente
16	Tobera de protección	19	Cortadora plasma	22	Sistema de absorción de partículas
17	Controlador de altura (THC)	20	Panel de control	23	Postes y vigas estructurales

Se presentan las partes internas del sujetador de la antorcha y del panel de control en la figura 4.2.4

La antorcha se acopla en el extremo del sistema de movimiento Z mediante dos tornillos.

En el panel de control se ubica el interfaz humano-máquina el cual incluye: una botonera de mando, 3 luces indicadoras, perillas de ajuste de potencia y velocidad de corte.

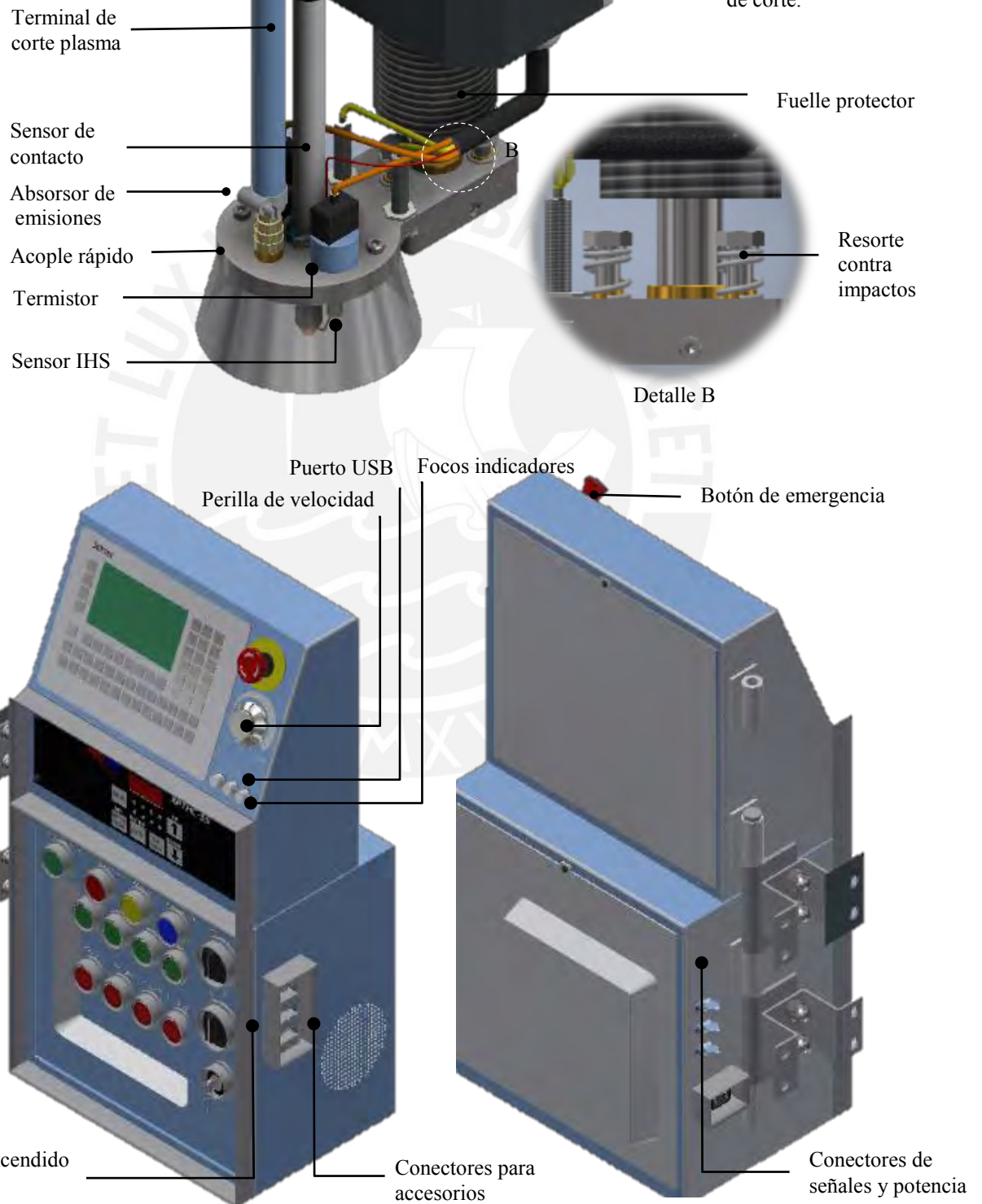


Figura 4.2.4 Partes y componentes del sujetador de antorcha y panel de control Fuente: Elaboración propia

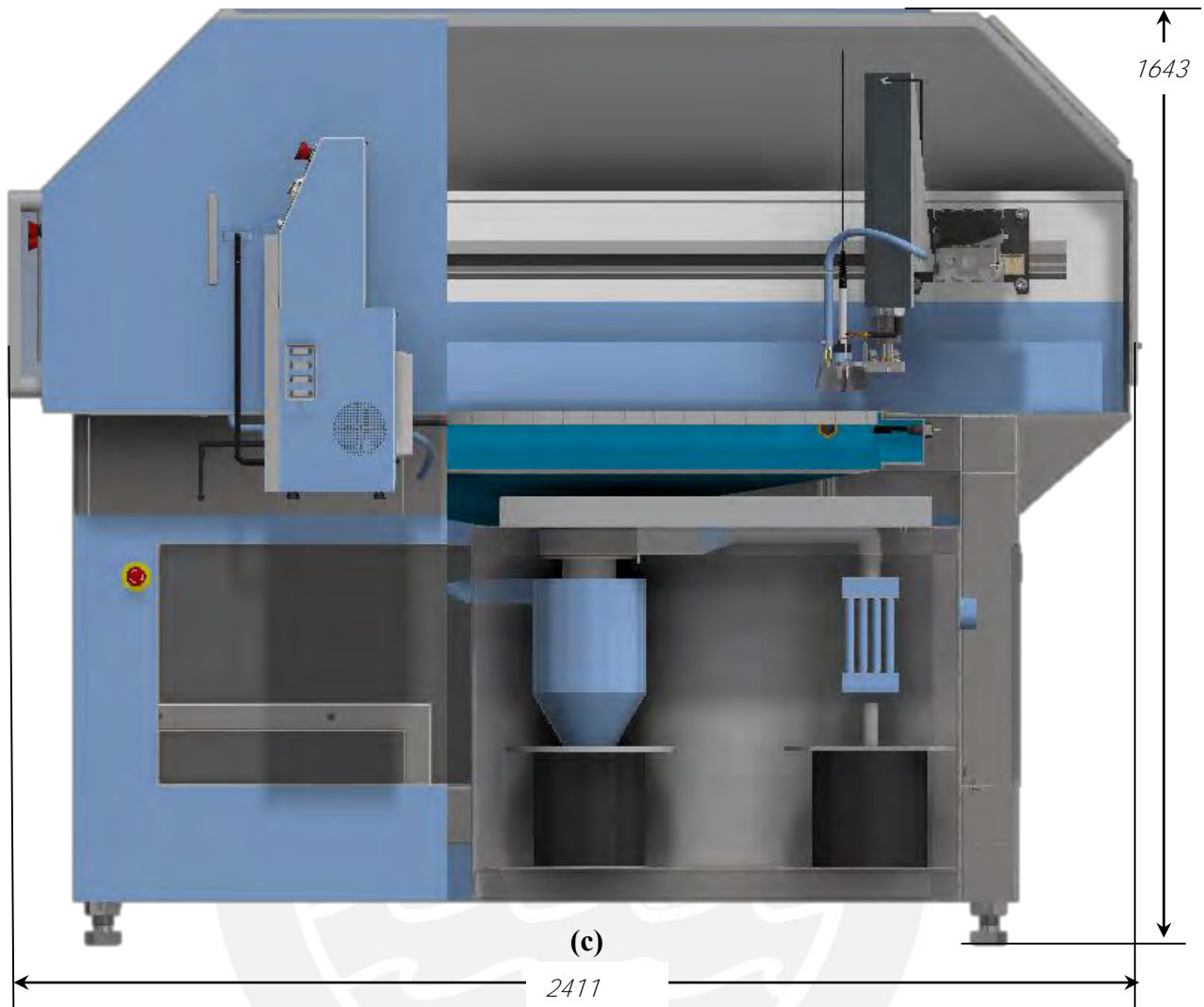


Figura 4.2.5 Sistema integrado (c) Vista lateral derecha Fuente: Elaboración propia

El sistema de succión de agua permite el llenado automático de la campana a cuatro aguas mediante una motobomba centrífuga.

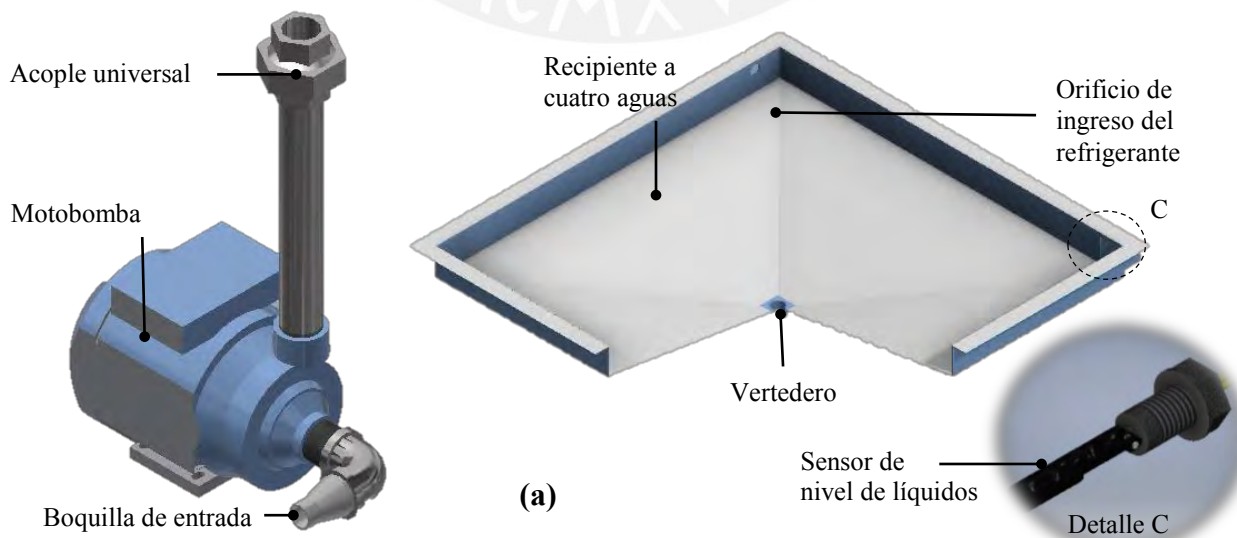


Figura 4.2.6 Bomba centrífuga, tolva de recepción de agua Fuente: Elaboración propia

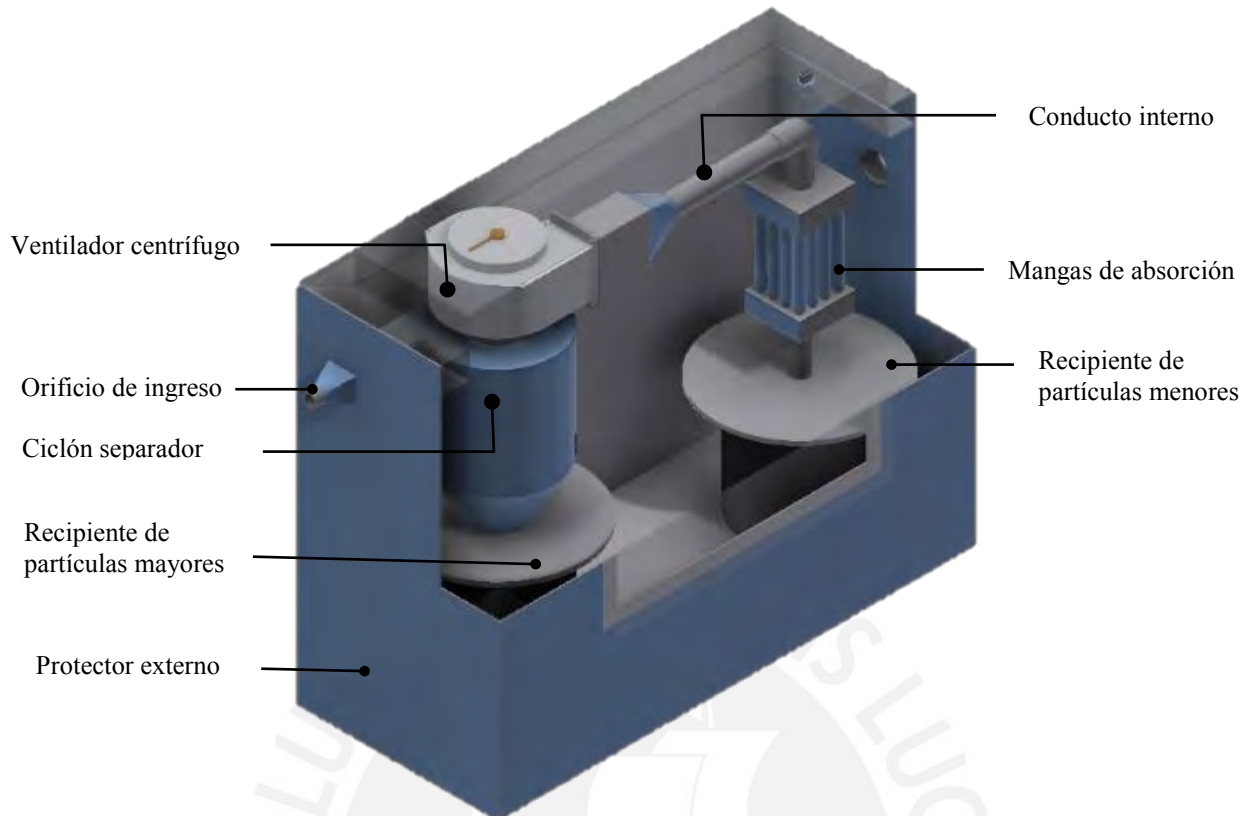


Figura 4.2.7 Sistema de ventilación y separación de partículas Fuente: Elaboración propia

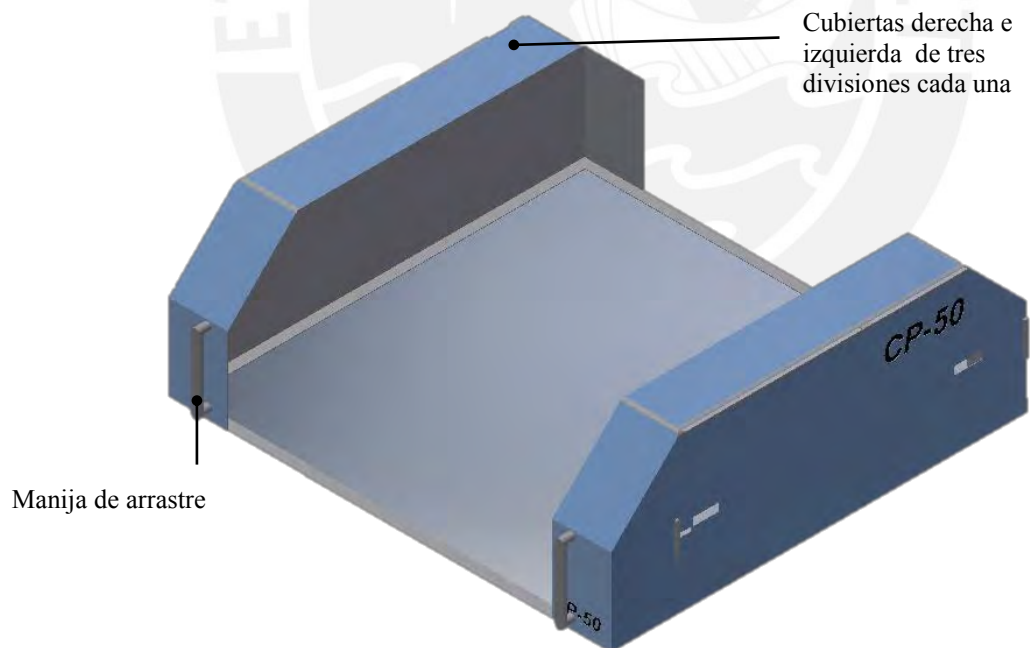


Figura 4.2.8 Cobertor exterior de seguridad Fuente: Elaboración propia

El sistema diseñado se compone de controladores, driver, amplificadores de señales, sensores, observar la interrelación entre ellos. Los bloques contenedores indican el subsistema del cual forman parte. En la figura 4.3 se muestra el diagrama de bloques.

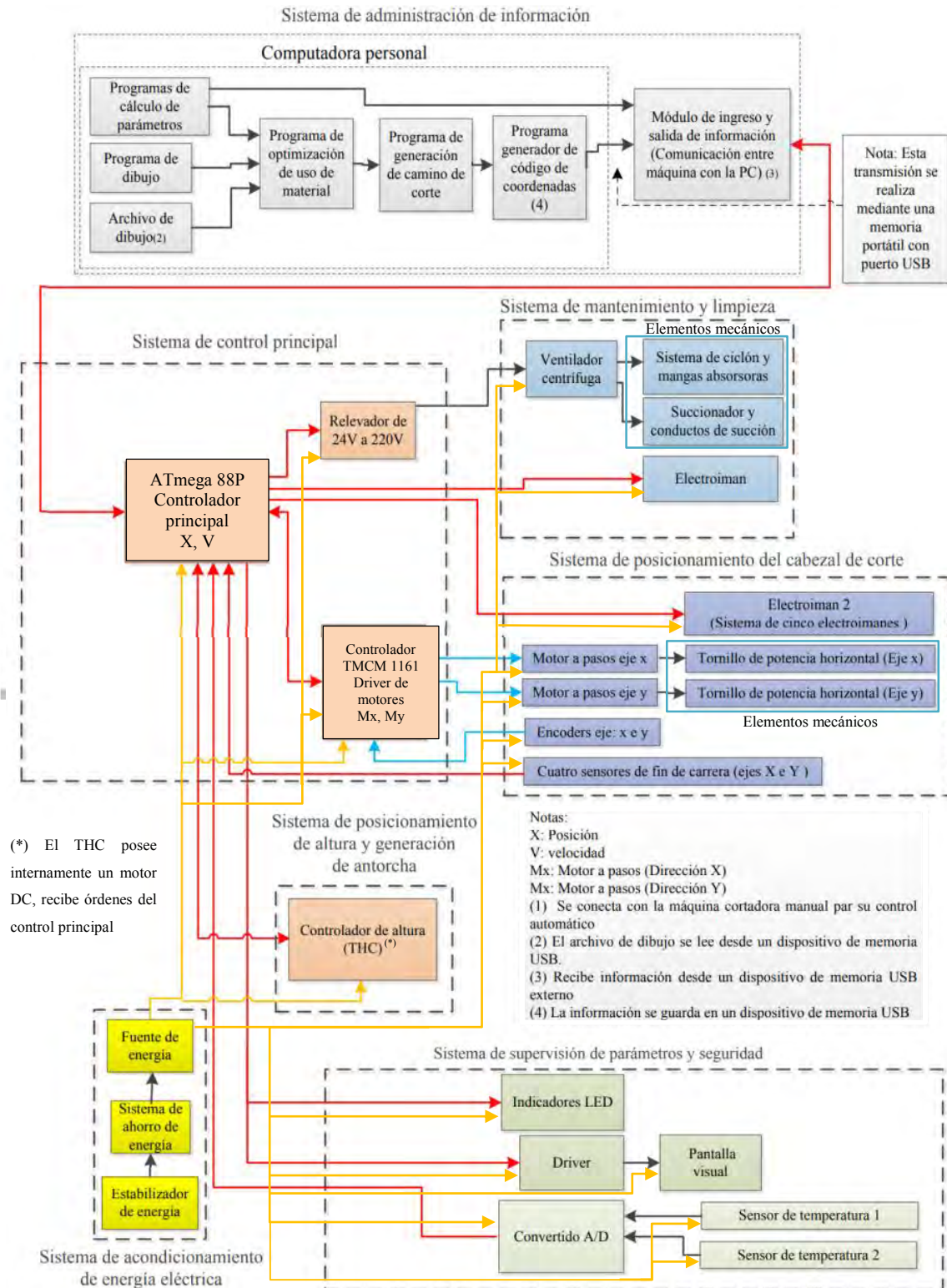


Figura 4.3 Diagrama de bloques del sistema integrado Fuente: Elaboración propia

**4.2 Subsistemas y componentes de trabajo:** Para el diseño del sistema de corte se realizaron cálculos para dimensionar de forma más exacta y eficiente los componentes del sistema. Se presentan los componentes seleccionados a partir de los cálculos del sistema (Anexo B) en los cuales se verificó la velocidad de corte, la trayectoria resultante, la precisión, exactitud, fuerzas en el cabezal de corte, en el tornillo de potencia, potencia de los motores a pasos, resistencia ante esfuerzos, fatiga y factor de seguridad de los ejes roscados, de los rodamientos y pandeo de las columnas de la mesa de trabajo. En las figuras 4.4.1-3 se muestran los principales elementos de la máquina.

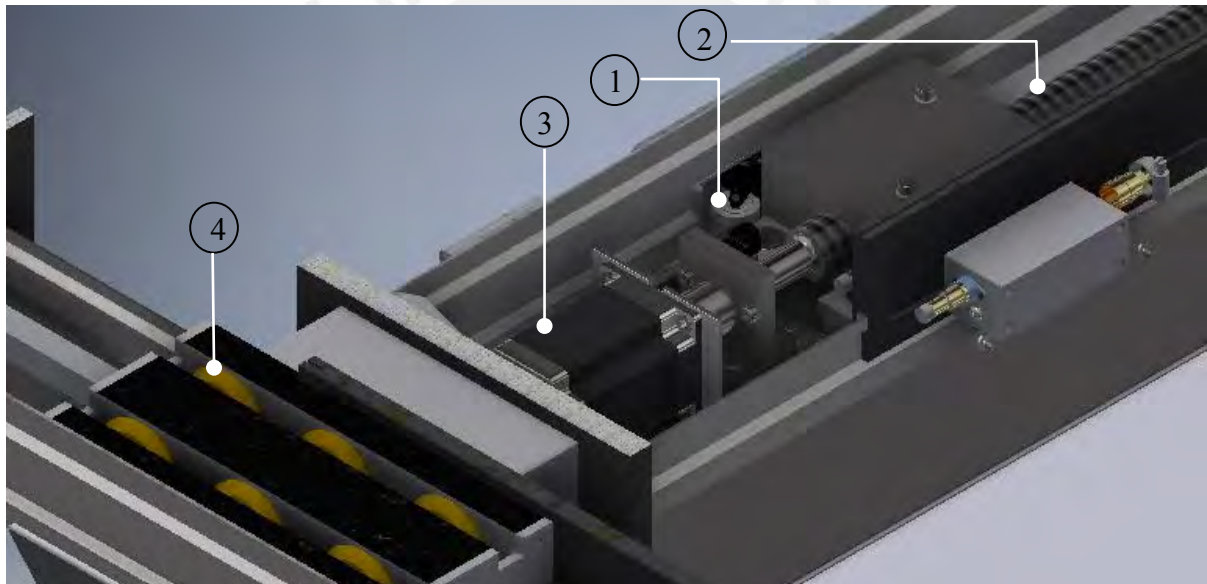


Figura 4.4.1 Elementos del sist. motor  $Y^{\pm}$  y del sist. guía  $X^{\pm}$

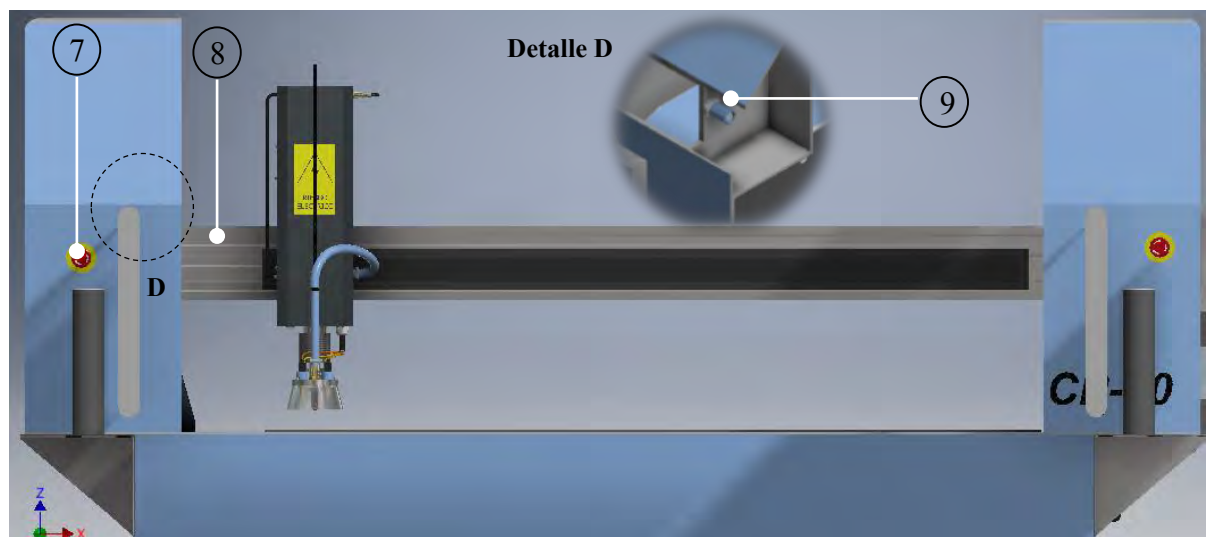
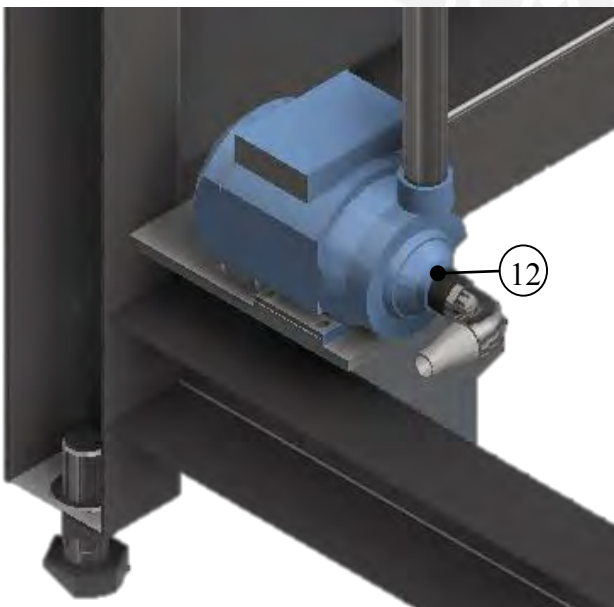
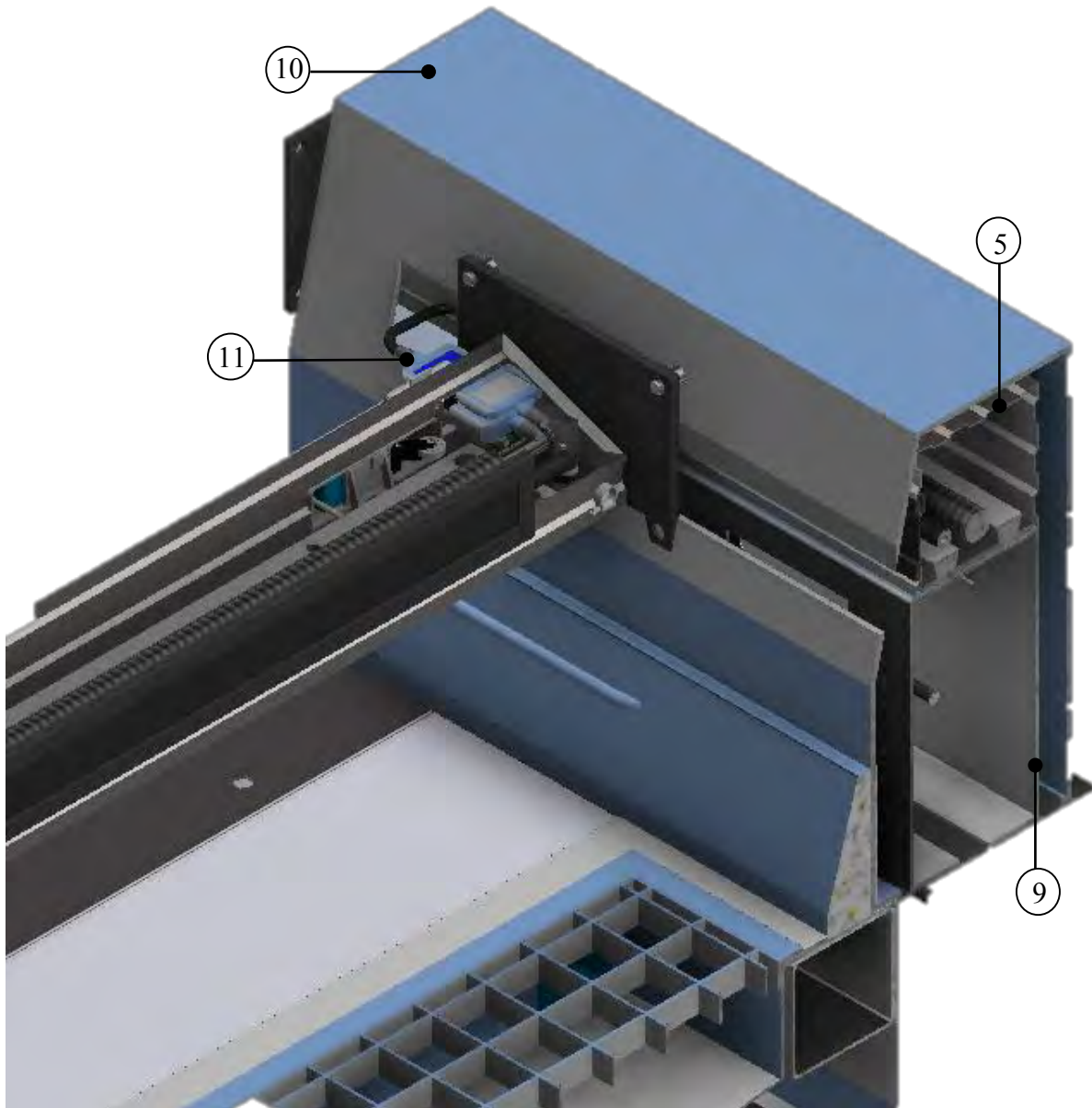


Figura 4.4.2 Vista frontal del sistema motor Y y del sistema guía X Fuente: Elaboración propia



### COMPONENTES

- |    |                                      |
|----|--------------------------------------|
| 1  | Sensor de fin de carrera             |
| 2  | Eje roscado                          |
| 3  | Motor a pasos                        |
| 4  | Carro guiado X                       |
| 5  | Estructura del sist. X               |
| 6  | Estructura del sist. Y               |
| 7  | Botón de emergencia frontal          |
| 8  | Sensor de presencia                  |
| 9  | Base de apoyo del sist. Motor X      |
| 10 | Cobertor externo de protección       |
| 11 | Conector de señales eléctricas       |
| 12 | Bomba de líquido refrigerante (agua) |

Figura 4.4.3 Estructura de soporte y protección de los sistemas de movimiento Fuente: Elaboración propia

**4.2.1. Sistema de posicionamiento del cabezal de corte:** Se describen más a detalle los criterios de selección en las páginas 54 y 55 del anexo B.

**1) Motor a pasos:** Se selecciona el motor de avance por pasos puesto que se requiere un control exacto de posición y velocidad, el motor híbrido suma ventajas del motor de imán permanente y el de reluctancia, para control en la dirección X se tiene el modelo PD60-3-1161 con torque de 2.1 N.m valor requerido de acuerdo a cálculos considerando cargas estáticas y dinámicas, se considera como factor de seguridad 1.2, el movimiento en dirección al eje Y se selecciona el mismo modelo por razones de estandarización que facilita el ensamble, mantenimiento e intercambio de componentes. En la figura 4.5 se muestra el modelo junto al controlador TMC1161 el cual se seleccionó ya que son modelos compatibles del mismo fabricante.

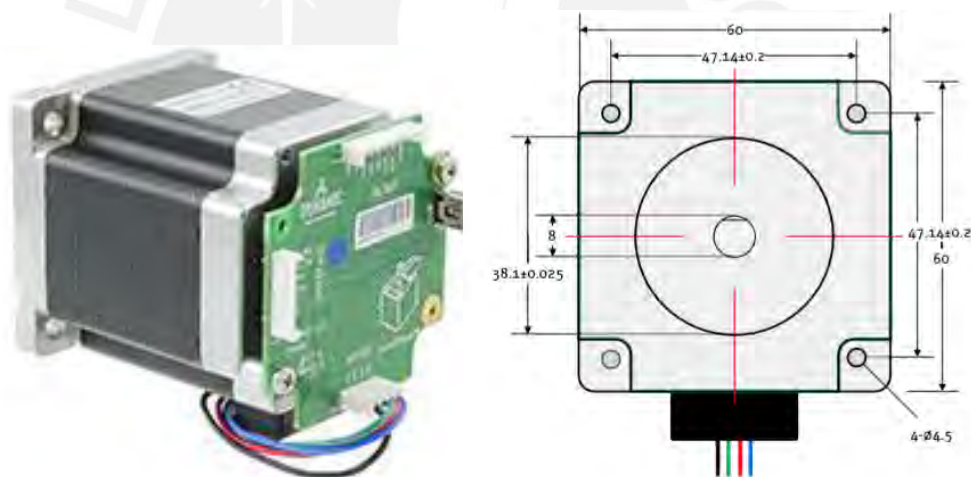


Figura 4.5 Motor a pasos PD60-3-1161 Fuente: Trinamic Motion Control GmbH ®

Las características se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 4.1 Características del motor a pasos PD60-3-1161 Fuente: Elaboración propia

Características	Descripción
<i>Fabricante</i>	Trinamic Motion Control GmbH
<i>Modelo</i>	PD60-3-1161
<i>Tipo, torque</i>	Híbrido con dos polos , 2.1 N.m
<i>Voltaje, Corriente</i>	24VCC, 2.8A
<i>Pasos por vuelta , Nema</i>	200, 24
<i>Diámetro de eje, Longitud</i>	8 mm, 24 mm

2) **Sensor de fin de carrera:** Para conocer los límites del movimiento del cabezal de corte y del sistema de movimiento en el eje Y se requieren de 2 sensores por cada sistema. Se escoge un modelo que permita ser posicionado de forma vertical y que pueda soportar la carga de trabajo de una máquina industrial y que tenga poca resistencia al rozamiento al entrar en contacto con el elemento que se presione el botón, por lo que se escoge el modelo Top Vertical Roller Lever. Se muestra en la figura 4.6 el sensor escogido y sus medidas principales.

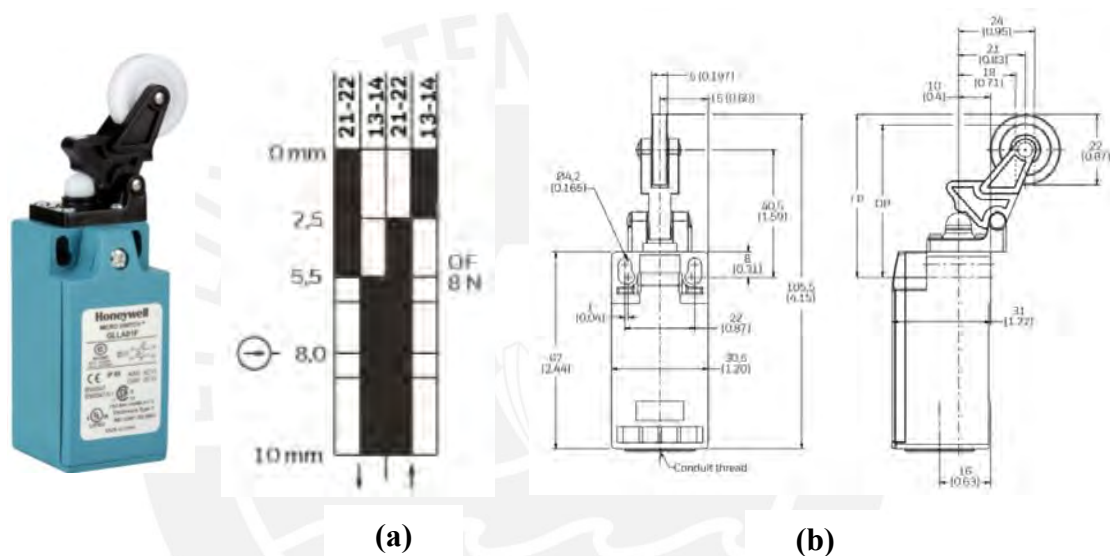


Figura 4.6 Sensor de límite GLLA01F (a) Diagrama de accionamiento (b) dimensiones

Fuente: Honeywell ®

En la tabla 4.2 se presentan sus características principales

Tabla 4.2 Características del sensor GLLA01F Fuente: Elaboración propia

Características	Descripción
<i>Fabricante</i>	Honeywell sensing and productivity Solutions
<i>Modelo</i>	GLLC01F
<i>Empaquetado, tipo</i>	Bulk, 1 NC - 1 NO
<i>Capacidad</i>	10A , 300VAC, 250VDC
<i>Tipo de actuador</i>	Palanca con rodillo, acción rápida
<i>Seguridad</i>	IP66, Dust Tight, Water Resistant
<i>Vida mecánica</i>	5,000,000 ciclos
<i>Temperatura de operación</i>	-10 a 80°C
<i>Fuerza de operación</i>	8 N

3) **Rodamientos:** Para el sistema de movimiento del Eje X e Y se escogen rodamientos rígidos de bolas para ejes en posición horizontal, puesto que estos disminuyen altamente la fricción en el giro del eje y su apoyo. Posee obturación por paso estrecho en ambos lados, se selecciona según cálculos mecánicos (**Anexo B**). De la norma DIN 625-1 se selecciona rodamientos con las siguientes características (figura 4.7).

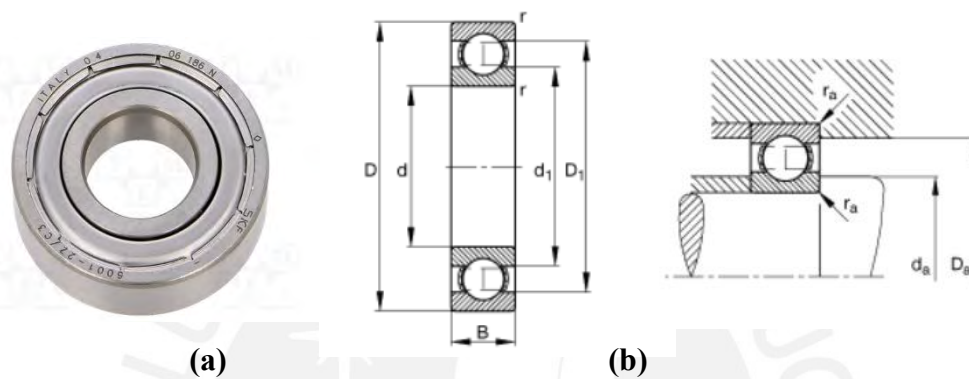


Figura 4.7 Rodamiento DIN 625-1 (a) Vista exterior (b) Medidas normalizadas

Fuente: (a) SKF®, (b) FAG®

Se muestra en la tabla 4.3 la cantidad de rodamientos por sistema y en la tabla 4.4 las características. Se prefiere rodamientos de medidas semejantes para facilidad de mantenimiento y ensamble.

Tabla 4.3 Cantidad de rodamientos requeridos por eje Fuente: Elaboración propia

Parte	Cantidad	Diámetro interno
Eje x	2	12mm
Eje y	2	12mm

Tabla 4.4 Características del rodamiento 6001-2Z seleccionado Fuente: Elaboración propia

Características	Descripción	Características	Descripción
Tipo	Rodamiento rígido de bola con obturación doble	$r_a$ máx.	0.3mm
Norma	DIN 625-1, 6001-2Z	$d_a$ mín.	14mm
Diámetro interno (d)	12mm	$D_a$ máx.	26mm
Diámetro externo (D)	28mm	Peso	0.02 Kg
Ancho (B)	8mm		

#### 4.2.2. Sistema de mantenimiento, limpieza y absorción de emisiones y partículas

1) **Ventilador Centrífugo:** Para el sistema de absorción de emisiones y partículas se requiere de una fuente de extracción de aire, para la cual se escoge un ventilador centrífugo que posea el punto de operación necesario de  $350 \text{ m}^3/\text{min}$  y presión estática de  $2 \text{ N/m}^2$  según los cálculos del ciclón y las mangas de absorción y emita un ruido alrededor de los  $60 \text{ dB}$ . El ventilador consiste de un motor eléctrico y una tobera de forma espiral con la cual succiona las emisiones en las cercanías del lugar de corte, estos gases succionados se encuentra entre  $25$  y  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  en la entrada de la manguera de succión, el aire conducido con partículas metálicas a temperatura ambiente es filtrado previamente (Ver sistema de succión por ciclón, figura 4.10), luego es expulsado con temperatura igual a la de entrada  $\pm 10\%$ . En la figura 4.8 se muestra el modelo de ventilador centrífugo seleccionado y sus accesorios internos.

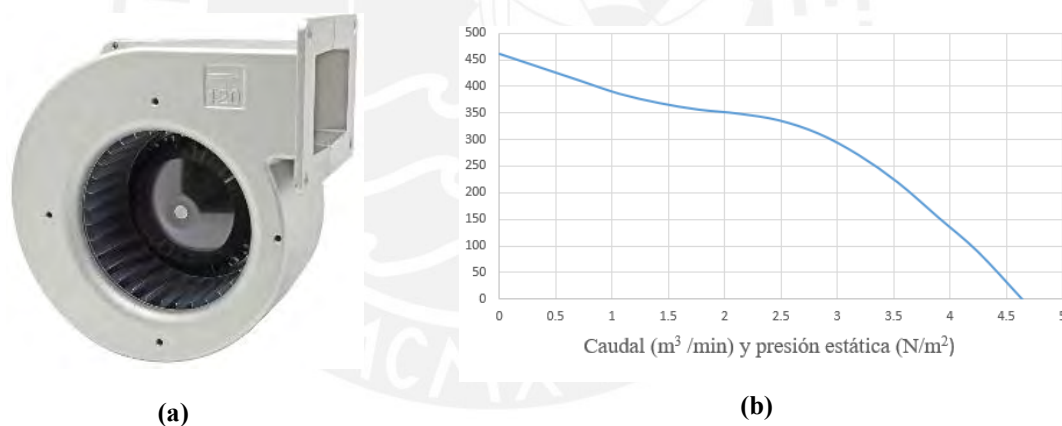


Figura 4.8 Ventilador centrífugo (a) Vista lateral (b) Diagrama caudal vs. presión a 60Hz  
Fuente: Shyuan Ya®

Las principales características del ventilador se muestran en la tabla 4.5

Tabla 4.5 Características del ventilador centrífugo Fuente: Elaboración propia

Características	Descripción
Marca	Shyuan Ya
Modelo	CA120-98T-FMG-B33-2C
Potencia	94W
Flujo de aire	$270 \text{ m}^3/\text{h}$
Presión	$350 \text{ N/m}^2$
Velocidad	2300 rpm
Ruido	60dB
Fuente de alimentación	230V, monofásico

2) **Sistema de succión con ciclón y mangas absorbentes:** Este sistema permite la absorción de aire y la separación de partículas pesadas: escorias y partículas metálicas, y livianas: Tinte de color oscuro presente en los gases y compuestos emitidos. El modelo a fabricar será el que se muestra en la figura 4.9. El proceso inicia en la toma del aire, gases y partículas por la tobera situada en el extremo de la antorcha de corte (1), luego por las tuberías flexible (2) llega al ciclón (3) donde por efectos de la fuerza centrípeta se separan las partículas más pesadas y se almacenan en un recipiente metálico (4) con capacidad de 1000 cm<sup>3</sup> el cual es vaciado periódicamente, luego el fluido se dirige a un filtro de mangas (5) el cual distribuye el flujo único en nueve de menor caudal y velocidad, las partículas de menor diámetro son capturadas por las vellosidades de los filtros y el resto del aire es expulsado al exterior con menor cantidad de contaminantes, se cumple con la ley de cuidado ambiental (ver cálculo en la página 50 del anexo B)

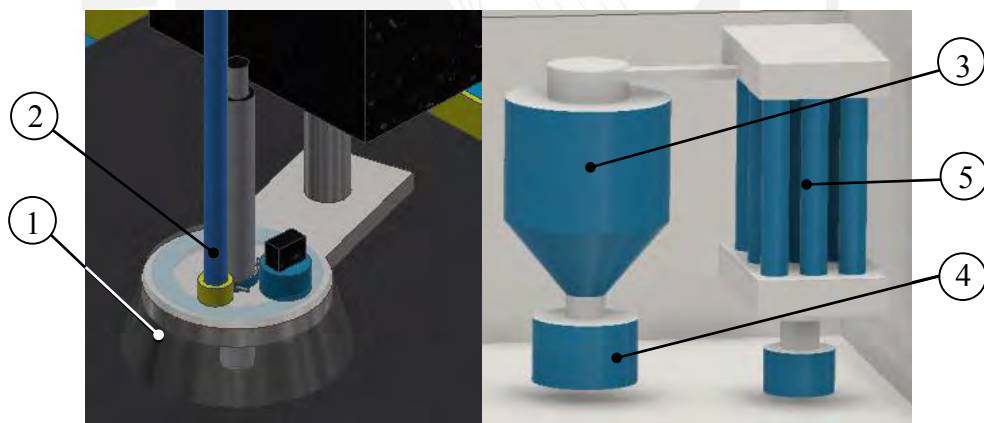


Figura 4.9 Sistema de absorción de emisiones y partículas (a) Sujetador de antorcha (b) Sistema de ciclón y mangas absorbentes Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3. Sistema de control de altura y generación de antorcha

**Sistema de control de altura (THC):** Existen controladores propios de los fabricantes de las cortadoras plasmas cuyos costos son 10 veces más que los de compañías de productos compatibles, aunque son más precisos, eficientes y presentan mejor acabado superficial, el sistema seleccionado es suficiente. El sistema se adapta a la forma del generador de

antorcha de la cortadora manual seleccionada para automatizar, presenta botones que permiten su control manual, la carrera del sistema de elevación de la antorcha es de 200 mm el cual es suficiente puesto que se requiere cortar elementos de hasta 50 mm de espesor y está diseñada para trabajar con procesos de corte plasma. El sistema presenta los siguientes componentes (figura 4.10):

- 1 *Mecanismo de movimiento del cabezal de corte en dirección del eje Z:* Incluye en su interior: Un motor DC eléctrico, un tornillo de bolas u una caja de protección.
- 2 *Módulo de control de altura:* el cual mediante botones e indicadores de 7 segmentos permite modificar y conocer la altura a la que se encuentra la boquilla por donde se emite el gas plasma respecto de la superficie del material a cortar.
- 3 *Divisor de voltaje:* el cual se conecta a la cortadora plasma si su modelo lo permite para modificar la intensidad de la corriente para el corte de forma automática.
- 4 *Sujetador del generador de la antorcha plasma:* Posee un sensor de campo magnético y un sensor de presión ejercida sobre el material a cortar.
- 5 *Conectores eléctricos:* Transmiten las señales de los sensores al módulo de control (2).



Figura 4.10 Componentes del sistema de control de altura y divisor de voltaje **Fuente:** XPCNC®

Se muestra en la tabla 4.6 un resumen de la información sobre el controlador seleccionado.

Tabla 4.6 Características del sistema de control de altura y divisor de voltaje (Elaboración propia)

Característica	Información
<i>Modelo y aplicación</i>	XPTH-100III, CNC Plasma Z-axis
<i>Motor interno y modo de control</i>	DC, 24VDC, PWM
<i>Corriente de salida</i>	1-4 A
<i>Carrera de elevación</i>	200 mm
<i>Tipo de control</i>	Arco voltaico plasma
<i>Velocidad de desplazamiento</i>	1000 a 4000 mm/min
<i>Precisión de control</i>	+/- 1 a +/- 3V

Se presenta en la figura 4.11 el diagrama de bloques del sistema de control de altura y sus conexiones con el sistema de movimiento en el eje Z de la antorcha, con el controlador principal, con la cortadora plasma manual, con el detector de colisiones y con el suministro de energía. Utiliza el divisor de voltaje para la medición de la tensión eléctrica en el electrodo.

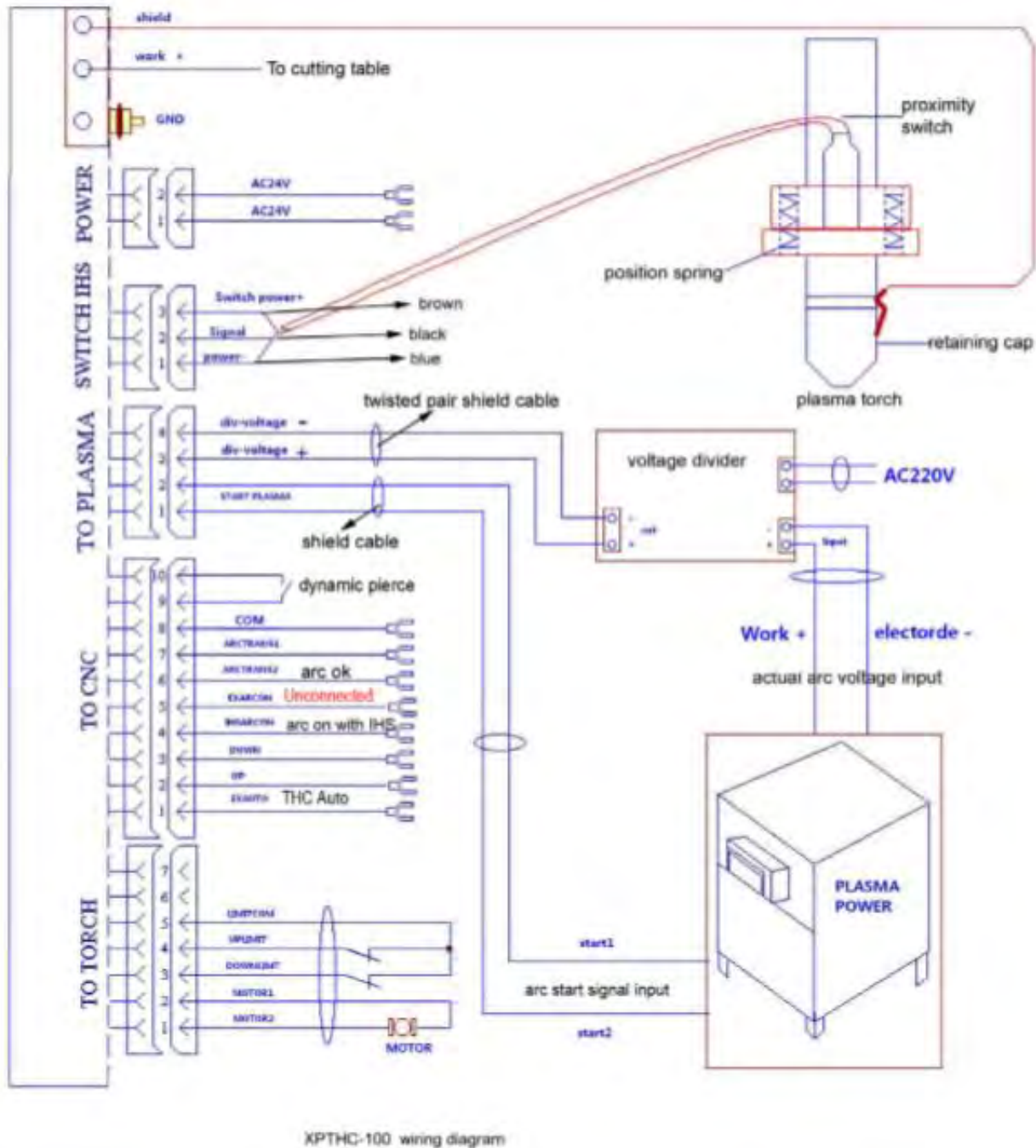


Figura 4.11 Diagrama de bloques del sistema de control de altura Fuente: XPCNC®

**4.2.4. Sistema de verificación y seguridad:** Las emisiones compuestas por anhídridos carbónicos, fosgenos, ozonos, amianto y fluoruros (página 1) son evaluados en su temperatura durante su generación en el trabajo. Para verificar las condiciones en la tobera de la máquina se utilizan dos sensores de temperatura del aire, los cuales se acoplan por agujeros pasante, por ser rápido de mecanizar, poseen rango de trabajo que permite censar entre 0 y 100 °C, temperaturas que corresponden a la mínima del lugar de trabajo y a la evaporación del agua. El sensor (figura 4.12) se comunica con el controlador principal mediante un convertidor analógico digital (CAD), si el fluido supera el valor de 70 °C, el doble del valor máximo esperado para el fluido, se envían señales eléctricas al controlador principal, el cual enciende una luz roja de emergencia o corta la energía a la máquina. Estos sensores se basan en un termistor insertado en un cuerpo metálico. Se requieren dos de estos sensores.

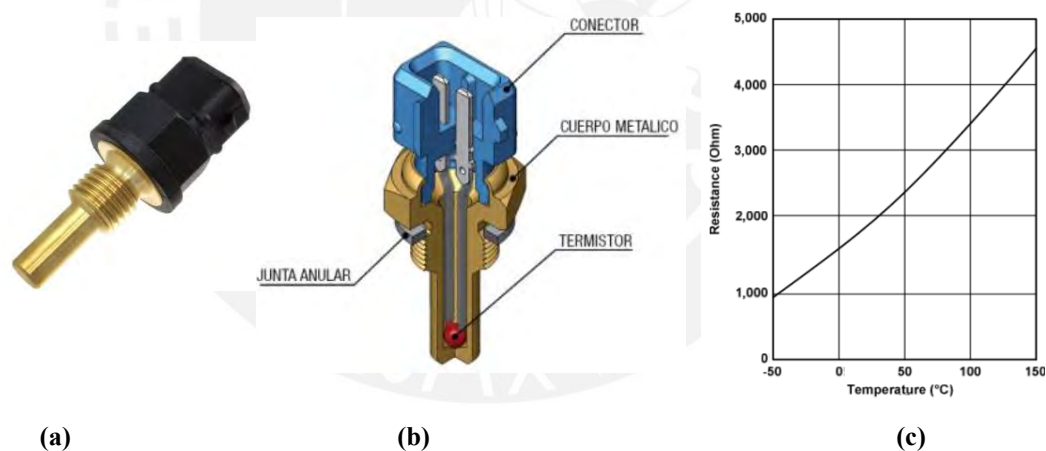


Figura 4. 12 Sensor de temperatura ES120 0024 (a) Vista isométrica (b) Partes de un termistor (c) Tabla de relación Temperatura vs. Resistencia Fuentes: Honeywell®

En la tabla 4.7 se presentan una breve descripción del sensor a utilizar

**Tabla 4.7** Características del Sensor de temperatura ES120 0024 (Elaboración propia)

Características	Descripción
<i>Fabricante</i>	Honeywell sensing and productivity solutions
<i>Código</i>	ES120-0024
<i>Montaje</i>	Roscado M12 x 1.5
<i>Tipo</i>	KTY
<i>Tensión</i>	12V
<i>Temperatura</i>	-40 a 150°C
<i>Aplicación</i>	Medir temperatura del aire o gas

**4.2.5 Sistema de control general:** Para cumplir con el requerimiento de que la máquina pueda ser utilizada sin programar, se elaboró una lógica de control que permite utilizar la máquina de forma asistida o de forma automática. En la figura 4.13.1 Se muestra el flujograma general del sistema de corte plasma.

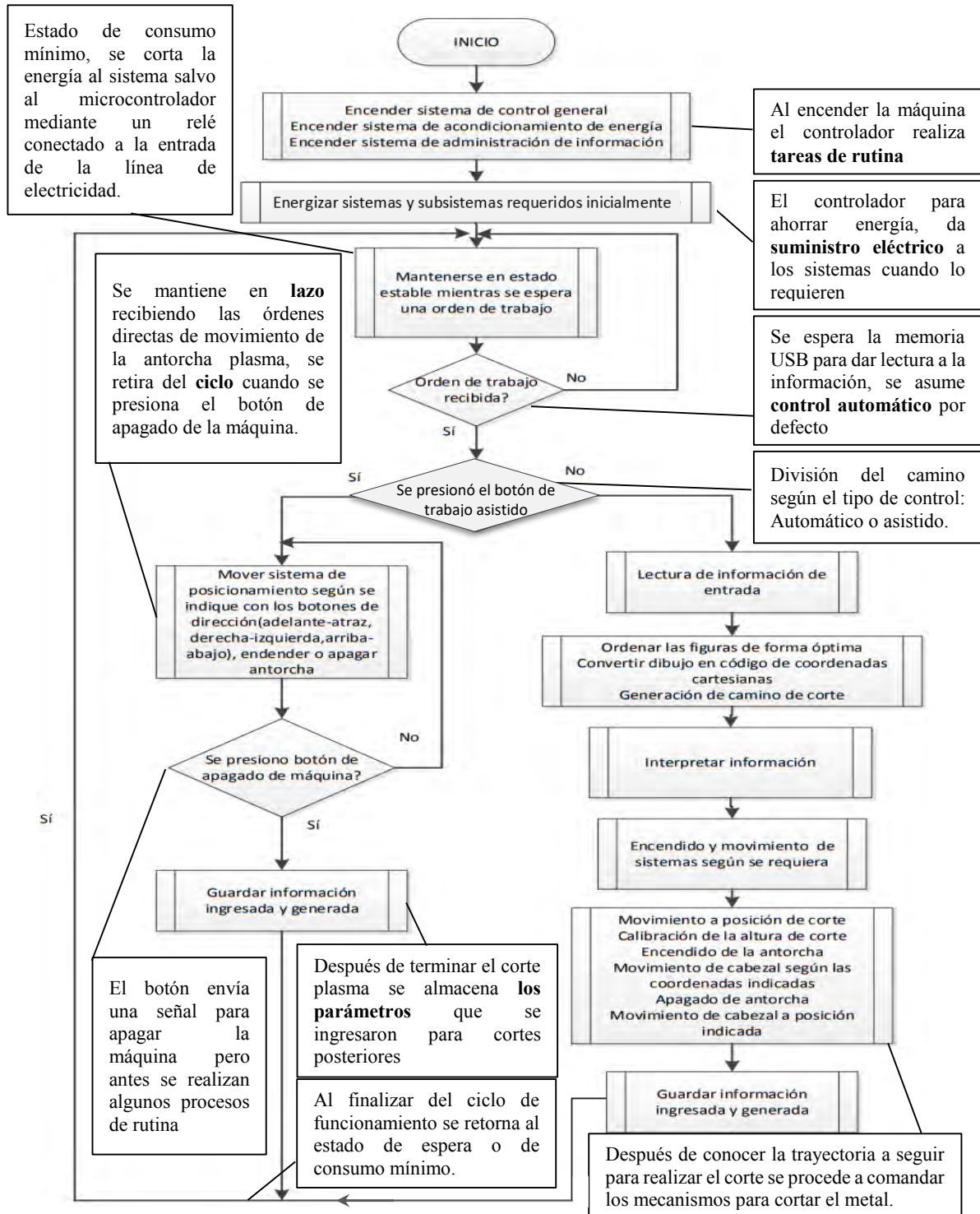


Figura 4.13.1 Diagrama de flujo del sistema general (Elaboración propia)

A continuación se muestra la lógica de las siguientes funciones: Lectura de información de entrada: figura 4.13.2, movimiento guiado: figura 4.13.3, interrupción para detectar de temperatura, encender bomba centrífuga y encender ventilador centrífugo, cálculo de parámetros del movimiento del motor X o Y: figura 4.13.4 y generar trayectoria: figura 4.13.5.

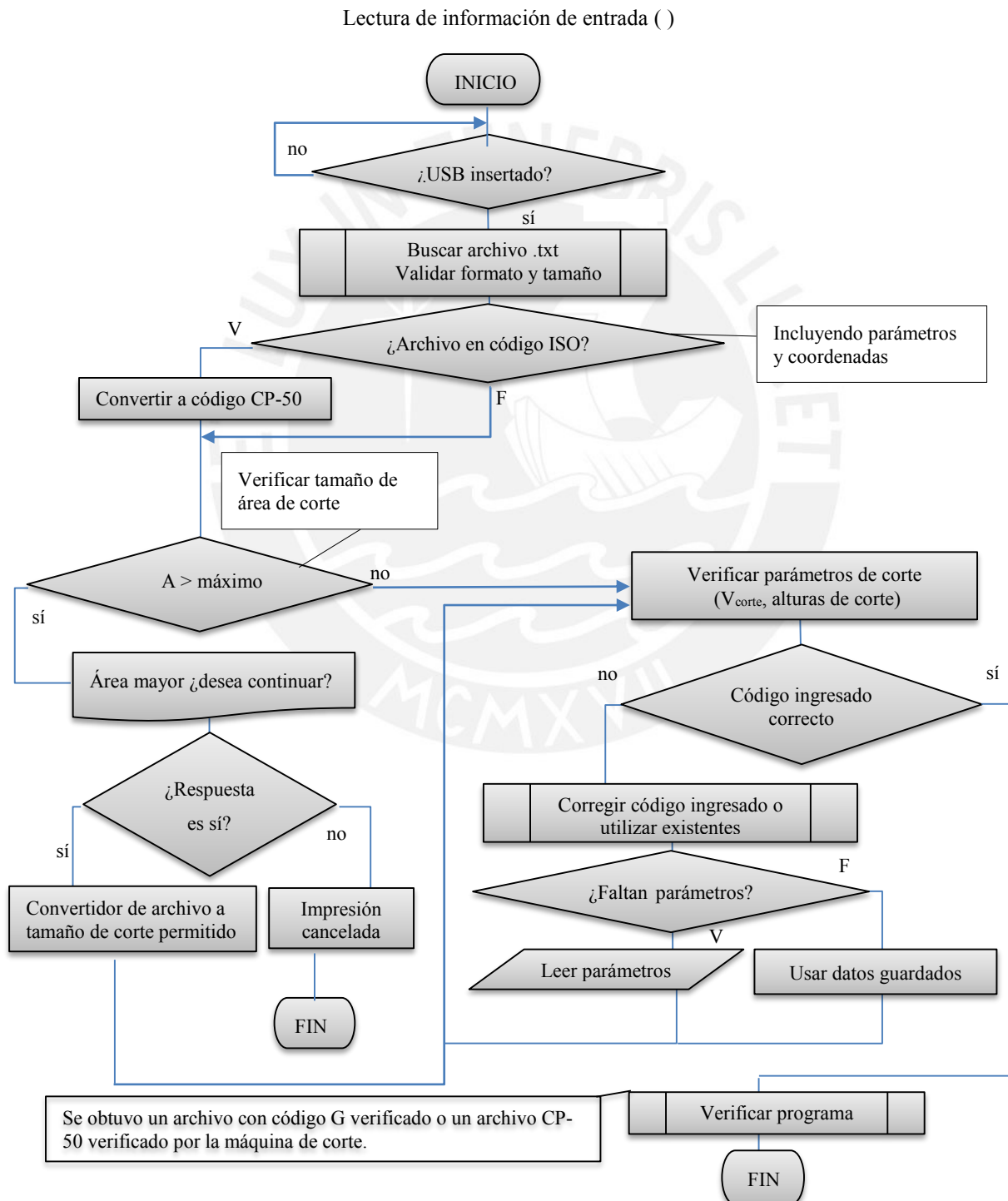


Figura 4.13.2 Diagrama de flujo de función: lectura de datos (Elaboración propia)

Movimiento guiado ( )

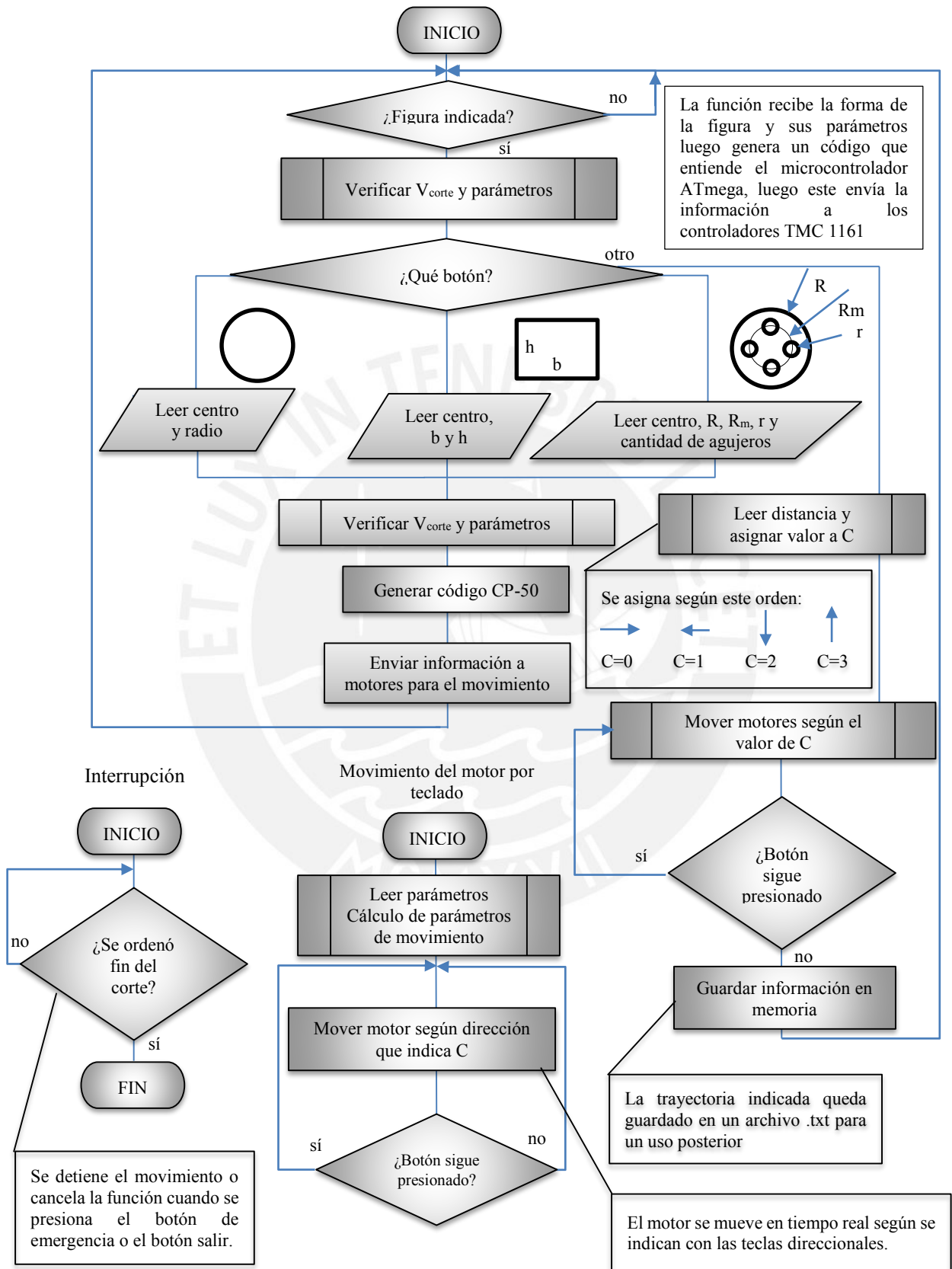


Figura 4.13.3 Diagrama de flujo de función: Movimiento guiado (Elaboración propia)

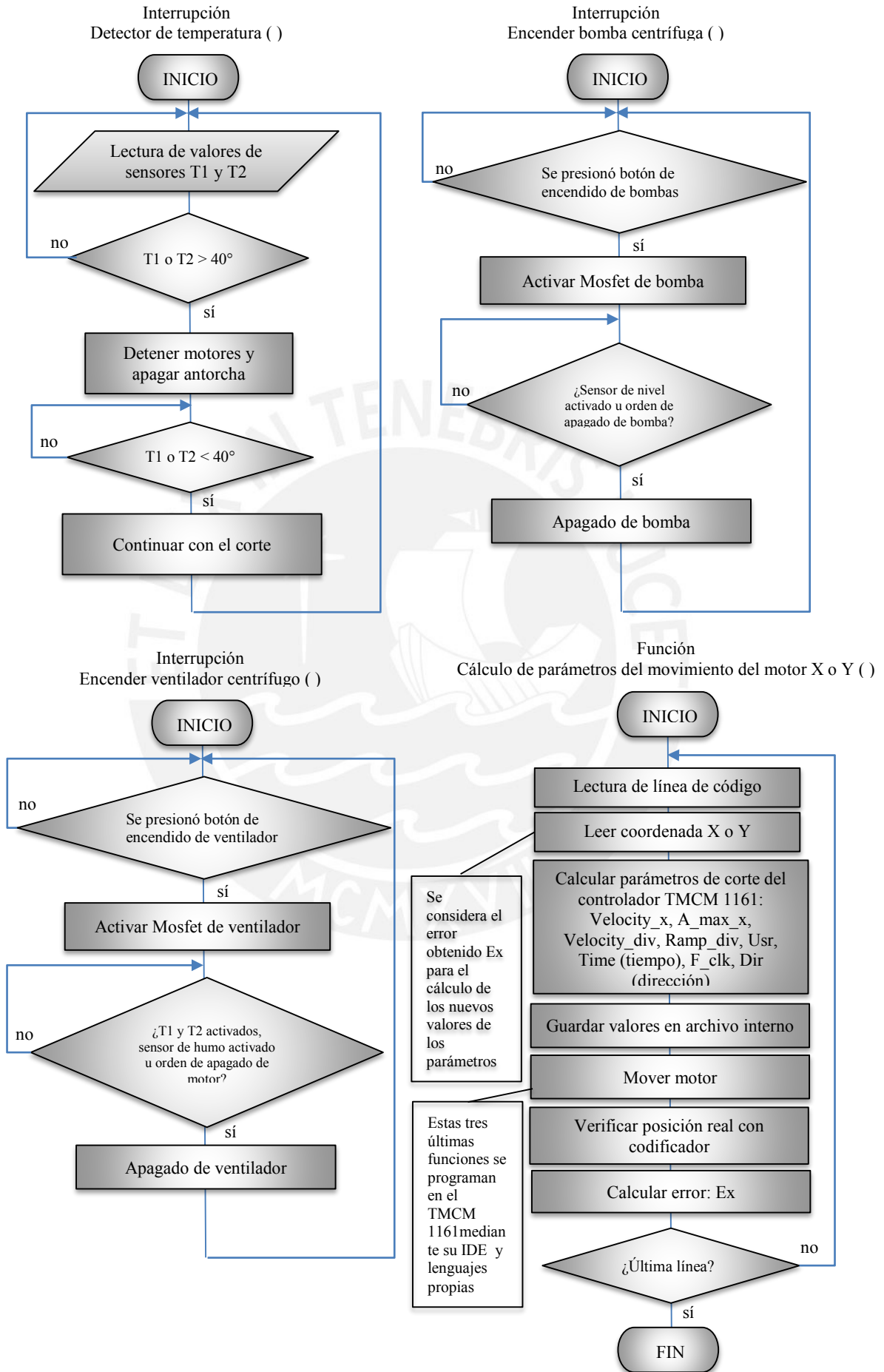
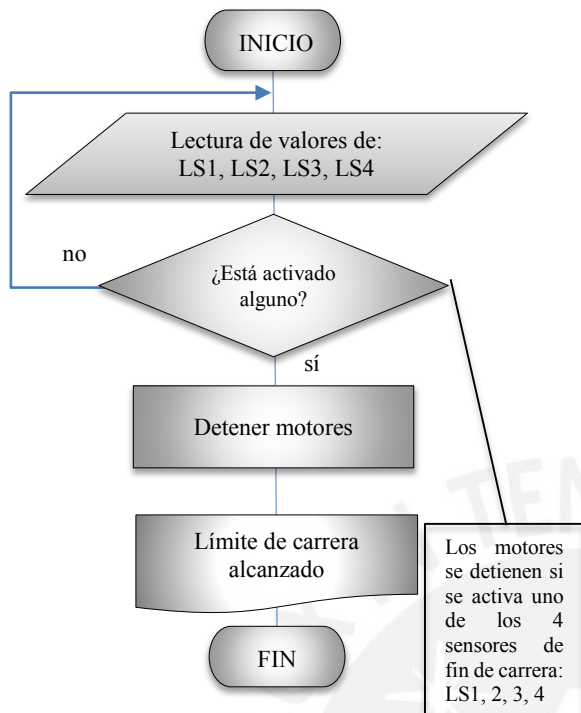
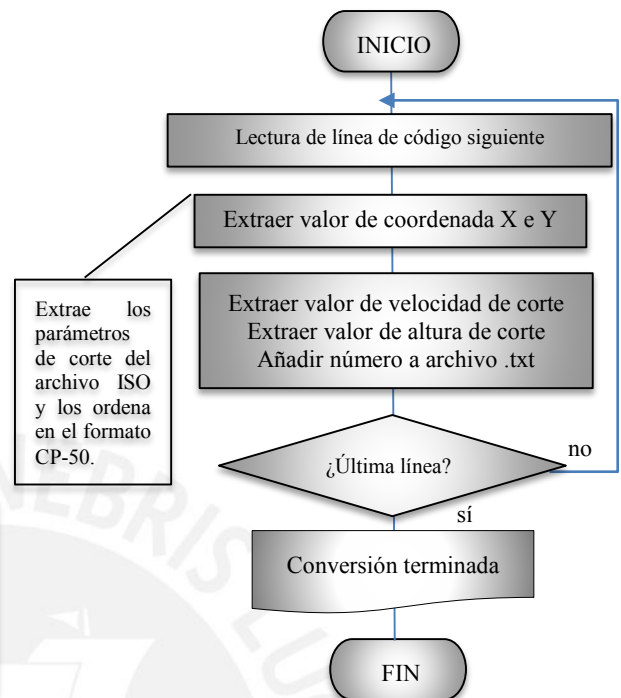


Figura 4.13.4 Diagrama de flujo de interrupciones y cálculo de parámetros (Elaboración propia)

Interrupción  
Movimiento de motores ( )



Función: Convertir archivo ISO a CP-50 ( )



Función: Generar trayectoria de corte ( )

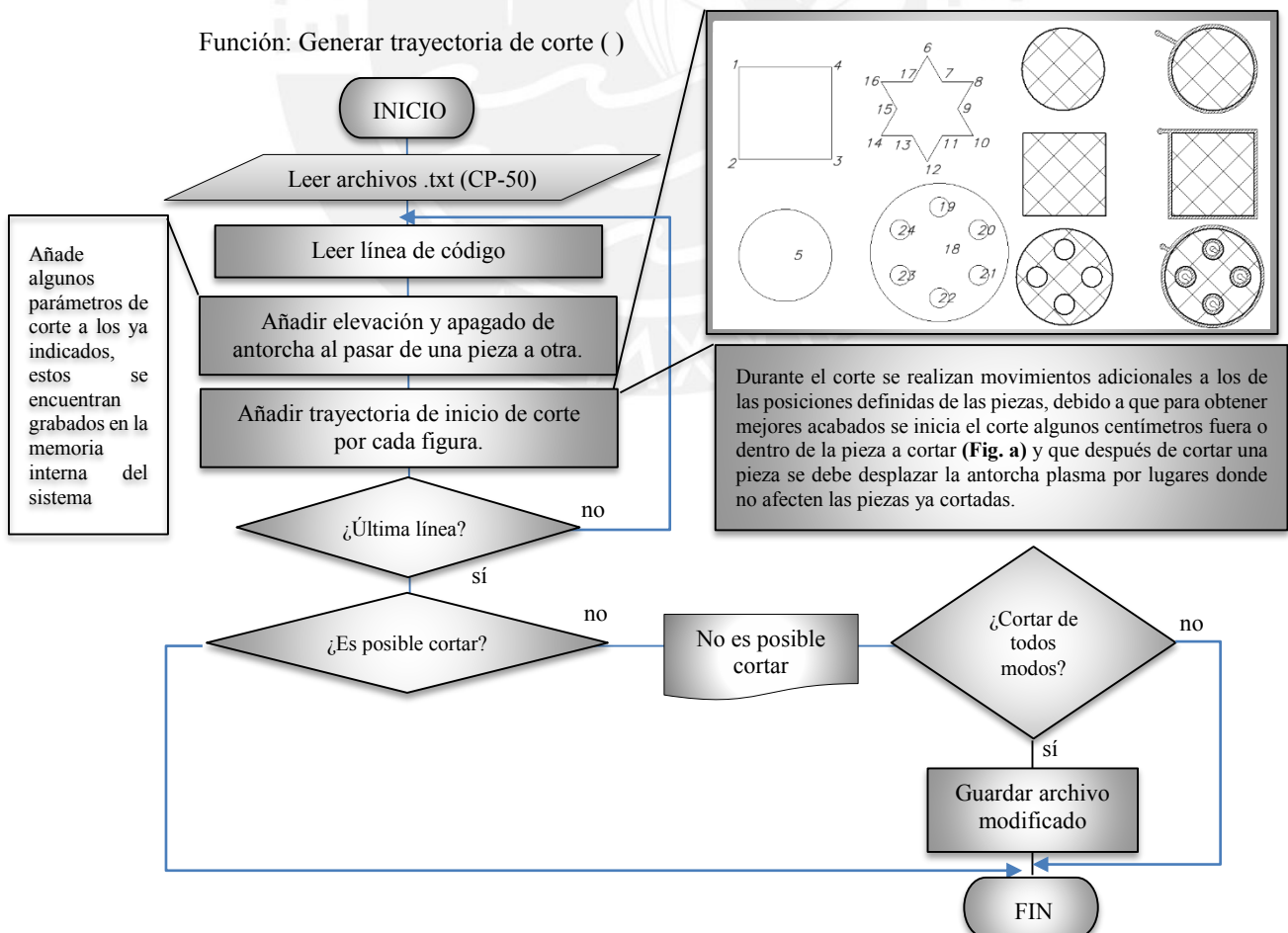


Figura 4.13.5 Diagrama de flujo de función: Generar trayectoria (Elaboración propia)

La máquina a diseñar posee un tipo de control para cada variable las cuales se describen a continuación:

- Se busca controlar todo el proceso por medio de dos controladores, el primero es el principal el cual administra los movimientos de las partes mecánicas de la máquina relacionadas con los sistemas de mantenimiento y limpieza, el sistema de posicionamiento. Se posee también comunicación con un controlador de altura (THC) el cual es un dispositivo independiente y compatible con la cortadora plasma seleccionada, que le da información de obstáculos y de la altura de la antorcha. Y si está encendida.
- El segundo controlador se relaciona con el control y supervisión de la antorcha de corte plasma, posee un sistema de control de corriente y voltaje de la máquina cortadora manual plasma, controla el encendido de la antorcha y recibe información de sensores sobre la temperatura del cabezal de corte.
- Si se dispone de una computadora en el cual se tiene instalado programas CAD/CAM por parte de los usuarios de la máquina, este ordenador podrá participar del sistema de administración de información puesto que su sistema puede recibir información sobre las figuras mediante un software CAD, luego el usuario podrá ordenar las figuras de forma que ocupen un menor espacio en la pieza base mediante un programa de ordenamiento de figuras (nesting) y a partir de este generar un código de coordenadas el cual se graba en una memoria portátil USB que se inserta en la máquina.

A continuación se explican las estrategias de control a utilizar:

**1. Sistema de posicionamiento y movimiento del cabezal:** Se controlará :

- Posición y velocidad de la antorcha ( $X, Y, X'$  e  $Y'$ ): Se realiza un control en lazo cerrado de ambas variables de forma conjunta para generar los parámetros que rigen la salida de control: **Nº Pulsos/s** y **T**.

Mediante el controlador **TMCM 1161** el cual posee un encoder para retroalimentar la salida, se ajustan las 4 señales de salida de cada motor, los parámetros de entrada como velocidad de corte ( $V_c$ ) y tabla de posiciones en coordenadas de la trayectoria conducen a dos parámetros de control: cantidad de pulsos por segundo (**Nº Pulsos/s**) y duración de tren de pulso (**T**) por cada motor que se controla, al variar estos valores se modifica la posición (**X, Y**) y velocidad (**X', Y'**) de cada motor a pasos.

## ***2. Sistema de control de altura y generación de antorcha:***

-*Altura de antorcha plasma (H):* Se realizará un control lazo cerrado, el módulo **XPTHC-4** controla los parámetros de altura mediante un sensor de presión sobre la pieza base y envía señales **PWM** a una tarjeta interna la cual actúa sobre un el motor DC que posee el sistema de movimiento en la dirección **Z<sup>+</sup>** y **Z<sup>-</sup>**.

-*Corriente enviada hacia la máquina cortadora manual ( $I_m$ ):* Si el modelo de cortadora manual lo permite " $I_m$ " será controlado por el módulo **XPTHC - 4** mediante una tarjeta divisora de voltaje la cual modificara la cantidad de corriente de la cortadora y variará el calor generado por la antorcha plasma lo cual permite una mayor o menor profundidad de corte sobre la pieza base.

## ***3. Sistema de mantenimiento, limpieza y absorción de emisiones y partículas:***

Para el encendido de la bomba de agua y ventilador centrífugo (**BA, VC**), se realizará un control On-Off mediante el controlador principal el cual mediante de transistores mosfet encienden o apagan los motores de CA del ventilador centrífugo y de la bomba de agua.

## ***4. Sistema de control general:***

Consta por dos microcontrolador **ATMEGA 88-20PU** comunicados entre sí por el protocolo RS232, uno de ellos lee la información en la memoria **USB** ingresada, calcula la trayectoria a seguir por la antorcha de plasma y generan las señales hacia los controladores **TMCM 1160** que a su vez generan señales de control para energizar y

movilizar los dos motor a pasos para los sistemas de movimiento en dirección:  $X^+$ ,  $X^-$ ,  $Y^+$ ,  $Y^-$  según la velocidad y posición indicadas.

Para obtener un archivo que puede ser identificado y leído por el sistema se tienen los siguientes métodos:

**Método 1:** Conversión de archivos .dxf o .pdf a formato .txt con programa en código ISO mediante PC.

1. Dibujo de formas en programas CAD: AutoCAD, Inventor, SolidWork, Adobe, etc.
2. Guardar documento como archivo .pdf o .dxf
3. Mediante programas como INKSCAPE u otros convertir a archivo de texto con código ISO.

**Método 2:** Escribir archivo .txt en código CP-50 mediante PC.

1. Escribir el programa en código CP-50 el cual es propio de la máquina, ayudado del manual de programación.
2. Guardarlo en un archivo .txt

**Método 3:** Escribir archivo .txt en código ISO mediante PC.

1. Escribir el programa en código ISO considerando las particularidades de la máquina de corte CP-50(ver manual de programación).
2. Guardarlo en un archivo .txt

**Método 4:** Escribir archivo .txt en código CP-50 mediante el tablero de control.

1. Indicar formas con ayuda del teclado y máquina de corte
2. Guardar coordenadas indicadas mediante el panel de control (botón guardar) (Se guarda en código ISO o CP-50 según se escoja), se genera un archivo .txt.

##### **5. Sistema de verificación y seguridad:**

El segundo microcontrolador **ATMEGA 88-20PU** mediante un convertidor analógico-digital convierte las señales de los dos termistores en valores digitales los cuales son

evaluados, el sistema enciende el foco LED de emergencia por calor excesivo en el terminal de corte mediante un transistor mosfet y apaga la antorcha plasma, para una revisión por parte del operario, la variable será la temperatura del cabezal de corte (T).

#### **6. Sistema de acondicionamiento de energía eléctrica**

Se realizará un control sobre el paso de la energía eléctrica hacia los componentes en busca del ahorro de energía eléctrica, entre las principales acciones de control tenemos: energizar los motores cuando el sistema requiera su función, desconectar el fluido eléctrico hacia la máquina cuando se detecta un incremento en la temperatura de los conductores eléctricos debido a cortocircuitos u otras fallas en el sistema eléctrico.

#### **7. Sistema de administración de información**

Se encuentra localizado dentro los microcontroladores los cuales mediante algoritmos, información almacenada e información recibida, generan los parámetros de corte del proceso:

**a) Información almacenada:** Tabla de velocidades de corte según tipo de material y espesor (varía por cada modelo de cortadora plasma), tabla de profundidad de corte según corriente suministrada a la cortadora manual, tabla de alturas de corte según el tipo y espesor de material.

**b) Información de entrada:** Velocidad de corte requerida (en caso se prefiera un a diferente de la recomendada), tipo de material, espesor (es requerido para el control asistido por el operario), posición de inicio del corte (si no se ingresa asumirá la posición de home por defecto).

**c) Información calculada:** Tabla de trayectoria, error de posición y error de velocidad de la antorcha plasma escrita en coordenadas: X e Y, energía consumida en **Kilowatt por hora**, distancia de corte recorrida, costo eléctrico del corte y cantidad de material desprendido por la antorcha. Esto permite conocer el tiempo de duración del corte para

encender las luces de inicio, proceso y fin del trabajo; y el costo de energía eléctrica de operación de la máquina automatizadora de corte y de la cortadora manual juntas.

A continuación se presenta el interfaz hombre-máquina para el control de estas variables en la figura 4.13.6 donde también se muestra un ejemplo de arreglo de formas y la trayectoria del cabezal de corte al momento de cortarlas.

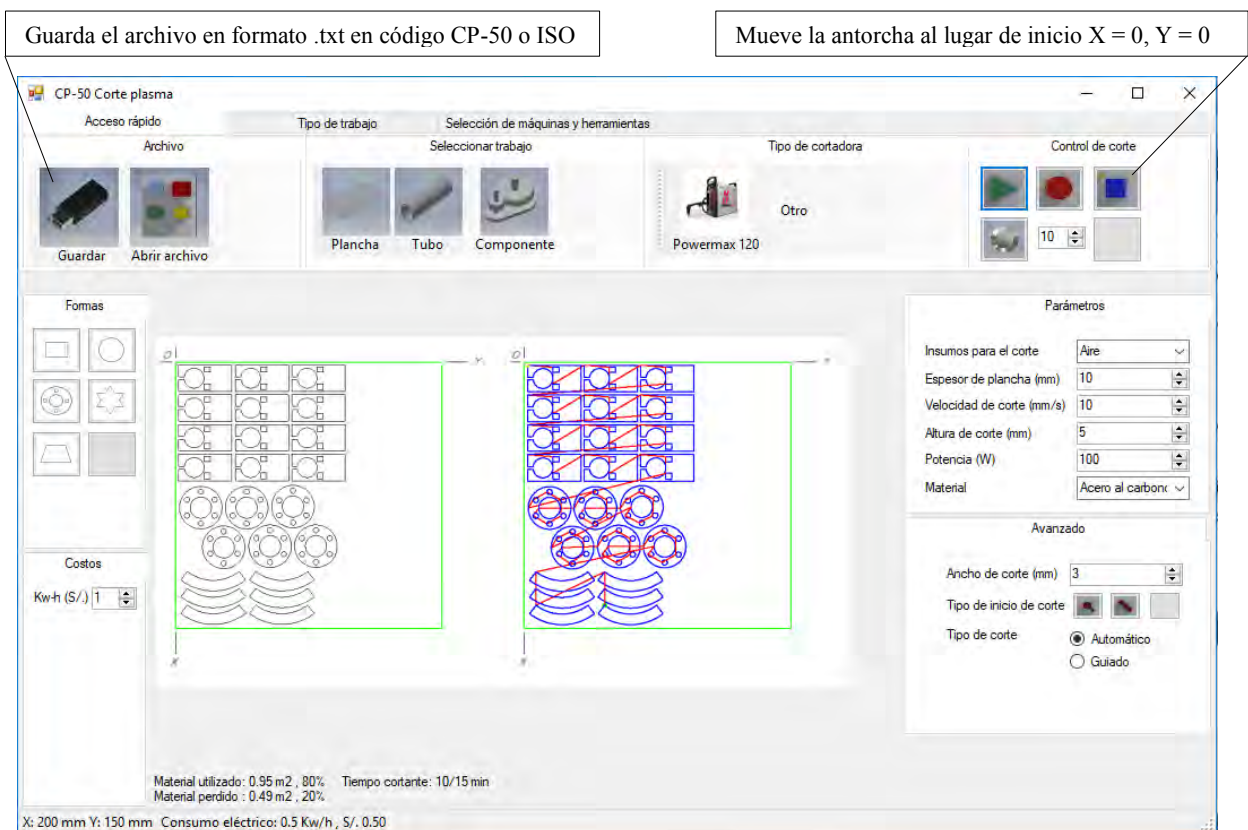


Figura 4.13.6 Programa CP-50 para el control del corte plasma con un ejemplo de aplicación (Elaboración propia)

1) *Controlador ATMEGA 88-20PU-ND*: Se requiere construir una tarjeta de control electrónica adecuada para el trabajo, para la tarea se escoge el microcontrolador ATmega88 (figura 4.14) por su costo menor como ventaja frente a los PLCs (Costo cercano al 10%) y por su mayor sencillez en programación frente a los FPGAs que requieren mayor cantidad de algoritmos para aplicaciones de movimientos cartesianos. Posee memoria, bits y frecuencia de reloj mínimos suficientes para el trabajo de

transmitir información a los controladores de los motores, además de ordenar el encendido y apagado de motores y válvulas de paso. El CI cuenta con los puertos I/O necesarios para la comunicación con los drivers de los motores, conexiones con sensores, lector USB y señales de control para actuadores.

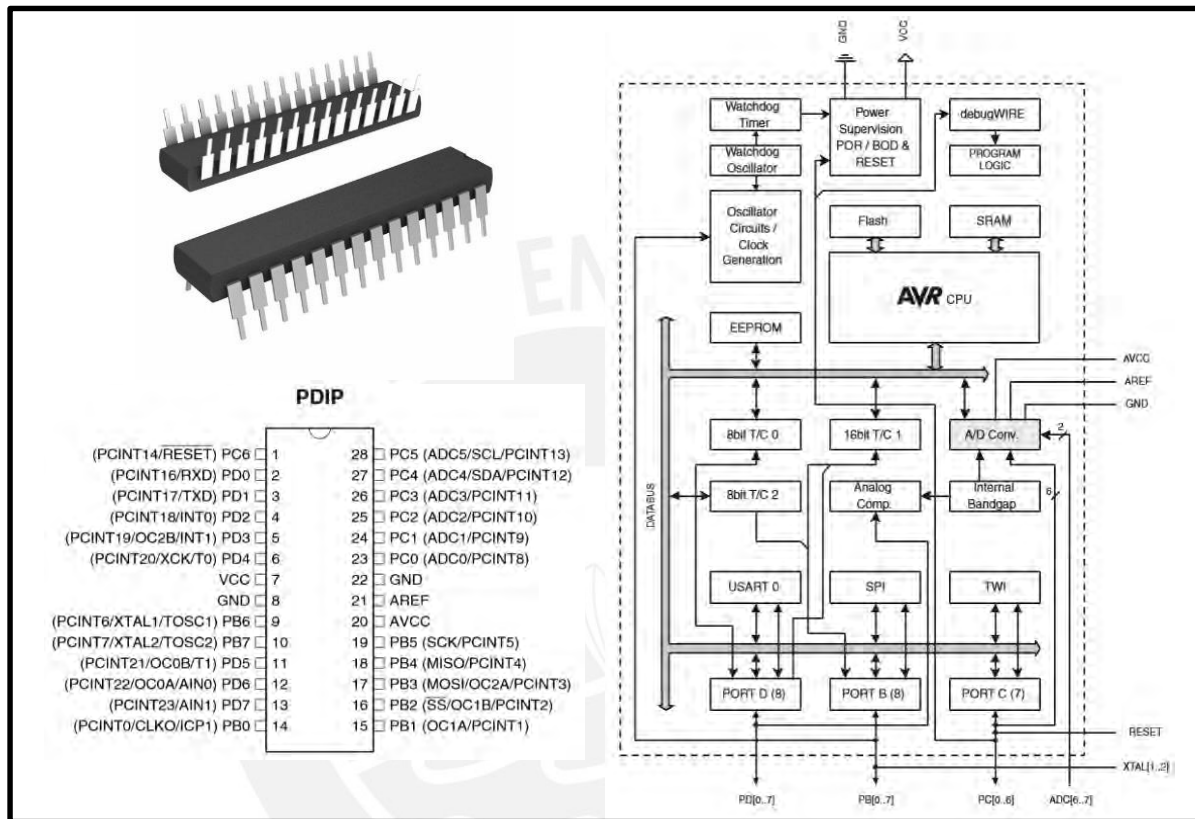


Figura 4. 14 Diagrama de detalle del microcontrolador ATmega88 (a) Empaque externo (b) Configuración de pines (c) Diagrama de bloques Fuente: ATMEL®

En la tabla 4.8 se muestra una descripción de su arquitectura interna.

Tabla 4. 8 Características principales de selección del microcontrolador ATmega 88 (Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
<i>Arquitectura RISC avanzada</i>	32x8 registros de uso general 20 MIPS a 20MHz
<i>Programación no volátil EEPROM</i>	8Kbytes de memoria flash para programación 512 Byte
<i>SRAM interno</i>	1Kb
<i>Periféricos</i>	6 canales PWM, ADC de 10 bits con 6 canales, USART programable
<i>I/O, parámetros de operación</i>	23 líneas, 2.7-5.5V, -40 a 85 °C, 0-20MHz @ 4.5-5.5V

- 2) **Adaptador USB Tipo A a UART:** El dispositivo (figura 4.15) permite la recepción de información desde una memoria flash USB tipo A, se selecciona el protocolo de transmisión RS232 por poseer tres pines de salida los cuales se adaptan de forma directa a los pines TX y RX del uC ATmega88, se escoge la forma PCB para conectarlo en la tarjeta de control.

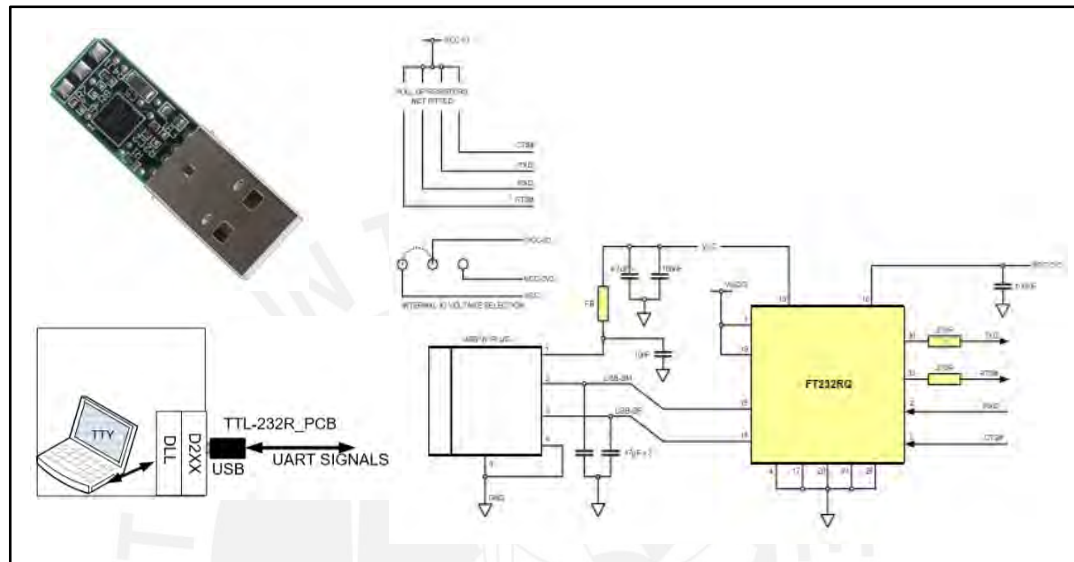


Figura 4. 15 Diagrama de detalle del adaptador TTL-232R-5V-PCB (a) Imagen exterior y forma de conexión (b)Circuito esquemático Fuente: FTDI Chip®

El adaptador permite recibir la información sobre la forma de las figuras a cortar en el material de acero desde una PC o una memoria flash USB Tipo A. En la tabla 4.9 se lee su descripción en líneas generales.

**Tabla 4. 9** Características principales de selección del adaptador (Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
<i>Manufacturador</i>	FTDI. Future Technology Devices International Ltd.
<i>Tipo de adaptador</i>	USB a Serial
<i>Desde</i>	USB-A 2.0 hembra
A	UART
<i>Circuito integrado utilizado</i>	FT232RQ

3) **Tarjeta de control del PD-1161:** El motor a pasos es conducido por el controlador principal ATmega88P mediante el cual se envían información con las coordenadas de las posiciones del cabezal de corte en plano de corte XY a los controles locales TCMCM-1161 (figura 4.16) los cuales mediante su microcontrolador propio calculan la velocidad en pulsos/s que deben recibir los motores para realizar el corte, se controla el tiempo de duración de la señal y se retroalimenta la posición con el contador magnético interno del controlador. El programa del TCMCM 1161 pide los datos de entrada mostrados en la tabla 4.10 los cuales son calculados según la velocidad y posición requeridas.

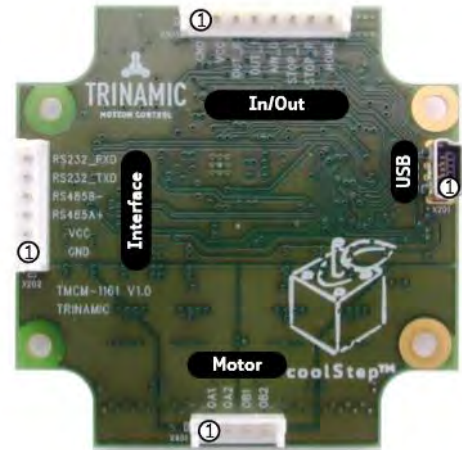


Figura 4.16 Tarjeta de control TCMCM-1161  
Fuente: Adaptada de TMC®

Tabla 4.10 Parámetros del TCMCM 1161 Fuente: Adaptado de TRINAMIC®

Señal	Descripción	Rango
$f_{clk}$	Frecuencia del reloj	16MHz
<b>Velocity</b>	Velocidad	De 0 a 2047
<b>a_max</b>	Aceleración máxima	De 0 a 2047
<b>pulse_div</b>	Divisor de velocidad, 0 es para el máximo valor	De 0 a 13
<b>ramp_div</b>	Divisor de aceleración, 0 es para el máximo valor	De 0 a 13
$U_{srs}$	Resolución de micropaso ( $2^{U_{srs}}$ )	De 0 a 8

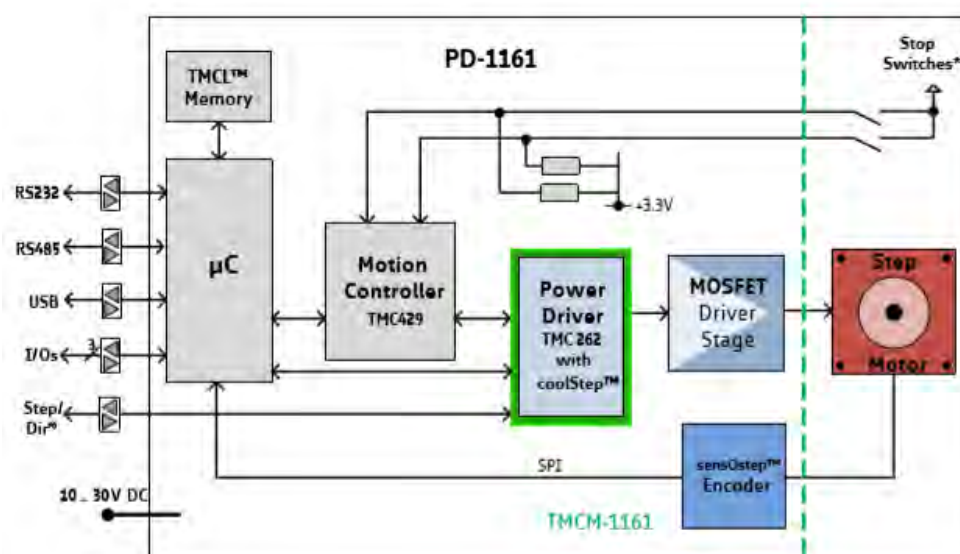


Figura 4.17 Diagrama de bloques de la tarjeta de control TCMCM-1161 Fuente: Adaptada de TMC®

#### 4.2.6. Sistema de energía eléctrica

El sistema eléctrico construido es suministrado con 220VAC 1 $\phi$  y alimenta los distintos dispositivos interno de la máquina que poseen tensiones de entrada de 5, 12 y 24VCC en la tabla 4.11 se observa el consumo por componente, más detalle en la tabla B 14.

El sistema presenta entre sus componentes seleccionados un estabilizador, transformadores de corriente y un interruptor activado por el controlador principal para el ahorro de energía y entre los componentes diseñados una fuente de 5 y 12VCC.

Tabla 4. 11 Potencia eléctrica requerida por componentes (Elaboración propia)

C	COMPONENTE	TENSIÓN (V)	FLUJO (A)	POTENCIA (W)	POTENCIA POR TENSIÓN
1	<i>Ventilador centrífugo GF-1.3-I</i>	220	0.545	120	
1	<i>Bomba de agua CPm600</i>	220	1.68	370	490
2	<i>Motor a pasos PD60-3-1161</i>	24	2.8	134.4	
2	<i>Controlador TMCM 1161</i>	24	1.12	53.76	
1	<i>Módulo XPTHC-100III</i>	24	4	96	
4	<i>Sensor de fin de carrera GLLC01C</i>	24	10 x 10 <sup>-3</sup>	0.96	285.12
2	<i>Termistor ES120 0024</i>	12	(6 x 10 <sup>-3</sup> )	(0.144)	(0.15)
2	<i>Microcontrolador ATMEGA 88P</i>	5	(20 x 10 <sup>-3</sup> )	(0.2)	
1	<i>Otros: FT232RQ, DAC y componentes electrónicos</i>	5	(100 x 10 <sup>-3</sup> )	(0.1)	(0.3)
	<b>CONSUMO MÁXIMO</b>		14.66		<b>775.57 Watt</b>

1) **Fuente reguladora de 24V:** Se requiere de una fuente con tensión de salida de 24VCC y potencia de 286 W incluyendo las tensiones de 24,12 y 5 VDC, se considera un factor de seguridad de 1.75 para las sobrecorrientes y se selecciona una fuente comercial de 500W.



J1 Pin Connections	
Pin	Function
1	+Vout
2	+Vout
3	+Vout
4	-Vout
5	-Vout
6	-Vout
7	Ground
8	Neutral
9	Line

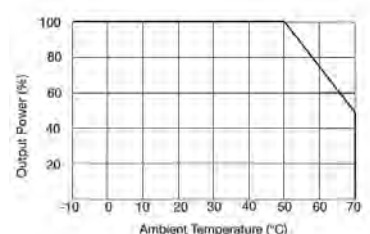


Figura 4.18 Convertidor AC-DC LCL 500 PS24, Pines de conexión, potencia vs. Temperatura ambiente Fuente: XPPower®

#### 2) Fuente de corriente continua de 5 y 12 voltios:

Se diseña y fabrica divisores de voltaje de 5 y 12 VDC con componentes electrónicos, la tarjeta resultante se energiza con 24 VDC de la fuente LCL5009S24.

#### 4.2.7 Sistema de administración de información

El proceso de corte es controlado por el microcontrolador ATMEGA 88P, mas la información de entrada es generada en su operación automática por un computador externo y en la asistida por el operario quien lo introduce por el teclado o panel de control.

En el caso de utilizar un computador este debe poseer programas de dibujo CAD/CAM donde se realiza el esquema o geometría de la pieza a cortar, luego se genera un archivo DXF el cual contiene las coordenadas de los vértices de las figuras ingresadas, esta información se interpreta y se genera trayectorias de corte. El documento DXF se almacena en una memoria la cual se inserta en el módulo de comunicación (figura 4.15) en su terminal USB 3.0 tipo A receptor. El sistema de corte incluye el programa llamado CP donde se pueden realizar los dibujos geométricos de formas básicas o más comunes, un ejemplo de funcionamiento del programa CP se observa en la figura 4.19 donde se ve el ejemplo del corte de una figura rectangular en una plancha metálica, en el programa se requiere precisar los parámetros: **a**, **b** y **e** que indican las distancias mínimas permitidas entre la pieza a obtener y el marco de la pieza base (**a** y **b**) y el espesor que consume la antorcha al cortar (**e**).

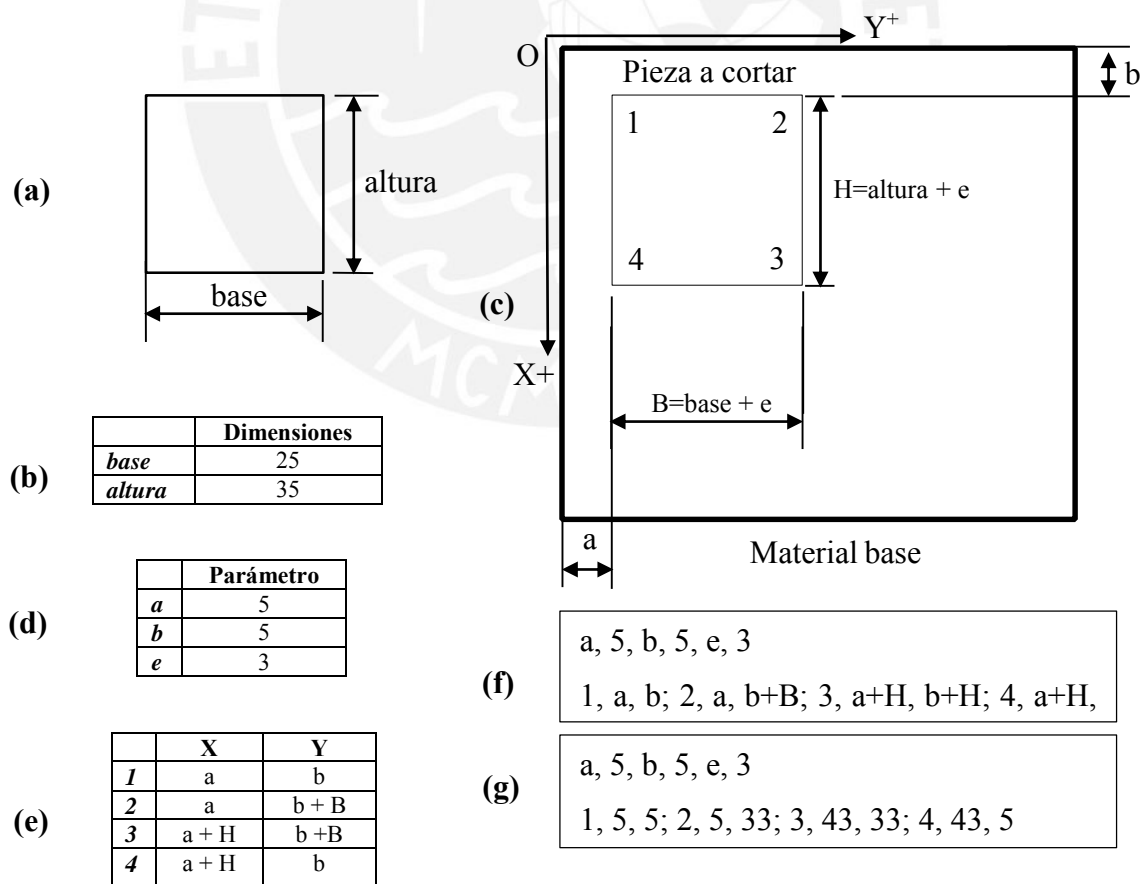


Figura 4.19 Proceso de información (a) Figura solicitada (b) Dimensiones (c) Medidas a considerar en el dibujo CAD (d) Parámetros de entrada (e) Tabla de coordenadas de vértices (f) documento con variables (g) Documento final a grabar en memoria (Elaboración propia)

### 4.3 Explicación de construcción y ensamble de la máquina

El sistema de corte automático posee en su diseño de cuatro dominios que aportan a cada subsistema: el dominio mecánico, el eléctrico – electrónico, el informático y el de control, se detallan a continuación partes de los planos del diseño.

#### 4.3.1 Explicación de unión de componentes mecánicos y eléctricos

1) **Dominio mecánico.-** Para el ensamble de la máquina se requieren de componentes comerciales seleccionados y componentes elaborados según planos de fabricación. Los componentes estructurales son ensamblados con unión soldada principalmente, los cobertores a base de planchas mediante tornillos, los elementos mecánicos mediante pernos, las tarjetas de control mediante pernos y aislantes, la rejilla de corte y tolva receptora de agua son insertados a presión. Se observa en la tabla 4.12 un resumen de los elementos de unión.

Tabla 4. 12 Elementos de sujeción o unión seleccionados (Elaboración propia)

SUBSISTEMA	COMPONENTES	TIPO DE UNIÓN	DESCRIPCIÓN
<i>Mesa soporte principal</i>	Mesa estructural base	Unión soldada a=6mm	Soldadura por fusión, calidad II Tipo de unión: DIN 1912 Costura angular hueca, en T y de esquina Diseño: DIN 4100 Preparación de borde: DIN 8551
	Rejilla de corte	Unión soldada	
	Tolva receptora de agua refrigerante	a =5mm	
	Soporte de sistema de posicionamiento		Tornillo hexagonal M12 DIN 933-8.8 Tuerca hexagonal M12 DIN934-8 Arandela A 13 DIN 125-St
	Ventilador centrífugo	Unión con pernos	
	Bomba de agua		
<i>Sistema de posicionamiento X</i>	Sensor de límite de carrera	Unión con pernos	Grado de protección: IP67 IEC 144 y 529 Tornillo hexagonal M4,10,12 DIN 933-8.8 Tuerca hexagonal M4,10, 12 DIN 934-8 Arandela A4.3,10.5,13 DIN 125-St
<i>Sistema guía dirección X</i>	Motor a pasos		
<i>Sistema de posicionamiento Y</i>	Controladores		
<i>Sistema de posicionamiento Z</i>	Módulo de movimiento vertical	Unión con pernos	Tornillo hexagonal M3,4 DIN 933-8.8 Tuerca hexagonal M3,4 DIN 934-8 Arandela A3.2,4.3 DIN 125-St
	Termistor	Unión roscada	Agujero roscado M6 x 1
	Acoplador de antorcha		

Tabla 4. 12 Continuación (Elaboración propia)

	<b>Conductos de aire y emisiones gaseosas:</b> Tuberías metálicas, conectores roscados, unión con perno	Unión con pernos Unión roscada	Grado de protección: IP67 IEC 144 y 529
<b>Conductos eléctricos y de fluidos</b>	<b>Conductos eléctricos:</b> prensaestopas, abrazaderas, conducto portacables, placas sujetadoras.	Unión roscada	Grado de protección: IP67 IEC 144 y 529
	<b>Tuberías de líquidos:</b> tubos roscados, llave de bola, conectores universales y accesorios	Unión roscada	Grado de protección: IP67 IEC 144 y 529 Tuberías Norma ISO/R65 Zware Serie
<b>Celda de protección eléctrica</b>	Botón de emergencia Tarjetas de control Focos LED Pulsadores Llave termomagnética	Unión atornillada Unión roscada	Grado de protección: IP67 IEC 144 y 529 Tornillo hexagonal M3 DIN 933-8.8 Tuerca hexagonal M3 DIN 934-8 Arandela A3.2 DIN 125-St
<b>Panel de control y comunicación</b>	Teclado de mando Puertos de comunicación Pantalla LED	Unión plástica por presión	Grado de protección: IP67 IEC 144 y 529

Para la información completa ver planos de ensambles mecánicos y eléctricos en el **anexo A**.

Tabla 4. 13 Lista de planos de ensamble y fabricación (Elaboración propia)

Tipo de plano	Nombre	Cantidad
<i>Plano de ensamble</i>	E0-A0	1
<i>Plano de sub-ensamble</i>	Desde E1-A0 hasta E9	20
<i>Planos de fabricación</i>	Desde F10-A2 hasta F7A-A4	68
<i>Plano de circuitos eléctricos y electrónicos</i>	Desde CE1-A2 hasta TE2-A3	7
<i>Plano de control y programación</i>	Desde C1-A3 hasta P2-A3	4
<i>Total</i>		100

2) **Dominio eléctrico y electrónico:** Se presenta en la figura 4.20.1 el diagrama esquemático de conexiones entre los distintos componentes electrónicos y eléctricos seleccionados.

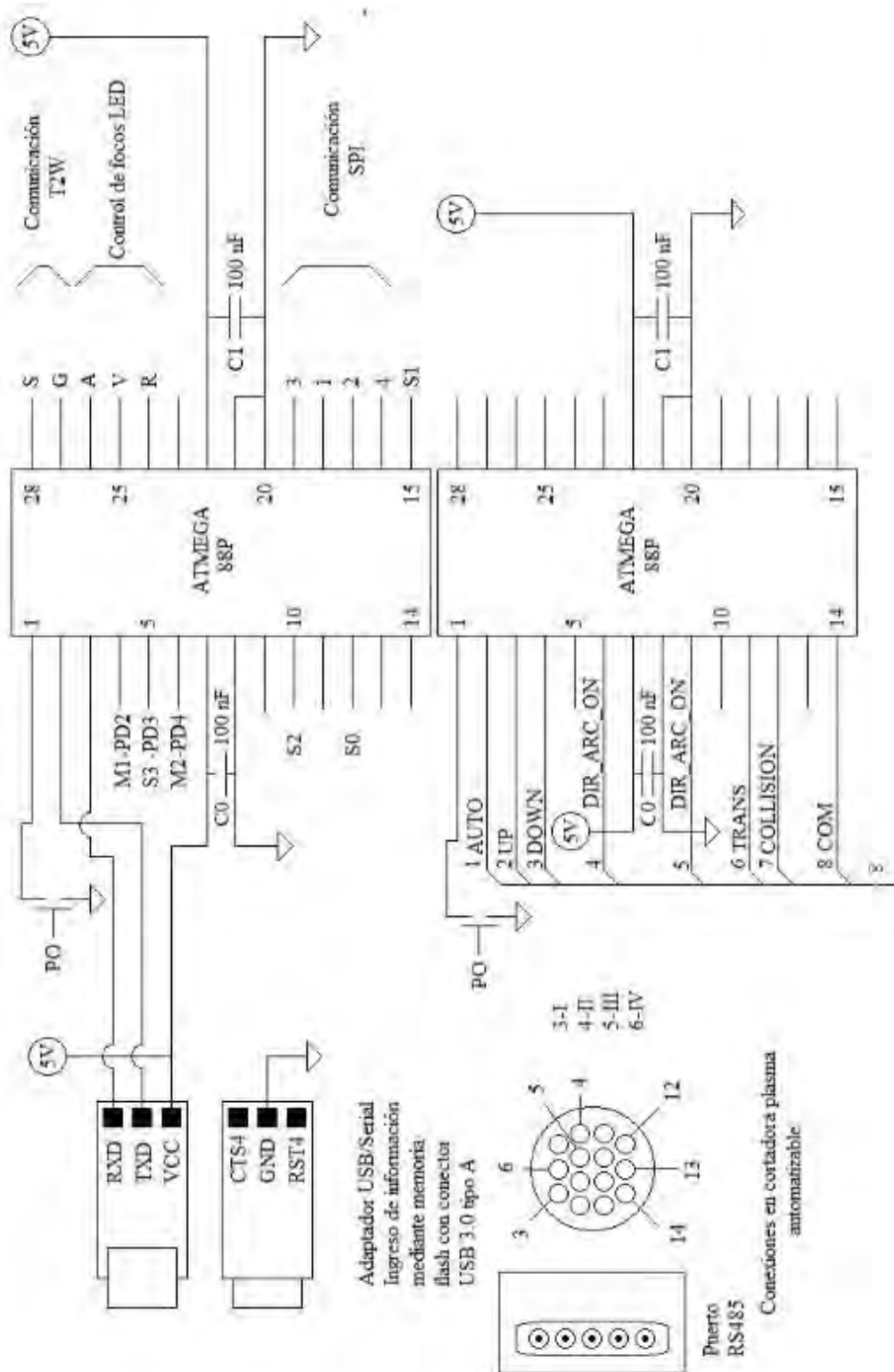


Figura 4.20.1 Esquema de conexiones de componentes eléctricos y electrónicos (Elaboración propia)

Un controlador ATmega 88P (C1) se enfatiza en la dirección del tablero de conexiones eléctricas, los motores y la lectura de información de entrada y el segundo ATmega 88P (C2) en la comunicación con el controlador HYD de sistemas CNC, el sistema de movimiento Z y la altura de corte.

Los motores del movimiento del cabezal de corte se gobiernan desde sus controladores TMCM 6011 los cuales se comunican con el controlador principal C1, en la figura 4.20.2 se observan las conexiones con las fuentes de poder de ambos motores.

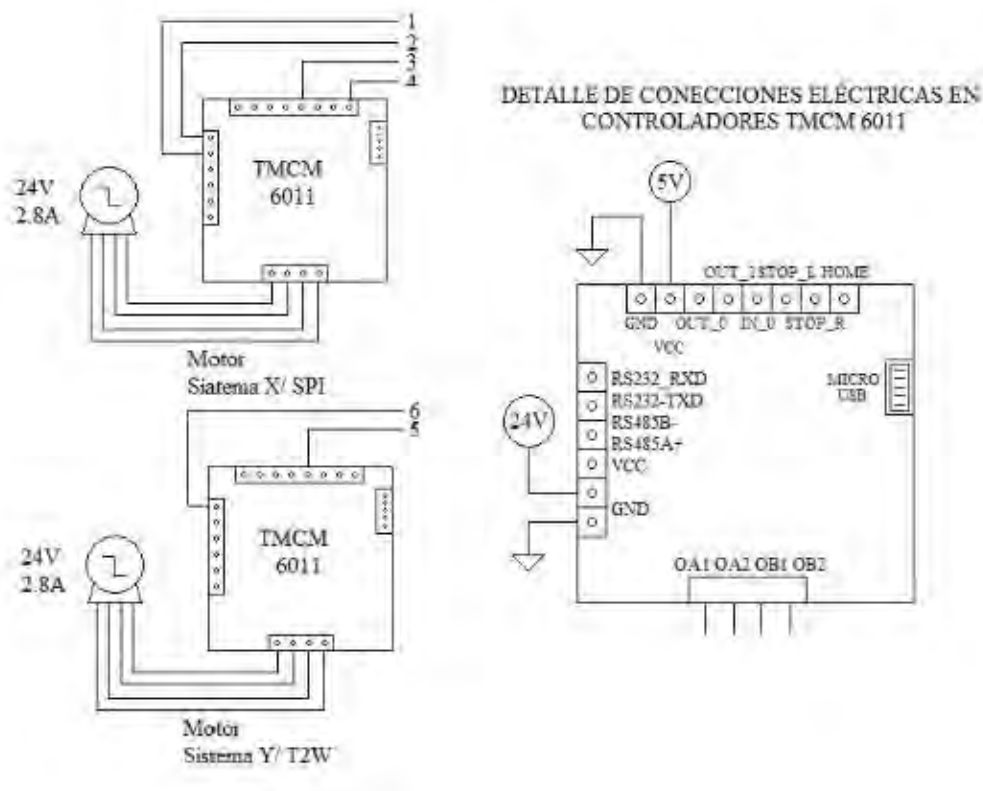


Figura 4.20.2 Conexiones de motor PD60-3-6161 y controlador TMCM 6011

Fuente: Tomado de plano CE1-A3

La máquina cortadora se conecta aun divisor de voltaje y al XPTHC 100V para el control de la altura de Corte, encendido de antorcha, las demás conexiones se dirigen al controlador C2. En la figura 4.21.1 se observan estas conexiones junto a la máquina automatizadora del corte plasma y a una cortadora plasma de uso manual.

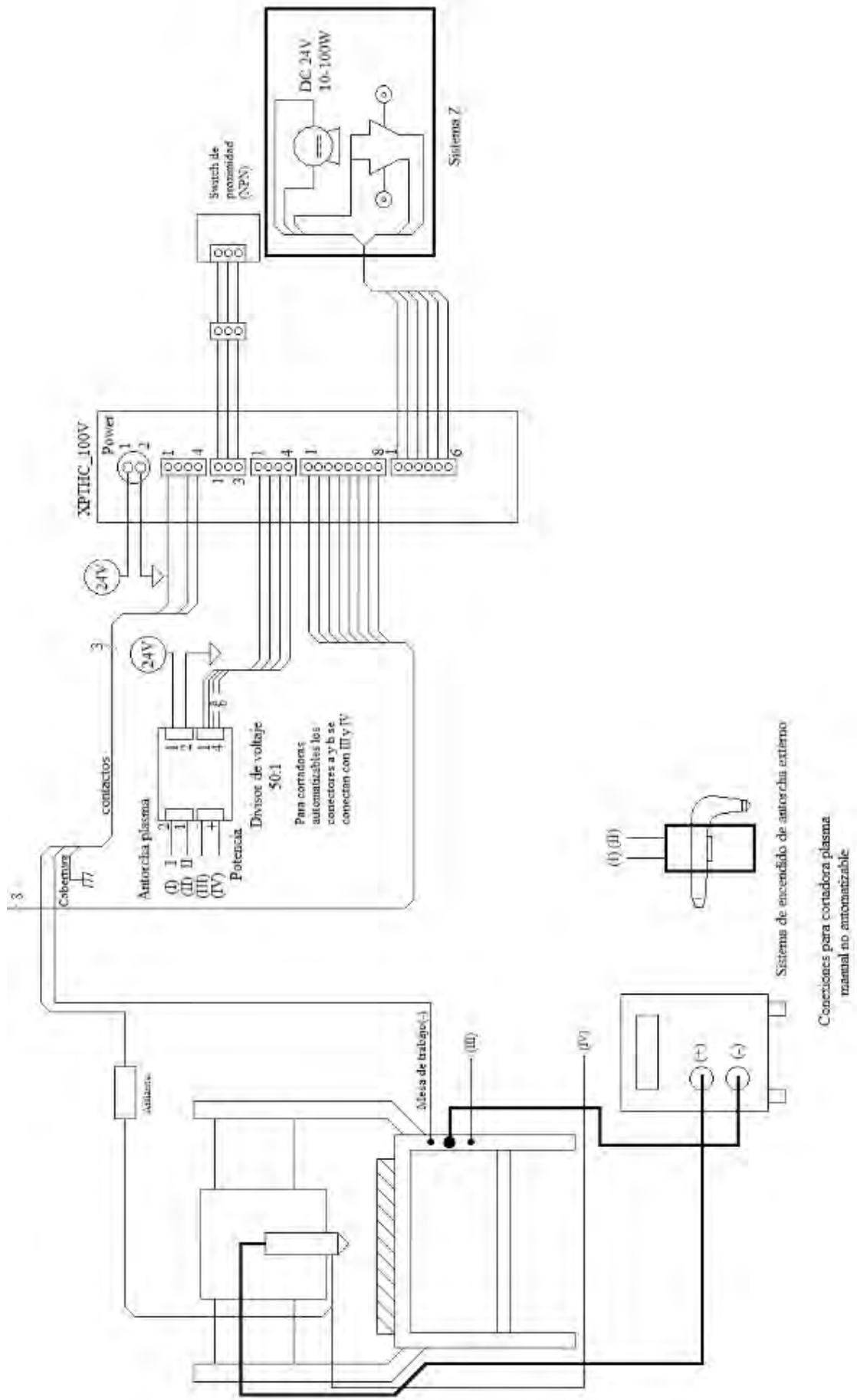


Figura 4.21.1 Conexiones la cortadora y el controlador CNC XPTH1C100V Fuente: Tomado de plano CE1-A3

**3) Esquema de conexiones eléctricas de instalación de componentes eléctricos y electrónicos:** La siguiente figura muestra la parte del plano eléctrico donde se observan las conexiones con las fuentes de energía y seguridad eléctrica del sistema en su etapa de potencia donde la energía que ingresa pasa por una etapa de seguridad y luego se distribuye a los motores, lámparas y transformadores, luego con el potencial acondicionado se energizan el sistema electrónico.

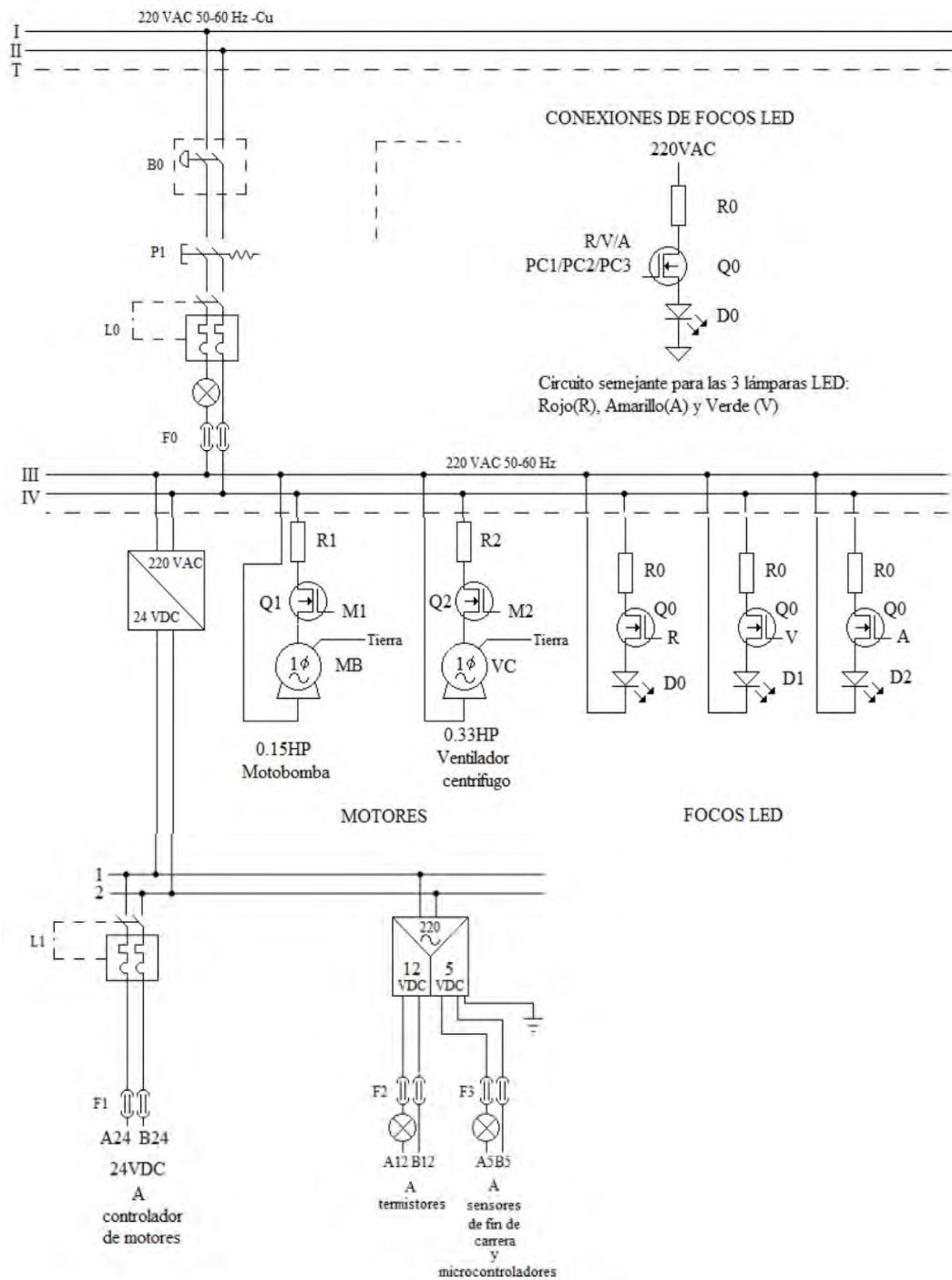
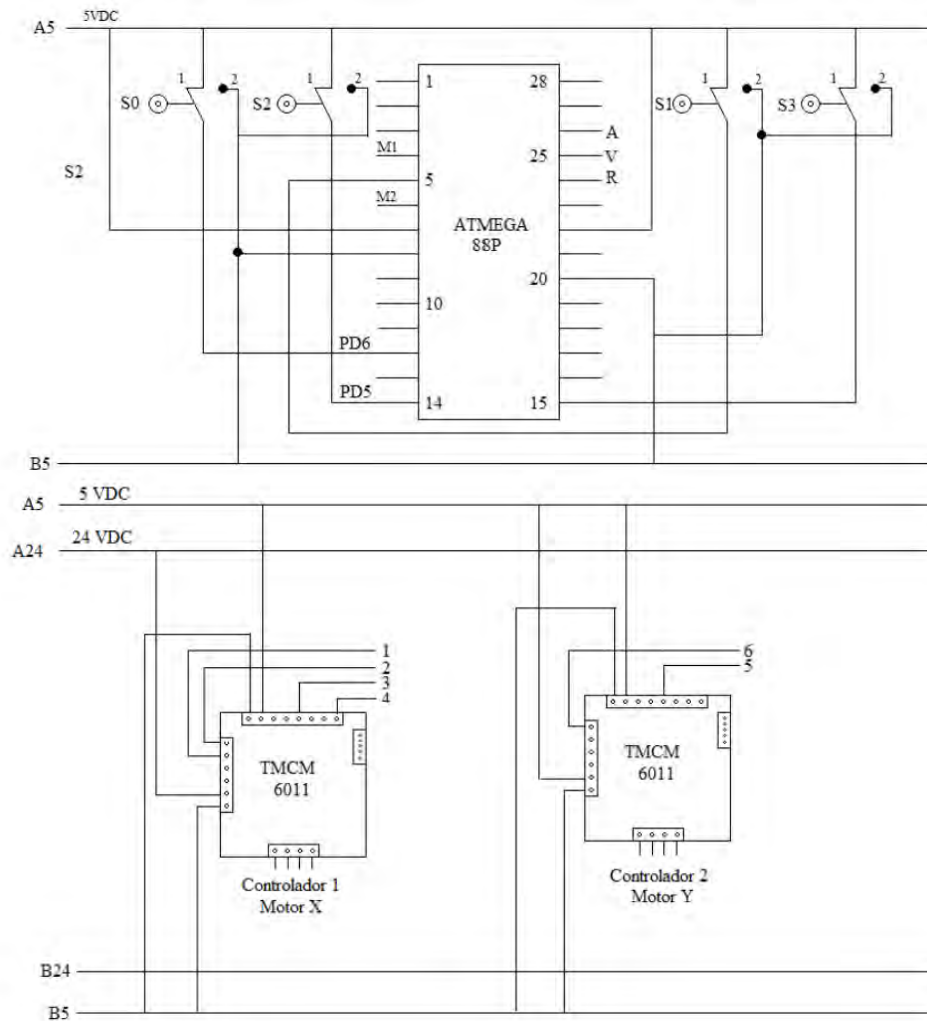
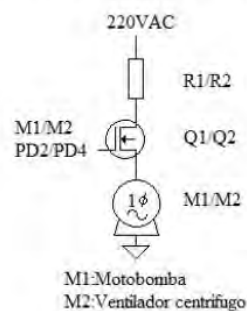


Figura 4.21.2 Diagrama esquemático de etapa de potencia Fuente: Tomado del plano CE2-A3

En la figura 4.19b se observa la etapa de control se inicia en el controlador ATMEGA 88P (C1) el cual controla por software los valores de las entradas y salidas, los interruptores de fin de carrera y otros sensores generan señales de entrada, del otro lado los controladores TCMC 6011 producen las señales de los motores de movimiento X-Y a partir de la información de entrada del segundo controlador ATMEGA 88P.



#### CONEXION DE MOTORES SÍNCRONOS



#### CONEXIONES DE SENSORES DE FIN DE CARRERA

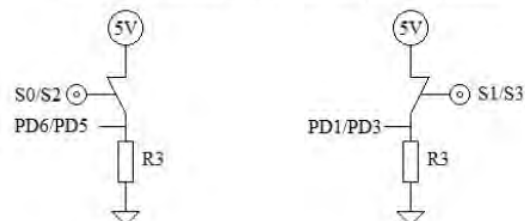


Figura 4.21.3 Diagrama esquemático de etapa de control Fuente: Tomado del plano CE2-A3

### 4.3.2 Especificaciones técnicas de la máquina de corte plasma manual a automatizar

El usuario de la máquina automática deberá poseer una máquina de corte plasma manual la cual se acoplará al sistema automatizador. Las máquinas cortadoras plasma de menor precio poseen un costo entre S/.1,500.00 y S/. 2,500.00 con profundidad de corte máxima entre 12 y 15mm, existen otras con precios entre \$4.000 y \$8.000 con capacidad máxima de corte entre 15 y 35mm y que poseen conexiones adicionales que permiten automatizar el proceso de corte puesto que permiten regular sus parámetros de corte mediante señales eléctricas externas.

Estos modelos últimos poseen dos formas de terminales generadores de la antorcha plasma, los de uso guiado manual y los de uso con máquinas como pantógrafos o automatizadoras de corte de control numérico como se muestran en las figura 4.22 La máquina diseñada permite el acople de ambos terminales. Para el presente trabajo se realizó el diseño de conexiones eléctricas para la cortadora plasma **Powermax 125®** de la empresa **Hypertherm®**, se escoge el modelo puesto que puede ser controlado de forma manual y automática además de que su capacidad de corte es hasta los 53mm con lo cual se puede comprobar la capacidad máxima de la automatizadora diseñada de 50mm (Exigencia E1) En la figura 4.22 se presentan los conectores que permiten automatizar la cortadora plasma escogida y sus respectivos pines de comunicación. El diseño de la máquina automatizadora considera el uso de la cortadora plasma manual en piezas metálicas como planchas, tubos y elementos de máquinas donde se han de realizar cortes o perforaciones con profundidad entre 1 y 50 mm.

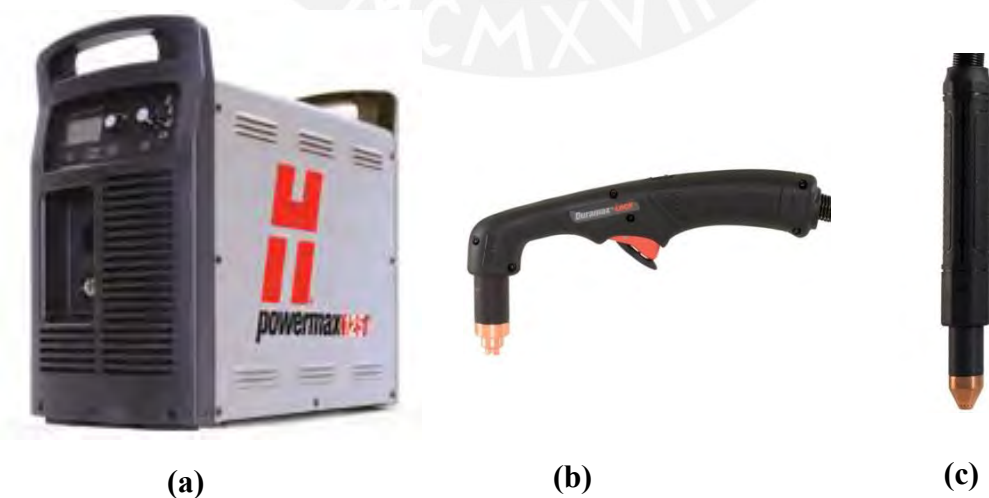


Figura 4.22 Cortadora plasma (b) Antorcha de uso manual (c) Antorcha para uso mecanizado  
Fuente: Adaptado de “Powermax 125 CSA Domestic brochure” por Hypertherm, 2018, p.1.

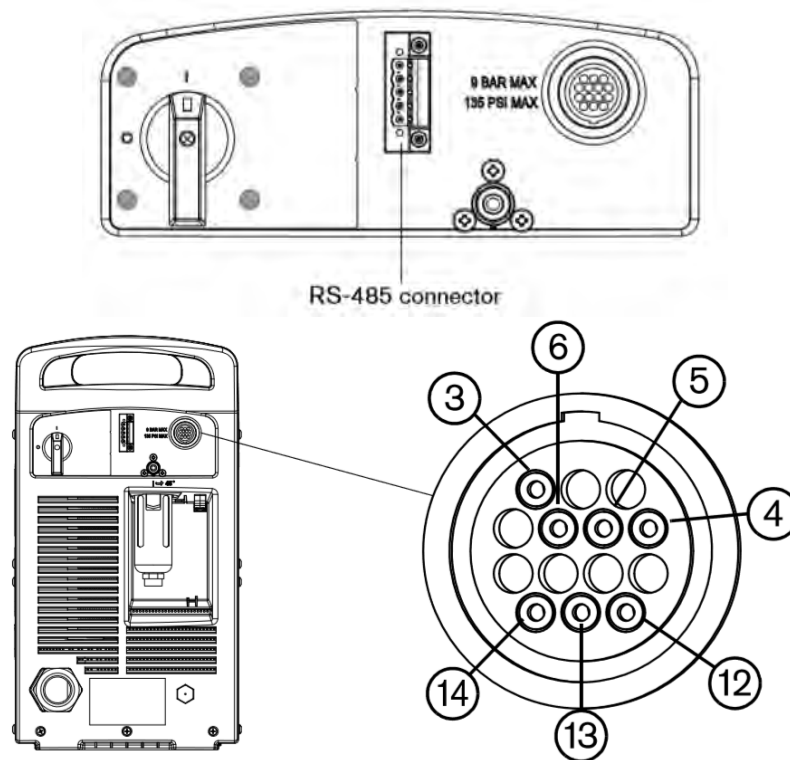


Figura 4.23 Conectores para automatizar la cortadora plasma

Fuente: Adaptado de “Powermax 125® Plasma Arc Cutting System” por Hypertherm, 2016, p.100-102.

En la tabla 4.14 se observan los contactos de fábrica para la automatización de la cortadora plasma y su descripción técnica.

Tabla 4.14 Señales de control el modelo Powermax 125®

CONECTOR	SEÑAL	TIPO	DESCRIPCIÓN
3, 4	INICIO (encender antorcha plasma)	Entrada	NA, 18VD
12, 14	TRANSFERENCIA (iniciar movimiento de máquina automatizadora)	Salida	NA, 120VAC / 1A
13	Tierra	Tierra	
5(-), 6(+)	Divisor de voltaje	Salida	Divisor de señal de arco en: 20:1,21.1:1,30:1,40:1,50:1 (máximo 16V)
RS-485	Comunicación serial	Entrada y salida	Permite conectar un dispositivo externo para control a distancia

Fuente: Adaptado de “Powermax 125® Plasma Arc Cutting System”, 2016, p.98

Las características técnicas y de operación del componente escogido para automatizar se encuentran en la tabla 4.15

Tabla 4.15 Especificaciones técnicas del modelo Powermax 125®

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
<i>Modelo</i>	Powermax 125®
<i>Voltaje de entrada</i>	380V 3-F 50/60Hz. (CCC)
<i>Corriente de entrada a 21.9kW</i>	300V, 38 A
<i>Corriente de salida</i>	30-125 A
<i>Voltaje de salida</i>	175VCD
<i>Dimensiones con manijas</i>	592 x 274 x 508mm
<i>Suministro de gas</i>	Aire o nitrógeno limpio, seco y libre de aceite
<i>Peso con antorcha de 7.6 m</i>	380V / 45.2Kg
<i>Tipo de fuente de energía</i>	Inversor-IGBT
<i>Potencia requerida</i>	40kW para salida de 125 A
<i>Presión y flujo de gas recomendado de entrada</i>	Corte 260 l/min a 5.9 bar (85 psi)

Fuente: Adaptado de “Powermax 125 CSA Domestic brochure” por Hypertherm, 2018, p.2

Son requerimientos fundamentales los datos de operación de la máquina, estos al ser modificados permiten cortar espesores diferentes de acero, acero inoxidable y aluminio.

En la tabla 4.16 se presentan los valores de los parámetros indicados por el fabricante:

Tabla 4.16 Datos de operación del modelo Powermax 125®

TIPO DE USO	ESPESOR PARA CORTE (mm)	VELOCIDAD DE CORTE (mm/min)
<i>Recomendado</i>	38	457
	44	250
<i>Severo</i>	57	125

Fuente: Adaptado de “Powermax 125 CSA Domestic brochure”

#### 4.4 Costo de implementación de la máquina propuesta:

Se calcula el costo total de implementación considerando el costo de los componentes seleccionados y a fabricar de los dominios mecánico, eléctrico-electrónico, de control e informático. Se realizan cotizaciones considerando la cantidad de componentes importados, costo de fabricación en talleres metal-mecánicos locales y trabajo de ingeniería. Los precios están actualizados al **20 de Diciembre del 2018** y el tipo de cambio considerado es **S/. 3.35** para un dólar.

Se considera una remuneración de S/.15.00 por hora invertida en el diseño de la automatizadora del corte plasma. En la **tabla 4.17** se presenta un resumen de los costos calculados de implementar la solución propuesta.

Tabla 4.17 Presupuesto de fabricación de proyecto de corte automático (Elaboración propia)

PRESUPUESTO DE COSTO DE FABRICACIÓN					
N°	C	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	Unidad	Total
1	2	Motor QSH6018-86-28-310	TMC	\$142.36	\$284.72
2	2	Controlador TMC M1161	TMC	\$128.25	\$256.50
3	4	Switch de límite GLLA01F	Honeywell	\$26.74	\$106.96
4	1	Tarjeta de control general		S/. 337.7	S/. 337.7
5	2	Sensor de Temperatura	Honeywell	\$32.23	\$64.46
6	4	Rodamientos	DIN 6003 2Z/C3		S/.103.14
7	1	Ventilador centrífugo		\$84.425	\$84.425
8	1	Motobomba		S/.260	S/.260
9	1	Fuente de energía eléctrica	24 VDC, 12VDC	S/.130.01	S/.130.01
10	1	Controlado de altura	HYD CNC XPTHC-300	S/.3377	S/.3377
11	1	Teclado de mando		S/.100	S/.100
12	1	Pantalla LED 3"			S/.16.80
13	1	Puerto USB			S/.5.80
14	1	Puerto RS232		S/. 15.00	S/. 15.00
15	6	Focos LED 24mm			S/. 40.50
16	2	Pulsador de emergencia			S/.16.80
17	2	Pulsador de encendido			S/.16.9
18	1	Llave termo magnética		S/.33.70	S/.33.70
19	1	Manguera de aire		S/.50.50	S/.50.50
20	1	Acople de manguera de aire		S/.10.13	S/.10.13
21	4	Acople de manguera a placa		S/.5.00	S/.20.00
22	1	Tubos de PVC		S/.21.00	S/.21.00
23	2	Codo			S/.5.00
24	1	Llave universal		S/.12.00	S/.12.00
25	1	Reductor		S/.5.10	S/.5.10

C  
O  
M  
P  
R  
A  
S

Tabla 4.17 Continuación (Elaboración propia)

N°	C	COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	Unidad	Total
26	1	Llave de agua 1"		S/.10.10	S/.10.10
27	1	Reductor de 2" a 1"		S/.5.10	S/.5.10
28	1	Mesa de trabajo		S/.844.25	S/.844.25
F A B R I C A C I Ó N	29	Soportes de sistemas de movimiento		S/.85.20	S/.170.40
	30	Malla de corte			S/.101.31
	31	Tolva a 4 aguas			S/.168.85
	32	Guía de soporte lateral			S/.84.43
	33	Tonillo sinfin X	SFU 1610 1500		S/.607.86
	34	Tonillo sinfin Y	SFU 1610 1500		S/.607.86
	35	Sistema guía dirección X			S/.405.24
	36	Tobera de protección			S/. 16.88
	37	Placa de soporte de Motobomba			S/. 10.13
	38	Tablero eléctrico			S/. 84.42
	39	Tarjeta PCB del control principal			S/. 295.00
COSTO DE COMPONENTES Y FABRICACIÓN				Importados	
				\$	797.07
				S/.	2 670.17
				Locales	
				S/.	8 106.53
				TOTAL	
				S/.	10 776.70
				40	Diseño mecatrónico
41	Programación e implementación del software CP-50	10 días x 8 horas x S/.50		S/.4 000.00	
42	Programación e implementación de las tarjetas TMCM1160	5 días x 8 horas x S/.30		S/.1 200.00	
43	Integración de software y tarjetas de control	5 días x 8 horas x S/.25		S/.1 000.00	
44	Pruebas de corte y calibraciones	5 días x 8 horas x S/.25		S/.1 000.00	
COSTO TOTAL					S/.25 176.70

Los costos son referenciales al momento que se realizaron las cotizaciones y revisiones a las páginas web de los proveedores.

#### 4.5 Hoja de datos y especificaciones de la cortadora CP-50:

##### Dimensiones permitidas de materiales a cortar:

El diseño permite asentar y fijar los siguientes materiales:

Tabla 4. 18 Materiales posibles de utilizar para el corte plasma (Elaboración propia)

Forma	Dimensiones máximas	Tipo de trabajo
<b>Planchas</b>	De 0.1 hasta 50 mm	Cortes, ranuras, corte de soldadura.
<b>Tubos</b>	De $\phi 5$ hasta $\phi 300$ mm	Cortes de calderería
<b>Piezas mecánicas: engranajes, ejes, cobertores</b>	Peso de $40\text{g/cm}^2$	Desmontaje
<b>Perfiles</b>	Altura: 100mm, peso: 10Kg/m	Corte lineal con avance regulado

##### Componentes y herramientas adaptables al sistema:

Se pueden colocar los siguientes tipos de cabezales

Tabla 4. 19 Tipos de cabezales posibles de acoplar a la máquina (Elaboración propia)

Tipo	Materiales	Observaciones de diseño
<b>Corte plasma</b>	Acero inoxidable, bronces, conductores en general	Cabezal diseñado
<b>Oxicorte</b>	Acero	Precalentar el material para el corte Compra de cabezal y adaptación al modelo
<b>Corte láser</b>	Acero, madera, cartones	Requiere oxígeno o $\text{CO}_2$ Capturar el aire emitido Compra de cabezal
<b>Mecanizado: fresadora y taladrado</b>	Metales, cerámicos	Diseñar cabezal para taladrar Compra cabezal para fresar
<b>Punzonadora Seguidor de línea</b>	Planchas delgadas de cuero o plásticos (0.1 - 2mm)	Presión máxima: $1\text{Kg/cm}^2$ Peso máximo: 15 Kg
<b>Otros:</b>	Metales no reflexivos	Compra de puntero láser
<b>Puntero láser, puntero CIM</b>	Metales con dureza determinada	Compra cabezal para medición

## **Conclusiones y recomendaciones**

Se redactan las conclusiones respecto a los objetivos propuestos y las recomendaciones frente al uso de la máquina y para trabajos futuros.

### **Conclusiones**

La capacidad de corte en relación al espesor está limitada a la potencia de la máquina cortadora que se acopla al sistema automático.

Se logró desplazar el haz de corte por sobre toda la superficie de trabajo (1.2 x1.2m) con una precisión de 0.5mm mediante tronillos de potencia y un controlador de altura (THC) el cual en su interior posee un motor DC y un tornillo sin fin.

El consumo eléctrico de la cortadora automática es al menor relativo al consumo de la cortadora plasma que se le acopla por lo que el costo es dominado por el último

El precio final de producción de S/. 25 176.70 excede al accesible por las PyMes se recomienda mayor investigación en el empleo de elementos de automatización que puedan aminorar los costos de esta máquina.

Se logró diseñar una máquina eco-amigable, no perjudicial al medio ambiente y con un diseño que permite la reutilización de sus componentes o reciclaje sin perjudicar su funcionalidad.

### **Recomendaciones**

1. Es necesario que se propongan actividades para ordenar y sistematizar la producción en los talleres y sus métodos de trabajo para que se pueda hacer un uso más efectivo de la máquina cortadora diseñada
2. Diseñar y fabricar accesorios para facilitar el corte de tubos metálicos, vigas W o planchas de longitud mayor a 1.2m como: sujetadores para levantamiento o descenso de planchas, rodillos y sistemas para rotar tubos en su eje.
3. La máquina posee una precisión de 0.5mm/m (Anexos Pg. 6) lo cual puede ser de beneficio utilizándola como taladradora o fresadora CNC mediante sus respectivos accesorios.

.....

## BIBLIOGRAFIA

- Assureira, E. (2015). *Tablas y gráficos de mecánica de fluidos*. Lima: PUCP.
- Assureira, E. (2015). *Tablas y gráficos de turbomáquinas y máquinas de desplazamiento positivo*. Lima: PUCP
- Bachmann, A. & Forberg R. (2<sup>da</sup> edición). (1982). *Dibujo técnico*. Barcelona: EDITORIAL LABOR, S.A.
- Burghart, D. (2<sup>da</sup> edición). (1984). *Ingeniería termodinámica*. México D.F.: Harla.
- Campodónico, C. (2018) *Diseño de una máquina hidráulica astilladora de troncos*. Tesis para optar el título de ingeniero mecánico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, facultad de ciencias e ingeniería. Consulta: 18 de abril del 2019.
- Carranza, R. (2001). *Automatización: tópicos de instrumentación y control*. Lima: PUCP.
- Carrera, Willy (2015) *Diseño y construcción del subsistema electrónico para el control de un brazo robot de 5 GDL*. Tesis para optar el título de magíster en ingeniería mecatrónico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Posgrado. Consulta: 18 de abril del 2019.
- Chang, C. & Melkanoff M. (1989). *CNC machine programming and software*. Prentice hall
- Chapman, S. (5<sup>ta</sup> edición). (2012). *Máquinas eléctricas*. México, D.F.: Mc Graw-Hill
- Chiu, G. (2018) *Diseño de un sistema mecatrónico móvil para monitoreo de condición de fajas transportadoras*. Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de ciencias e ingeniería. Consulta: 10 de diciembre del 2018 <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/12927>.
- Clements, P. (2<sup>da</sup> edición). (2003). *Software architecture in practice*. Boston: Addison-Wesley
- Cornejo, C. & Romero C. (2016). *Ingeniería económica*. Lima: PUCP
- De Silva, C. (6<sup>ta</sup> edición). (2010). *Mechatronics: a foundation course*. Boca Raton, FL: CRC Press
- DIN Deutsches institut für normung (5<sup>ta</sup> edición). (1972). *Tornillos, tuercas y accesorios*. Bilbao: Balzola
- DIN Deutsches institut für normung (8<sup>va</sup> edición). (1970). *Normas fundamentales para la técnica mecánica*. Bilbao: Balzola

- DIN Deutsches institut für normung (4<sup>ta</sup> edición). (1969). *Normas de dibujo*. Bilbao: Balzola Dorf, R. & Svoboda J. (3<sup>ra</sup> edición). (2000). *Circuitos eléctricos*. México D.F: Alfaomega grupo editor
- Fagan, M. (2018) *Metal analyzing plasma CNC cutting machine and associated methods*. Número de solicitud: 15886806. Consulta: 10 de diciembre de 2018. <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docid=us219627707&recnum=1&office=&querystring=15886806&prevfilter=&sortoption=fecha+de+publicaci%c3%b3n%2c+orden+descendente&maxrec=2>.
- Fochesatto, J. (2017) *Structural arrangement for a cooling system for welding, plasma cutting or laser machines*. Número de solicitud: pct/br2017/050139. Consulta: 10 de diciembre de 2018 <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docid=wo2017205953&recnum=7&office=&querystring=fp%3a%28fochesatto%29&prevfilter=&sortoption=fecha+de+publicaci%c3%b3n%2c+orden+descendente&maxrec=12>.
- Frostad, J. (1992) *Electronics drafting*. Tinley Park, IL: Goodheart.Willcox.
- Girón, V. (2005) *Máquinas: herramientas de control numérico*. Lima: PUCP.
- Groover, M. (1997) *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice-Hall-Hispanoamericana.
- Hermoza, E. (2018) *Diseño de una máquina seleccionadora de semillas de sachá inchi peladas, por color con capacidad de 200 kg/h*. Tesis para optar el título de ingeniero mecánico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de ciencias e ingeniería. Consulta: 10 de diciembre del 2018 <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/11729>.
- Hibbeler, R. (3<sup>era</sup> edición). (1997) *Mecánica de materiales*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Hibbeler, R. (7<sup>ma</sup> edición). (1995) *Ingeniería mecánica dinámica*. Naucalpan de Juárez: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Hibbeler, R. (10<sup>ma</sup> edición). (2004) *Mecánica vectorial para ingenieros. Estática*. Naucalpan de Juárez: Pearson Education de México.
- Hypertherm Inc. (2018) *Powermax125 csa domestic brochure*. Consulta: 10 de diciembre de 2018. [www.hypertherm.com/en-us/search/?search=860380#documents-collapse](http://www.hypertherm.com/en-us/search/?search=860380#documents-collapse).
- International electrotechnical commission (1983). *Schémas, diagrammes, tableaux*. Génova: IEC.

- Krajcarz, D. (2013) “*Comparison metal water jet cutting with laser and plasma cutting*”. 24th DAAM international symposium on intelligent manufacturing and automation.
- Lean, P. (2013). *Introducción a la ingeniería de materiales*. Lima: PUCP.
- León, H. (2018) *Diseño de hexacóptero autónomo para mantenimiento en líneas eléctricas*. Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de ciencias e ingeniería. Consulta: 10 de diciembre del 2018 <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/12407>
- Manfred, W. (1984). *Handbook of machine tools. Volumen 3*. Great Britain: Wiley Heyden publication
- Mano, M. (2003). *Diseño digital*. México. D.F. Pearson Education
- Manufacturers monthly (2008, Octubre). “*New plasma cutting machine*”. Solution welding & profile cutting technologies. p. 64.
- Ministerio de energía y minas (2<sup>da</sup> edición). (2012). *Código nacional de electricidad: normas de suministro y utilización*. Lima: Megabyte
- Modern machine shop (2014, Noviembre). “*System combines waterjet, plasma cutting*”. Modern equipment review. p. 191
- Molchanova, Y., Bychkov N. & Chernyayev S. (2015) “*Producing orifices in structural materials by plasma, waterjet and laser cutting and piercing*”. Welding international. Volumen 29, número 2, p. 161-164.
- Moreno, J. (1990). *Introducción al control del ruido*. Naerum: Brüel & Kjaer
- Moscoso, R. (2015). *Teoría de campos electromagnéticos*. Lima: PUCP
- Mott, R. (4<sup>ta</sup> edición). (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Naucalpan de Juárez: Pearson Education.
- Munayco, J. (2017) *Automatización de pruebas de cilindros telescópicos de levante de tolvas en camiones mineros*. Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de ciencias e ingeniería. Consulta: 18 de abril del 2019
- Norton, R. (4<sup>ta</sup> edición.). (2009) *Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. México D.F.: McGraw-Hill
- Oerlikon (4<sup>ta</sup> edición). (1987) *Manual de soldadura*. Lima: Oerlikon
- Pontificia Universidad Católica del Perú (2<sup>da</sup> edición). (2012). *Dibujo mecánico I*. Lima: PUCP.

- Pontificia Universidad Católica del Perú (2<sup>da</sup> edición). (2008). *Dibujo mecánico 2*. Lima: PUCP.
- Pressman, R. y Williams, J. (1977) *Numerical control and computer-aided manufacturing*. John Wiley.
- Ramírez, J., Correa J. & Flórez S. (2013). “*Diseño de la plataforma mecánica de una mesa cartesiana XYZ automatizada*”. *Visión electrónica*. Año 7. Número 2, p. 145-154.
- Raskhodoff, N. (1977) *Guía del dibujante proyectista en electrónica*. Barcelona: Gili.
- Rodríguez, J. (2018) *Resistencia de materiales 2*. Lima: PUCP.
- Rodríguez, J. (3<sup>era</sup> edición). (2017) *Diseño de uniones soldadas*. Lima PUCP.
- Rodríguez, J. (1<sup>era</sup> edición). (2012) *Dinámica*. Lima PUCP.
- Roger, J. (2<sup>da</sup> edición). (2000). *Tecnología eléctrica*. Madrid: Editorial Síntesis
- Santamaría, G. (1985). *Manual de automatización eléctrica*. Madrid: Arco/Libros
- Savant, C. & Roden, M. (2<sup>da</sup> edición). (1992) *Diseño electrónico*. Delaware: Addison-Wesley iberoamericana
- Schmelcher, T. (1984) *manual de baja tensión: indicaciones para la selección de aparatos de maniobra, instalaciones y distribuciones*. Berlín: siemens.
- Shigley, J. et al. (3<sup>era</sup> edición). (1985) *Diseño en ingeniería mecánica*. México: McGraw-Hill.
- Suárez, J. et al. (2014) “*Arquitectura de control electrónico en cuadros de maniobra de máquinas de control numérico para corte por plasma y oxigás*”. *DYNA - Ingeniería e industria*. Volumen 89, número 2, p. 211-219.
- Sullcahuamán, B. (2013) *Diseño mecánico de un prototipo de prótesis mioeléctrica transradial*. Tesis para optar el título de ingeniero mecánico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, facultad de ciencias e ingeniería. Consulta: 18 de abril del 2019.
- Trinamic motion control GmbH & Co. (2013) *hardware manual pd-1161 versión 1.0*
- Vargas, J. (2016) *planeamiento y control de operaciones*. Lima: PUCP.
- VDI-Fachbereich produktentwicklung und mechatronic (1993) *Standard: VDI 2221:1993-05 systematic approach to the development and design of technical systems and products*. Consulta: 10 de diciembre de 2010  
[http://www.vdi.eu/nc/guidelines/vdi\\_2221methodik\\_zum\\_entwickeln\\_und\\_konstruieren\\_technischer\\_systeme\\_und\\_produkte/](http://www.vdi.eu/nc/guidelines/vdi_2221methodik_zum_entwickeln_und_konstruieren_technischer_systeme_und_produkte/).
- VDI-Fachbereich produktentwicklung und mechatronic (1997) *Standard: VDI 2222 Blatt 1: 1997-06 methodic development of solution principle* Consulta: 10 de diciembre de 2010



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**  
**ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**



**Anexos:**

**Automatización de una máquina cortadora plasma para materiales metálicos de espesores entre 1 y 50 mm.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECATRÓNICO**

**AUTOR:**

Leonidas Israel Perez Peña

**ASESORES:**

Mg. Ing. César Antonio Lengua Huertas

Ph. D. Julio César Tafur Sotelo

**Lima, abril del 2020**

“Jehová con sabiduría fundó la tierra; Afirmó los cielos con inteligencia.”

Proverbio 3:19

“Así alumbre vuestra luz delante de los hombres, para que vean vuestras buenas obras, y glorifiquen a vuestro Padre que está en los cielos.”

Mateo 5:16

## Índice de contenido

<b>Índice de figuras</b> .....	vi
<b>Índice de tablas</b> .....	ix
<b>Anexo A. Justificación del diseño de componentes</b> .....	A-1
A.1 cálculos mecánicos.....	A-1
A.1.1. Estática.....	A-3
A.1.2. Dinámica.....	A-4
A.1.3 Cálculo de resistencia de materiales.....	A-13
A.1.4. Diseño de elementos de máquinas.....	A-33
A.1.5. Otros cálculos.....	A-45
A.1.6 Herramientas de simulación.....	A-58
A.1.7. Sistemas digitales.....	A-60
A.1.8 Electrónica básica. ....	A-63
A.1.9 Circuitos eléctricos.....	A-64
A.1.10 Máquinas eléctricas.....	A-66
A.2 Detalles técnicos de los parámetros de corte y uso de la cortadora plasma.....	A-72
<b>Anexo B: Metodología utilizada y soluciones propuestas</b> .....	B-1
B.1 Estructura de funciones.....	B-1
B.2 Matriz morfológica.....	B-8
B.3 Conceptos de solución.....	B-13
B.4 Evaluación de conceptos de solución:.....	B-22

<b>Anexo C: ciclo de vida del producto</b> .....	C1
<b>Anexo D: Accesorios y elementos</b> .....	D1
<b>Anexo E: Posicionamiento de materiales a cortar</b> .....	E1
<b>Anexo F: Planos de ensamble y fabricación (*)</b> .....	F1
Lista de planos .....	F1-F3
Planos ensamble y fabricación.....	F4-F37
<b>Anexo G: hojas de datos de fabricantes (*)</b> .....	G1 - G300

Nota: Los títulos con asterisco se presentan aparte por ser más apropiado para su visualización.

## Índice de figuras

		Pág.
Figura A.1	DCL del sistema de movimiento de corte.....	A-3
Figura A.2	Velocidad resultante durante el corte.....	A-4
Figura A.3	Velocidad resultante en el cabezal.....	A-6
Figura A.4	D.C.L. de cabezal de corte.....	A-8
Figura A.5	Momento del motor $M_y$ en el eje roscado.....	A-9
Figura A.6	DCL del carro móvil en $P'$ .....	A-9
Figura A.7	Ubicación del carro móvil en el sistema de traslación $Y$ .....	A-10
Figura A.8.1	Fuerzas en el conjunto eje roscado y carro móvil.....	A-10
Figura A.8.2	D.C.L del eje roscado.....	A-11
Figura A.9	Diagrama del sistema de movimiento en dirección $Y$ .....	A-14
Figura A.10	Elementos del sistema de transmisión de potencia.....	A-15
Figura A.11	Diagrama de medidas del eje roscado.....	A-16
Figura A.12.1	D.C.L. del eje roscado en el plano $Y-Z$ .....	A-17
Figura A.12.2	Diagrama VMT del eje roscado.....	A-18
Figura A.12.3	Coefficiente de tamaño.....	A-18
Figura A.12.4	Medidas finales del eje giratorio en el plano $Y-Z$ .....	A-24
Figura A.12.5	Fuerzas y momentos en el eje roscado.....	A-25
Figura A.13	D.C.L. de sistema de movimiento $Y$ .....	A-31
Figura A.14	Acople flexible de fuelle.....	A-32

	Pág.
Figura A.15	Medidas de rosca Tr 26x8..... A-34
Figura A.16.1	Fuerza equivalente en el rodamiento.....A-36
Figura A.16.2	Diagrama: Diámetro medio vs. Viscosidad relativa..... A-37
Figura A.16.3	Diagrama $v / (\text{mm}^2/\text{s})$ vs. $T / ^\circ\text{C}$ ..... A-37
Figura A.16.4	Diagrama $fs' / \text{N}$ vs. $k_2$ .....A-38
Figura A.16.5	Diagrama $k$ vs. $A_{23II}$ según varía $K$ ..... A-38
Figura A.16.6	Parámetros para el cálculo del factor de contaminación: $V$ ..... A-39
Figura A.16.7	Diagramas para la obtención del factor de limpieza: $s$ ..... A-39
Figura A.16.8	Tolerancia en eje y rodamiento..... A-40
Figura A.16.9	Rodamiento modelo 6001-2Z..... A-41
Figura A.17.1	DCL de postes de mesa de trabajo..... A-45
Figura A.17.2	Zonas de pandeos y esfuerzos críticos para los postes.....A-46
Figura A.17.3	Diagrama de fuerzas externas sobre el sistema de movimiento $Y$ ...A-47
Figura A.18	Dimensiones externas de la máquina.....A-50
Figura A.19.1	Dimensiones principales de un ciclón.....A-52
Figura A.19.2	Dimensiones de las mangas absorbentes..... A-56
Figura A.20.1	Esfuerzos en la mesa de trabajo con una plancha de 50 mm..... A-59
Figura A.20.2	Deflexión de la mesa de trabajo con una plancha de 50 mm..... A-59
Figura A.21.1	Deflexión de la estructura $Y$ por peso propio y cabezal de corte....A-60
Figura A.21.2	Deflexión de la estructura acanalada de soporte y eje roscado.....A-60
Figura A.22	Microcontrolador ATmega 88p ..... A-61
Figura A.23	Comunicación, alimentación y consumo entre componentes..... A-62
Figura A.24.1	Fuente de 12 VDC (2.4W) y 5VDC (2.5W), plano C3-A2..... A-63
Figura A.24.2	Energía y acondicionamiento de termistores, plano C3-A2..... A-64

	Pág.
Figura A.25	Diagrama de torque vs. velocidad del motor PD60-3-1161..... A-67
Figura A.26	Sensor capacitivo GX-H12..... A-68
Figura A.27	Codificación CP-50 para una figura cuadrada.....A-70
Figura A.28	Cortadoras manuales que pueden ser acopladas al sistema..... A-72
Figura A.29	Terminales de corte plasma (a) Uso manual (b) Uso mecanizado...A-75
Figura A.30	Procedimiento para el encendido manual..... A-76
Figura A.31	Consumibles del terminal de corte plasma..... A-77
Figura B.1	Estructura de funciones del dominio mecánico.....B-2
Figura B.2	Estructura de funciones del dominio de control e información..... B-4
Figura B.3	Estructura de funciones del dominio eléctrico-electrónico.....B-6
Figura B.4	Esquemas del concepto de solución 1.....B-15
Figura B.5	Esquemas del concepto de solución 2..... B-16
Figura B.6	Esquemas del concepto de solución 3.....B-17
Figura B.7	Esquemas del concepto de solución 4.....B-20
Figura B.8	Esquemas del concepto de solución 5.....B-21
Figura B.9	Gráfico de evaluación técnico-económica..... B-26
Figura D.1	Transporte modular de la máquina CP-50..... D-2
Figura E.1	Posicionamiento para corte de planchas de acero..... E-1
Figura E.2	Posicionamiento para corte de perfiles..... E-2
Figura E.3	Corte de tubo planchas de más de 1200mm de longitud.....E-3
Figura E.4	Corte de tubo redondo mediante apoyos motorizados CNC.....E-4

## Índice de tablas

		Pág.
Tabla A.1	Cálculos resaltantes en el diseño de la máquina.....	A-1
Tabla A.2	Nomenclatura del D.C.L. del sistema de corte.....,,,	A-3
Tabla A.3	Velocidad de corte máxima según trayectoria.....	A-4
Tabla A.4	Factores detectados que afectan la precisión y exactitud del corte.....	A-5
Tabla A.5	Parámetros a considerar para el sistema móvil X e Y.....	A-13
Tabla A.6.1	Valores de longitudes del tornillo de potencia del corte.....	A-16
Tabla A.6.2	Información del material St 50 según la norma DIN 17 100 .....	A-19
Tabla A.6.3	Factor de confiabilidad $C_c$ .....	A-19
Tabla A.6.4	Resumen de dimensiones del eje roscado.....	A-23
Tabla A.7.1	Factores de cálculo para la sección A.....	A-27
Tabla A.7.2	Factores de cálculo para la sección B.....	A-27
Tabla A.7.3	Factores de cálculo para la sección C.....	A-28
Tabla A.7.4	Factores de cálculo para la sección D.....	A-29
Tabla A.7.5	Factores de cálculo para la sección E.....	A-29
Tabla A.8	Medidas según norma DIN 379 para rosca trapecial a fabricar.....	A-34

	Pág.
Tabla <b>A.9</b>	Símbolos con medidas de rodamientos ..... A-41
Tabla <b>A.10</b>	Medidas y fuerzas en rosca trapecial seleccionada..... A-42
Tabla <b>A.11</b>	Resultados de torque del motor necesario ..... A-44
Tabla <b>A.12</b>	Resultados de potencia y velocidad del motor necesario..... A-44
Tabla <b>A.13.1</b>	Eficiencia de los ciclones según su tipo y tamaño de partículas..... A-52
Tabla <b>A.13.2</b>	Relación de dimensiones en el ciclón modelo Swift..... A-53
Tabla <b>A.13.3</b>	Factor para la estimación de la tasa de flujo de gas hacia las mangas.....A-55
Tabla <b>A.13.4</b>	Características de las telas industriales..... A-58
Tabla <b>A.14</b>	Características y aplicación del ATmega 88P al corte plasma automático. A-61
Tabla <b>A.15</b>	Potencia eléctrica requerida por componentes.....A-65
Tabla <b>A.16</b>	Velocidad vs. torque requeridos para motor..... A-67
Tabla <b>A.17</b>	Características del sensor capacitivo GX-H12..... A-69
Tabla <b>A.18</b>	Parámetros de movimiento según posición..... A-71
Tabla <b>A.19.1</b>	Velocidad de corte según espesor.....A-73
Tabla <b>A.19.2</b>	Ancho de ranura de corte según material y espesor..... A-73
Tabla <b>A.19.3</b>	Velocidad de corte según material y espesor para acero dulce..... A-74
Tabla <b>A.19.4</b>	Velocidad de corte según material y espesor para acero inoxidable..... A-74
Tabla <b>B.1</b>	Matriz morfológica del sistema..... B-8
Tabla <b>B.2</b>	Evaluación técnico-económica de los proyectos..... B-25
Tabla <b>B.3</b>	Detalles complementarios sobre las soluciones propuestas.....B-27
Tabla <b>C.1</b>	Estudio del ciclo de vida, impacto ambiental y medidas aplicadas..... C-2
Tabla <b>D.1</b>	Componentes y accesorios por calcular..... D-1
Tabla <b>F.1</b>	Lista de planos para la fabricación de la cortadora automática..... F-1

.....

## Anexo A: Justificación del diseño y selección de componentes

Para obtener los valores de dimensiones y propiedades más eficientes se realizan cálculos mecánicos y eléctricos, luego para lograr una correcta forma de control y comunicación entre los mismos se revisa la compatibilidad e idoneidad de cada componente frente al proceso y al resto de equipos

### A.1 Cálculos mecánicos

Entre los cálculos para el diseño se presentan los siguientes:

Tabla A.1 Cálculos resaltantes en el diseño de la máquina

Curso	Temas	Cálculos	Referencia
<i>Estática</i>	Equilibrio del sólido rígido	- D.C.L. del mecanismo de corte	Ingeniería mecánica Estática Hibbeler R. , 2004
<i>Dinámica</i>	Cinemática	- Velocidad y trayectoria de cabezal de corte	Ingeniería mecánica Dinámica Hibbeler R., 2004
	Cinética	- Precisión, exactitud y radio de giro mínimo del corte - Fuerza del cabezal de corte	Dinámica Rodríguez J., 2012
<i>Resistencia de materiales</i>	F.S. Deflexión Pandeo Soldadura Estructuras metálicas	- Dimensiones del eje para transmisión de potencia y factor de seguridad -Soldadura de la estructura de soporte	Mecánica de materiales Hibbeler R. , 1998 Resistencia de materiales Rodríguez J., 2018
<i>Diseño de elementos de máquinas</i>	Vigas y columnas Transmisión de potencia Tornillos de potencia Uniones por pernos	- Medidas y características del tornillo de potencia - Rodamientos del eje roscado y vida útil - Potencia de motor a pasos -Velocidad lineal de subsistemas X, Y y conjunto. - Velocidad crítica del eje.	Diseño de elementos de máquinas Mott R., 2006 Diseño de uniones soldadas Rodríguez J., 2017 Diseño de maquinaria Norton R., 2015
<i>Otros:</i>		- Dimensiones externas de la máquina - Duración de componentes según el uso de la máquina	

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.1 continuación

Curso	Temas	Cálculos	Referencia
<b>Herramientas de simulación</b>	Deformaciones por MEF Dinámica de componentes	- Deformación de mesa de trabajo - Deflexión de vigas de soporte de componentes.	Material del curso Chambergó J., 2014
<b>Termofluidos</b>	Temperatura, presión y velocidad de fluidos. Refrigeración Transferencia de calor	- Presión y temperatura de aire succionados.	Mecánica de fluidos White F., 1999 Ingeniería termodinámica Burghardt M., 1984 Termofluidos Cruz J., 2015
<b>Sistemas digitales</b>	Comunicación serial Interrupciones Programación de microcontroladores	- Selección de microcontrolador - Compatibilidad de comunicación con periféricos: sensores, actuadores y controladores	Material del curso Pratt H., 2013
<b>Electrónica básica</b>	Convertidores A/D, diodos y transistores Fuentes y variadores de energía	- Características de componentes electrónicos	Diseño electrónico Savant C., Roden M. & Carpenter G., 1992
<b>Temas de ingeniería mecatrónica A</b>	Metodología de diseño de arquitectura de sistemas	- Arquitectura de comunicación entre máquina y PC o celular personal (IoT).	
<b>Circuitos eléctricos</b>		- Potencia requerida por componente. - Consumo eléctrico de la máquina	Apuntes del curso de circuitos eléctricos 1 y 2 Melgarejo O., Frery O. & José B., 2013
<b>Teoría de control 2</b>	Análisis modal	- Modos de vibración de estructura metálica base y de vigas de protección de componentes.	Material del curso Tafur J., 2017
<b>Máquinas eléctricas</b>	Motores síncronos Motores especiales	- Selección y forma de control del motor a pasos	Máquinas eléctricas Chapman S., 2013

Fuente: Elaboración propia

**A.1.1. Estática:** Se realiza un análisis de las fuerzas externas sobre el mecanismo de corte mediante un D.C.L. (ver figura A.1) con el fin de clasificarlas y entender sus relaciones así como sus direcciones. Se parte del requerimiento de un área de trabajo de  $1000 \times 1200$  mm, se considera también el lado derecho como el motor y el izquierdo como guiado, los tornillos sin fin son fijados en un extremo y en el otro poseen apoyo móvil. Se presenta la simbología en la tabla A.2

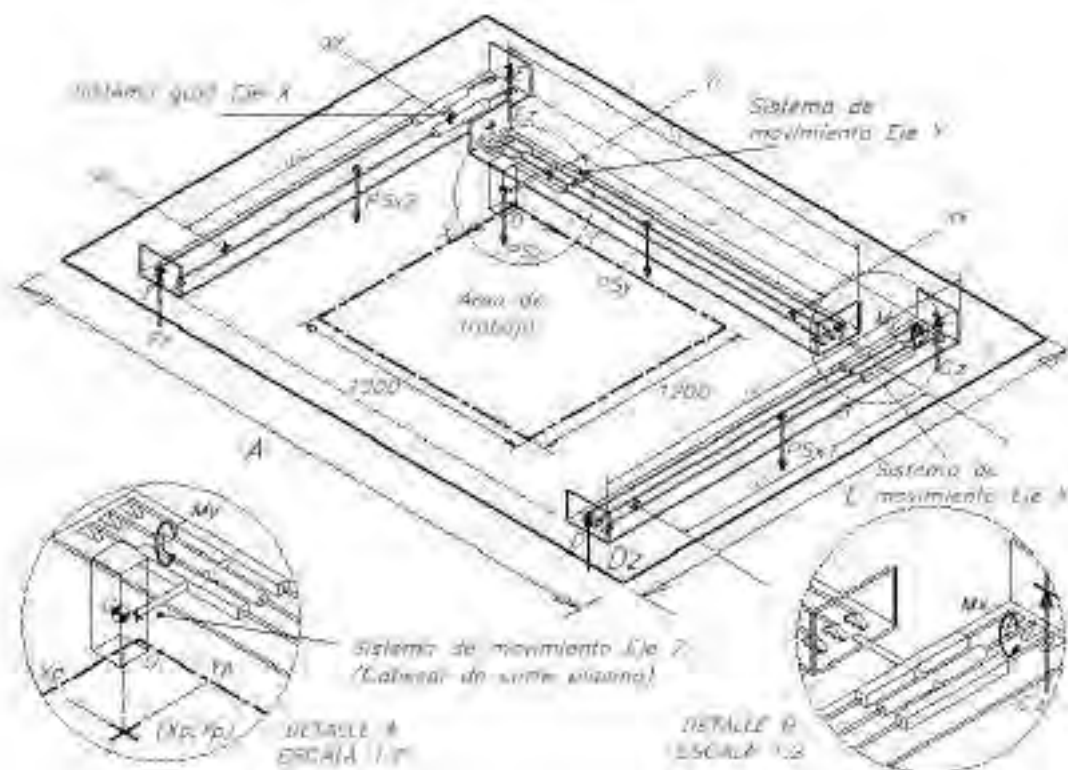


Figura A.1 DCL del sistema de movimiento de corte Fuente: Elaboración propia

Tabla A.2 Nomenclatura del D.C.L. del sistema de corte

Nombre	Sistema		
	X	Y	Z
Torque del motor	$M_x$	$M_y$	-
Longitud de carrera	$l_{x1}, l_{x2}$	$l_y$	20
Extremo inicial de carrera	$X_i$	$Y_i$	-
Extremo final de carrera	$X_f$	$Y_f$	-
Posición del carro móvil	$X_p$	$Y_p$	-
Longitud del sistema	$L_x$	$L_y$	-
Peso del sistema	$P_{sx}$	$P_{sy}$	$P_{sz}$
Puntos de apoyo	A, B, C y D	E y F	G
Fuerzas de reacción de la estructura base	$C_z, D_z, E_z$ y $F_z$		
Medidas máximas según requerimientos	L y A		

Fuente: Elaboración propia

## A.1.2. Dinámica

### 1. Velocidad resultante y trayectoria del cabezal de corte

Se tiene  $V_x$  y  $V_y$  velocidades independientes transmitidas al cabezal de corte a través de la unión en  $G$ , se calcula la velocidad resultante en  $C$  ( $V_c$ ) (figura A.2) y su rango de valores alcanzables por el sistema en conjunto, la cual es la velocidad de corte del extremo de la antorcha.

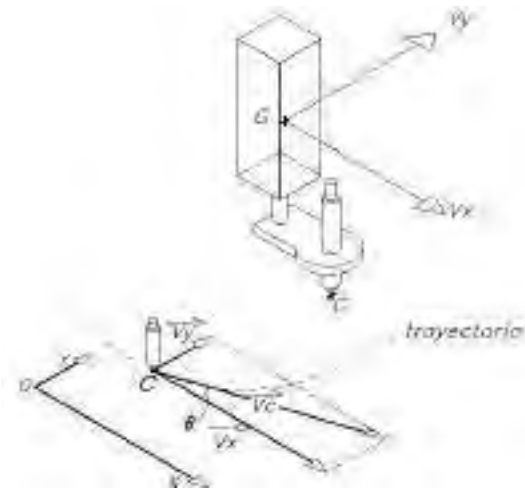


Figura A.2 Velocidad resultante durante el corte  
Fuente: Elaboración propia

Datos:

$V_{x,y}$ : Velocidad lineal del sistema de dirección del eje X e Y

Por principios de dinámica se tiene que:  $V_c = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$  y  $\theta = \arctg\left(\frac{\|V_y\|}{\|V_x\|}\right)$

$V_c = V_c (\cos(\theta), \sin(\theta))$ , entonces  $V$  en función de los valores de entrada

$$V_c = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \cdot (\cos(\theta), \sin(\theta)) \quad \dots(\mathbf{a.1})$$

Sea la máxima y mínima velocidad lineal ( $V_{máx, mín}$ ) que puede alcanzar cada subsistema para  $V_x$  y  $V_y$  y la ecuación a.1 se concluye sobre  $V_c$  lo expuesto en la tabla A.3

Tabla A.3 Velocidad de corte máxima según trayectoria

TIPO DE VELOCIDAD	TIPO DE TRAYECTORIA	EJEMPLO	VELOCIDADES PERMITIDAS PARA $V_c$
Velocidad constante	Recta		Según el sector 1 y 3: $V_{mín} \leq V_c \leq V_{máx} \cdot \sec(\theta)$ 2 y 4: $V_{mín} \leq V_c \leq V_{máx} \cdot \csc(\theta)$
	Curva		Depende de las direcciones incluidas: Si tiene paralelas a X o Y: $V_{mín} \leq V_c \leq V_{máx}$ Si no: $V_{mín} \leq V_c \leq \sqrt{2} \cdot V_{máx}$
	Curva cerrada		$V_{mín} \leq V_c \leq V_{máx}$ puesto que limita la menor velocidad
Velocidad variable	General		$V_{mín} \leq V_c \leq \sqrt{2} \cdot V_{máx}$ Máximos para direcciones de 45, 135, 225 y 315°

Nota: La velocidad máxima de corte ( $V_{máx}$ ) se plantea como 20mm/s según la lista de requerimientos (tabla 3.2)

Fuente: Elaboración propia

## 2. Precisión, exactitud y radio de giro mínimo del corte:

En la precisión influyen las características de los componentes del sistema, se observan los siguientes en la tabla A.4:

Tabla A.4 Factores detectados que afectan la precisión y exactitud del corte

FACTOR	EFEECTO
Rigidez del sistema móvil	Torsión y deflexión del eje roscado y guías
Paso del tornillo y tipo de rosca	Resolución mecánica
Histéresis de los limitadores de carrera	Diferencia en punto de activación y desactivación
Número de pasos de los motores	Resolución de control (dominio mecánico)
Tipo de control (Microstep, Full step u otros)	Varía la distancia de detención del carro por inercia
Resolución de bits de los controladores	Resolución de control (dominio de control)
Algoritmo de programación	Resolución de control (dominio informático)
Vibraciones en el movimiento de corte	Disipa la energía útil transmitida al carro móvil
Colocación de la antorcha plasma	Afecta la perpendicularidad y precisión en el corte
Exactitud en el ensamble	Precisión y exactitud en el corte

Fuente: Elaboración propia

**La precisión y exactitud** se miden en la máquina ya ensamblada y calibrada, mas se mostrará una aproximación de los valores de trabajo mediante el cálculo de la resolución mecánica. Se calcula el avance mínimo ( $A_{\min}$ ) que posee el carro móvil:

El motor posee  $P_m$  pasos por vuelta y el tornillo de potencia un paso  $P_t$ , se obtiene  $A_{\min}$ :

$$A_{\min} = \frac{P_t}{P_m}, \quad \dots \text{(a.2)}$$

Reemplazando se obtiene:  $\frac{(10)}{(200)} = \frac{1}{20} \text{ mm}$ , la **precisión mecánica** es: **0.05 mm.**

Comparando con los valores comerciales encontrados en la tabla 2.4 en el documento principal, se concluye que es un valor intermedio más debe mejorar hasta 0.01 mm.

Para el cálculo de la exactitud se considera la siguiente fórmula (Girón V., 2005, p. 31):

$$\text{Exactitud} = (0.50) \cdot CR + 3 \cdot \sigma \quad \dots \text{(a.3)}$$

En a.3 se considera CR como la resolución de control en este caso  $A_{\min}$ , también se asume una distribución normal para las posiciones que se obtendrán cercanas a la requerida, se requiere que  $3 \cdot \sigma$  no supere  $0.5 \times A_{\min}$  para que no se superpongan errores entre cada punto requerido.

$$0,5 A_{\min} = 0.025, \text{ luego se decide por seguridad } 3 \cdot \sigma = 0.018$$

De **a.3** se obtiene la **exactitud** igual a:  $0.025 + 0.018 = \mathbf{0.043 \text{ mm}}$

El error respecto a la posición ordenada equivalente en valor a la **capacidad de repetición** es de:  $\pm 3.\sigma$  igual a  $\pm \mathbf{0.018 \text{ mm}}$

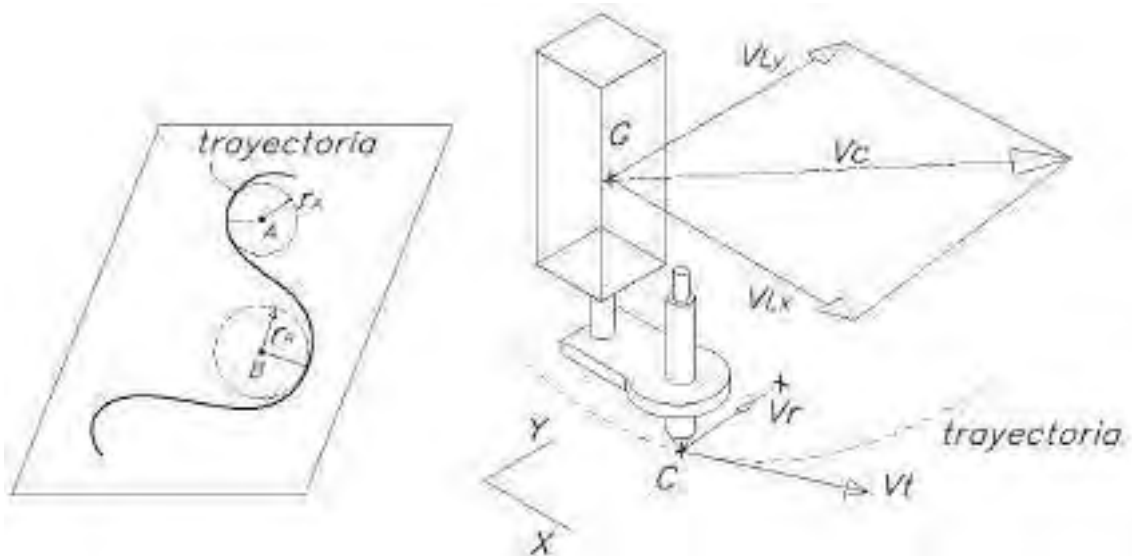


Figura **A.3** Velocidad resultante en el cabezal Fuente: Elaboración propia

Se requiere conocer el **radio de giro (R)** (figura **A.3**) mínimo realizable por la máquina durante su movimiento.

Se conoce que:  $F = m_c \cdot \frac{V_t^2}{R}$  ... **(a.4)**

y la velocidad lineal ( $V_{Lx,y}$ ) mínima y fuerza lineal ( $F_{Lx,y}$ ) máxima de cada subsistema de movimiento.

Se relaciona  $V_{Lx,y}$  con las componentes de  $V_t$  :  $V_t^2 = V_{Lx}^2 + V_{Ly}^2$  ... **(a.5)**

y F con las componentes de las fuerzas lineales :  $F^2 = F_{Lx}^2 + F_{Ly}^2$  ... **(a.6)**

Se tiene los siguientes datos del cabezal de corte plasma

Masa del sistema de movimiento Z  $m_{sz}$  : 9.98 Kg

Masa de la terminal generador de antorcha plasma y cables (1m)  $m_{tp}$  : 0.67 Kg

Soporte anticolidión de antorcha  $m_{sa}$  : 1.11 Kg

De donde se obtiene la masa total del cabezal (**mc**): 11.76 Kg

Luego reemplazando las variables en **a.4** y despejando R

Se obtiene:

$$R = m_c \cdot \frac{V_{Lx}^2 + V_{Ly}^2}{\sqrt{F_{Lx}^2 + F_{Ly}^2}} [m] \quad \dots (a.7)$$

Si se considera las posiciones donde la tangente a la trayectoria es horizontal o vertical se dispone de una sola fuerza como máximo, si se requiere maximizar el radio de giro mínimo se reemplazan los valores requeridos de  $V_L$  y máximos de  $F_L$  en la ecuación a.7.

$$R_{\min} = m_c \cdot \frac{V_L^2}{F_{L\max}}$$

Utilizando valores de velocidad de corte de 7.62mm/s (45.72rpm, 152 pps) para espesores de 38mm y considerando la fuerza lineal máxima obtenida con los subsistemas de movimiento X e Y de 42 N (considerando una eficiencia del 20% en el mecanismo) se obtiene:

$$R_{\min} = (11.76 \text{ kg}) \cdot \frac{(0.00762 \text{ m/s})^2}{(42 \text{ N})}$$

Como resultado para estas condiciones  $R_{\min} = 0.0163 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

**Nota:** Estos valores obtenidos son referenciales serán limitados por las resoluciones mecánicas y de control más que por el aspecto cinético y cinemático.

### ***3. Fuerzas en el cabezal de corte:***

Se calcula las fuerzas  $F_x$  y  $F_y$  (ver figura **A.4**) transmitidas al cabezal en el punto G que puede realizar el sistema como máximo, ya que así se conocerá su relación con el torque que deben realizar los motores  $M_x$  y  $M_y$  y se conocerá también las aceleraciones máximas que se puede alcanzar durante el corte. Las fuerzas de cada subsistema de movimiento son perpendiculares entre sí y se transportan de forma paralela y sin rotar, por esto se afirma que estos vectores actúan conservando su magnitud y sentido en el punto G del cabezal de corte y en el vértice C del terminal de corte.

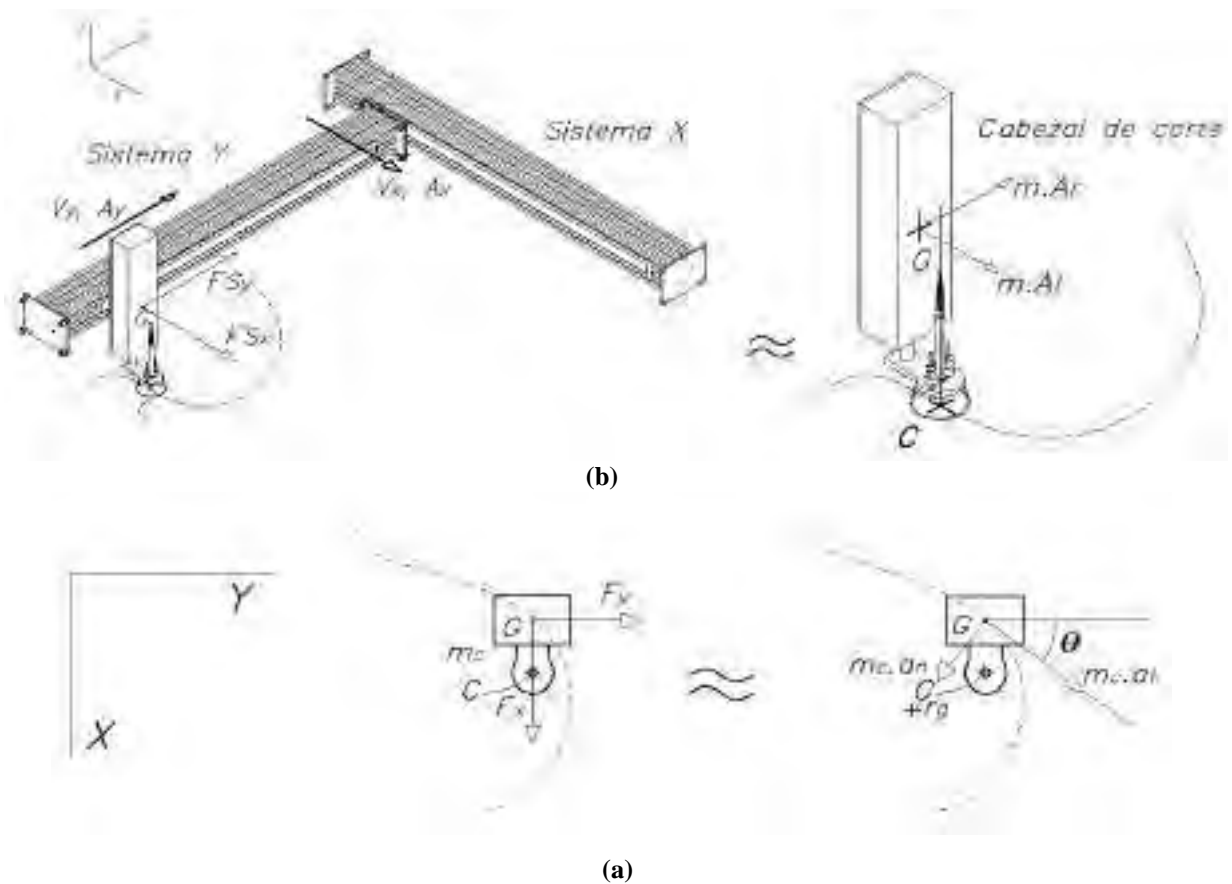


Figura A.4 DCL del cabezal de corte (a) Vista isométrica (b) vista superior Fuente: Elaboración propia

Se obtiene a partir del DCL del cabezal móvil

$$F_x = m \cdot A_t \cdot \text{Sen}(\theta) + m \cdot A_n \cdot \text{Cos}(\theta) \quad \dots \text{(a.8.1)}$$

$$F_y = m \cdot A_t \cdot \text{Cos}(\theta) - m \cdot A_n \cdot \text{Sen}(\theta) \quad \dots \text{(a.8.2)}$$

$$A_t = \alpha_t \cdot r_G \quad \dots \text{(a.8.3)}$$

$$A_n = \frac{(v_t^2)}{r_G} \quad \dots \text{(a.8.4)}$$

$F_{x,y}$ : Fuerzas transmitida por los motores  $M_x$  y  $M_y$  hacia el punto G

Se muestra la ubicación del momento  $M_{sy}$  sobre el eje roscado (figura A.5) y el DCL del carro móvil (figura A.6), para esto se consideran las fuerzas como puntuales que actúan en un punto P' del móvil.

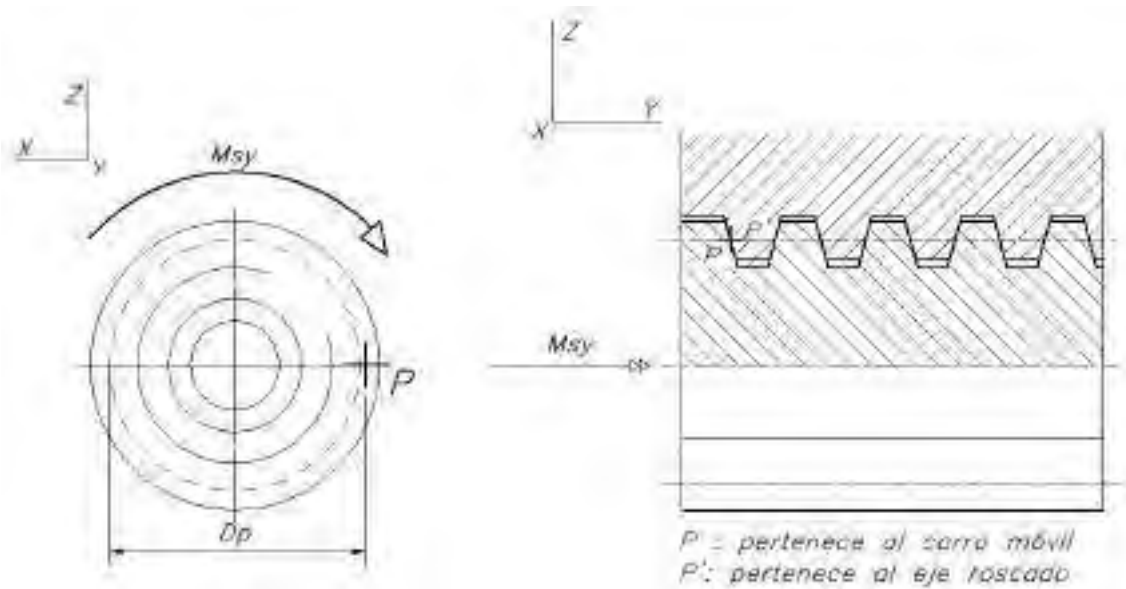


Figura A.5 Momento del motor  $M_y$  en el eje roscado Fuente: Elaboración propia

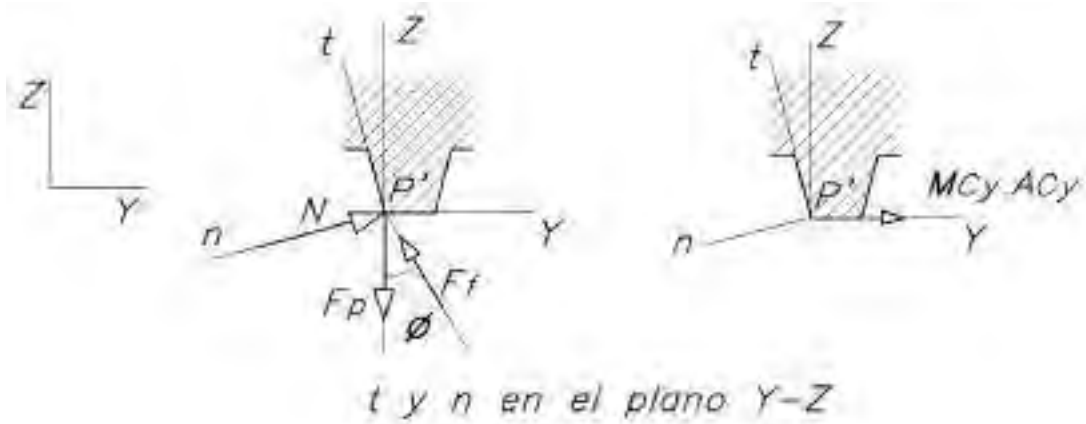


Figura A.6 D.C.L. del carro móvil en  $P'$  Fuente: Elaboración propia

Donde:

Diámetro de paso del eje roscado	: $D_p$
Momento transmitido por el motor $Y$	: $M_{Sy}$
Fuerza en el extremo del eje en el punto de contacto $P$	: $F_P$
Fuerza normal entre las caras roscadas	: $N$
Fuerza de fricción en los hilos de las roscas	: $F_f$
Aceleración en dirección $Y$ del carro móvil	: $A_{Cy}$
Masa del carro móvil	: $M_{Cy}$
Ángulo de inclinación de la rosca	: $\phi$

Se conoce que:

$$MSx = Fp \cdot \frac{Dp}{2} \quad \dots \text{(a.9)}$$

Del D.C.L. de la figura A.6 se obtiene:

$$M_{carro} \cdot Ay = N \cdot \cos(\phi) - Ff \cdot \sin(\phi), \quad Ff = \mu_k \cdot N$$

$$0 = N(\mu_k \cdot \cos(\phi) + \sin(\phi)) - Fp,$$

$$\text{Luego se tiene que } N = \frac{Fp}{\mu_k \cdot \cos(\phi) + \sin(\phi)} \quad \dots \text{(a.10)}$$

Reemplazando en la ecuación a.8.1 para despejar Ay

$$Ay = \frac{Fp[\cos(\phi) - \sin(\phi) \cdot \mu_k]}{m_{carro} \cdot (\sin(\phi) + \mu_k \cdot \cos(\phi))} \quad \dots \text{(a.11)}$$

Ahora en el D.C.L del carro móvil (fig. A.8.1) parte del sistema móvil Y (fig. A.7)

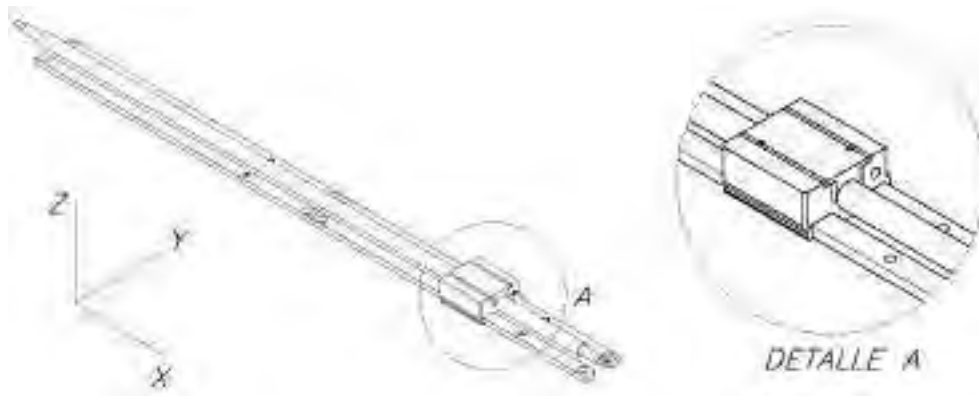


Figura A.7 Ubicación del carro móvil en el sistema tracción Y Fuente: Elaboración propia

**Nota:** La fuerza normal  $N_{f2}$  tiene dirección negativa puesto que compensa la componente positiva de la fuerza de transmisión  $N$  del motor.

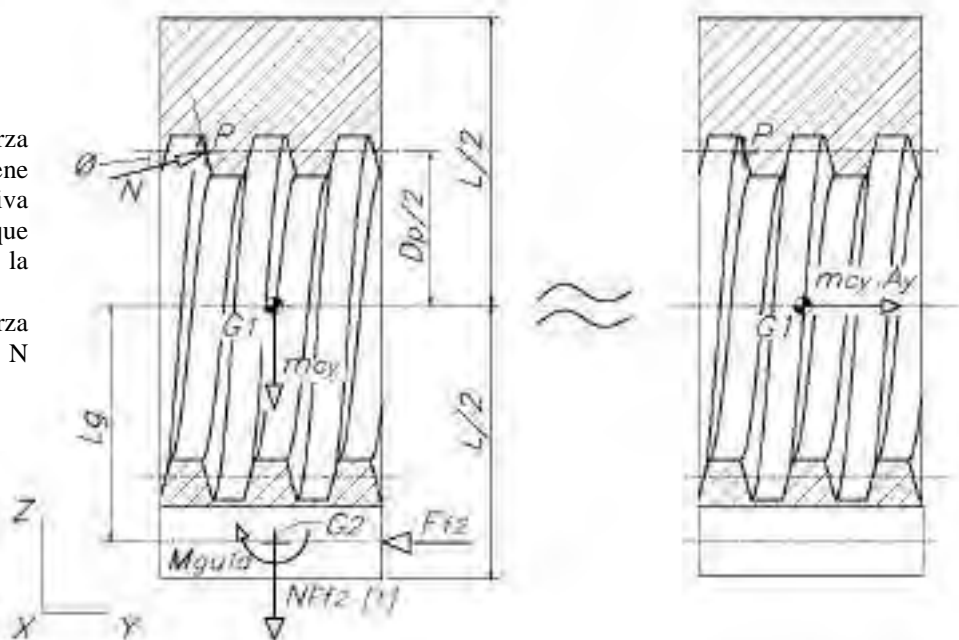


Figura A.8.1 Fuerzas en el conjunto eje roscado y carro móvil Fuente: Elaboración propia

De manera semejante se tiene el D.C.L. del eje roscado (fig. A.8.2)

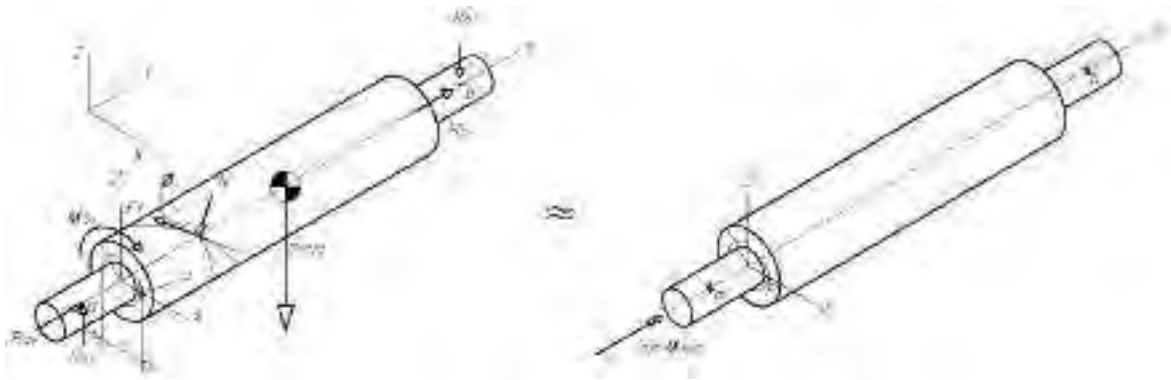


Figura A.8.2 D.C.L. del eje roscado Y Fuente: Elaboración propia

Nomenclatura: Se describen los símbolos de forma consecutiva al orden en que se escriben

$D_p$  y  $L_g$  : Diámetro de paso del eje roscado y distancia entre guías (L)

$m_c$  y  $a_{cy}$  : Masa y aceleración del carro móvil en el sistema Y

$N_{Ff2}$ ,  $F_{f2}$  : Fuerza normal y de rozamiento de las guías trapeziales

$M_{guía}$  : Momento que realiza la barra guía al cabezal móvil

$R_{ay}$ ,  $R_{az}$ ,  $R_{by}$ ,  $R_{bz}$  : Componentes de las reacción en los apoyos  $a$  y  $b$

$m_{eje}$ ,  $I_{eje}$ ,  $\alpha_{eje}$  : Masa, momento de inercia y aceleración angular del eje roscado

$N$ ,  $F_f$  y  $\mu_{k1}$  : Fuerza normal, fricción y coeficiente entre tornillo y carro móvil

$\phi$  : Inclinación de la rosca

$\mu_{k2}$  : Coeficiente de fricción dinámico entre carro móvil y guía.

Del DCL en la figura A.8.2 se observa:

$$M_{Oy} : \quad M_{sy} + N \cdot \text{sen}(\phi) - F_f \cos(\phi) = I_{eje} \cdot \alpha_{eje} \quad \dots \text{(a.12)}$$

$$Y : \quad A_y + B_y = F_f \cdot \text{sen}(\phi) + N \cdot \cos(\phi) \quad \dots \text{(a.13)}$$

Se requiere el valor de la fuerza resultante sobre el carro móvil ( $F_y$ ) en dirección de Y,

la cual se le llamó fuerza lineal del sistema Y ( $F_{Ly}$ ) en el cálculo anterior.

Si se considera el giro a velocidad constante  $\alpha_{eje}$  es igual a cero y se tiene lo siguiente:

$M_{sy} = (-N \cdot \text{sen}(\varphi) + F_f \cdot \text{cos}(\varphi)) \cdot \left(\frac{D_p}{2}\right)$ , donde  $F_f = \mu_{k1} \cdot N$

$$\text{Luego se tiene que: } N = \frac{M_{sy}}{\mu_{k1} \cdot \text{cos}(\varphi) - \text{sen}(\varphi) \cdot \left(\frac{D_p}{2}\right)} \quad \dots \text{ (a.14)}$$

Ahora del DCL en la figura **A.7**, del carro móvil, se tiene que:

$$\text{En dirección Y: } N \cdot \text{cos}(\varnothing) - (F_{f2}) = m_{cy} \cdot Ay$$

$$N \cdot \text{cos}(\varnothing) - \mu_{k2} \cdot (N_{Ff2}) = m_{cy} \cdot Ay \quad \dots \text{ (a.15)}$$

$$\text{Z: } N \cdot \text{sen}(\varnothing) - m_{cy} \cdot g - (N_{Ff2}) = 0$$

$$N \cdot \text{sen}(\varnothing) - m_{cy} \cdot g = N_{Ff2} \quad \dots \text{ (a.16)}$$

$$\text{Momentos } M_{G1z}: N \cdot \text{cos}(\varnothing) \cdot \frac{D_p}{2} + (F_{f2} \cdot \frac{L_g}{2}) - M_{Guía} = 0$$

$$N \cdot \text{cos}(\varnothing) \cdot D_p + L_g \cdot \mu_{k2} \cdot (N_{Ff2}) - 2 \cdot M_{Guía} = 0 \quad \dots \text{ (a.17)}$$

De las ecuaciones **a.16** y **a.17** se obtienen el momento en la barra guía

$$M_{Guía} = \frac{(N \cdot \text{cos}(\varnothing) \cdot D_p + L_g \cdot \mu_{k2} \cdot (N \cdot \text{sen}(\varnothing) - m_{cy} \cdot g))}{2}, \text{ en función de N } \quad \dots \text{ (a.18)}$$

Y de la ecuación **a.15** se obtiene reemplazando  $N_{Ff2}$  lo siguiente:

$$Ay = [N(\text{cos}(\varnothing) - \mu_{k2} \cdot \text{sen}(\varnothing))]/m_{cy} + \mu_{k2} \cdot g, \text{ en función de N } \quad \dots \text{ (a.19)}$$

Y la fuerza  $F_y$  se relaciona con el carro móvil de la forma  $F_y = m_{cy} \cdot Ay$ , de donde se obtiene

$$F_{y,x} = \frac{[M_{Sy,x} \cdot (\text{cos}(\varnothing) - \text{sen}(\varnothing) \cdot \mu_{k2})]}{(D_p/2)(\mu_{k1} \cdot \text{cos}(\varphi) - \text{sen}(\varphi))} - m_{cy,x} \cdot \mu_{k2} \cdot g \quad \dots \text{ (a.20)}$$

Para  $F_y$  se considera, en  $m_{cy}$  las masas del carro móvil Y y la del cabezal ensamblado.

Para  $F_x$  se considera, en  $m_{cx}$  las masas del carro móvil X, la del carro guía X, la del sub-sistema de movimiento en dirección Y y la masa del cabezal ensamblado, se propone una rosca trapecial basta según la norma DIN 379, si se considera el modelo Tr26x8, y los valores ubicados en la tabla **A.5** en la ecuación **a.20**

Tabla A.5 Parámetros a considerar para el sistema móvil X e Y

Parámetro		Parámetro	
$D_p$	0.022 m	$L_g$	0.025 m
$\cos(\emptyset)$	0.966	$\text{sen}(\emptyset)$	0.259
$\cos(\varphi)$	0.993	$\text{sen}(\varphi)$	0.115
$M_{SX}$	2 N.m	$M_{SY}$	2 N.m
$u_{k1}$	0.15		
$m_{cX}$	39 Kg	$m_{cY}$	8 Kg
$u_{k2}$	0.15		
$\varphi$	6.6°		
$\emptyset$	15°		

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene reemplazando en **a.20**

$$F_{y,x} = \frac{[(2 \text{ N.m}).(0.966 - (0.15 \times 0.259))]}{\left(\frac{0.022}{2} \text{ m}\right).((0.15 \times 0.993) - 0.115)} - [8 \text{ Kg} , 39 \text{ Kg}] \times (0.15) \times (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$F_{y,x} = [4953.55, 4907.93] \text{ N}$$

$$\boxed{F_y = 4953.55 \text{ N}} \text{ y } \boxed{F_x = 4907.93 \text{ N}}$$

Esto indica que el sistema desarrolla una fuerza resultante ( $F_r$ ) máxima de 6973.19 N.

En resumen:

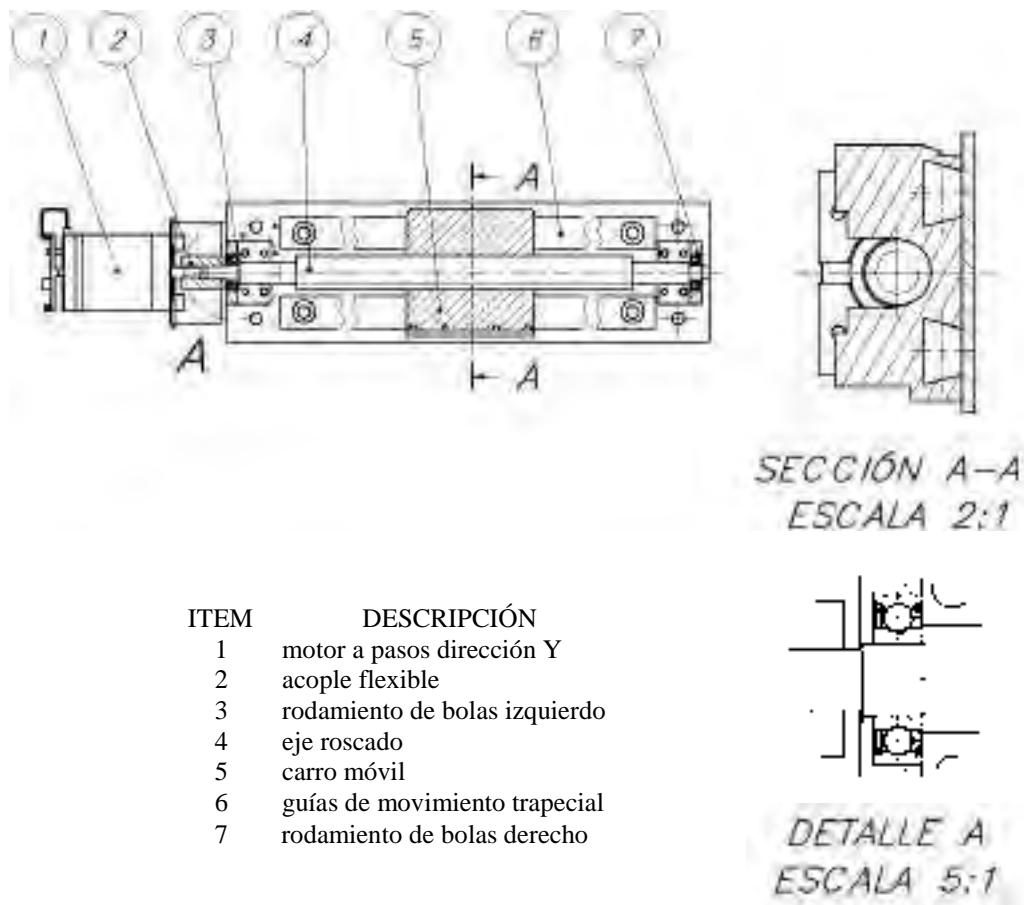
Se plantea también la posibilidad de utilizar rosca circular o redonda pero se presentan dificultades con las emisiones del corte plasma, las cuales puede dañar los hilos del eje y dificultar o impedir el movimiento longitudinal del carro.

### **B.1.3 Cálculo de resistencia de materiales**

**1. Dimensiones del eje para transmisión de potencia:** Se hallan dimensiones de diámetros.

**1.1 Cálculos de dimensiones del eje del sistema de movimiento en dirección Y:**

Para el movimiento del cabezal de corte se tiene un mecanismo con tornillo de potencia, rodamientos y guías trapeciales. Se tiene la configuración inicial en la figura A.9



ITEM	DESCRIPCIÓN
1	motor a pasos dirección Y
2	acople flexible
3	rodamiento de bolas izquierdo
4	eje roscado
5	carro móvil
6	guías de movimiento trapecial
7	rodamiento de bolas derecho

Figura A.9 Diagrama del sistema de movimiento en dirección Y Fuente: Elaboración propia

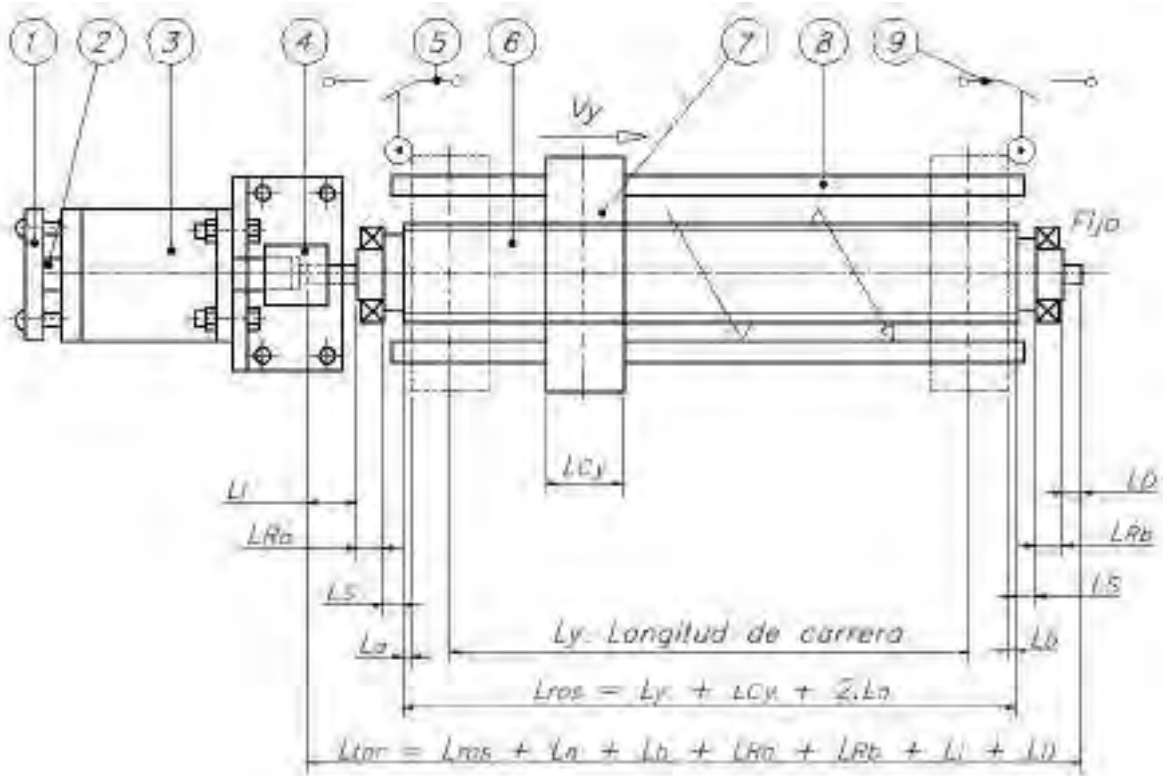
El sistema a calcular consta de un motor a pasos el cual transmite un torque  $T_{My}$  (N.m) a una velocidad  $N_y$  (1/s) al eje roscado mediante un acople flexible. El eje se encuentra apoyado sobre dos rodamientos de bolas  $R_a$  y  $R_b$  y el carro móvil posee una carrera  $L_y$  que por requerimientos generales debe ser de 1200 mm útiles para el corte, este es dirigido por 2 guías trapeciales, considerando además la longitud del carro guía  $l_{cy}$ , y una distancia adicional  $l_a$  por tolerancia de movimientos se obtiene la longitud roscada:  $l_{ros}$  (fig. A.10).

Adicionando a lo anterior una distancia  $l_s$  por seguridad y ergonomía del trabajo, otra por el ancho de los sujetadores de los rodamientos de bolas  $l_{Ay}$  y  $l_{By}$  y por último se

añade  $l_D$  y  $l_I$  debido a las medidas de los salientes en los extremos del eje, esto suma el total de la extensión del eje:  $l_{tor}$ .

$$l_{ros} = l_y + l_{cy} + 2 \cdot l_a \text{ mm} \quad \dots \text{ (a.21)}$$

$$l_{tor} = l_{ros} + 2 \cdot l_s + l_{Ay} + l_{By} + l_D + l_I \text{ mm} \quad \dots \text{ (a.22)}$$



ITEM	DESCRIPCIÓN
1	Tarjeta de control
2	Contador rotario absoluto
3	Motor a pasos de movimiento en dirección "Y"
4	Acople flexible de fuelle
5	Limitador de carrera izquierdo
6	Tornillo de potencia (rosca trapecial)
7	Carro móvil
8	Guías trapeciales
9	Limitador de carrera derecho

Figura A.10 Elementos del sistema de transmisión de potencia. Fuente: Elaboración propia

Por condiciones geométricas y de proporcionalidad de dimensiones se plantean las medidas mostradas en la tabla A.6.1:

Tabla A.6.1 Valores de longitudes del tornillo de potencia del corte

Parámetro	Longitud (mm)	Justificación
$l_y$	1230	Requerimiento general (medida máxima del ancho de chapas normalizadas)
$l_{Cy}$	100	Evitar volcadura en carro guía y disminuir el esfuerzo cortante en la rosca
$l_a, l_b$	10	Distancia máxima de avance por inercia del carro móvil del sistema Y
$l_s$	50	Ensamblaje, seguridad del operario
$l_{Ay}, l_{By}$	10 y 10	Acople con rodamientos, proporcionalidad geométrica y estandarización.
$l_d, l_r$	5 y 10	Mantenimiento y colocación de acople flexible.

Fuente: Elaboración propia

Para los valores descritos en la tabla A.6.1 se obtiene:

$$l_{ros} = 1350 \text{ mm y } l_{tor} = 1485 \text{ mm}$$

Se continúa con el cálculo de los diámetros del eje, sus longitudes y radios de curvatura.

Etapa 1: Determinar la configuración geométrica:

Se dispone la siguiente forma constructiva del eje roscado:

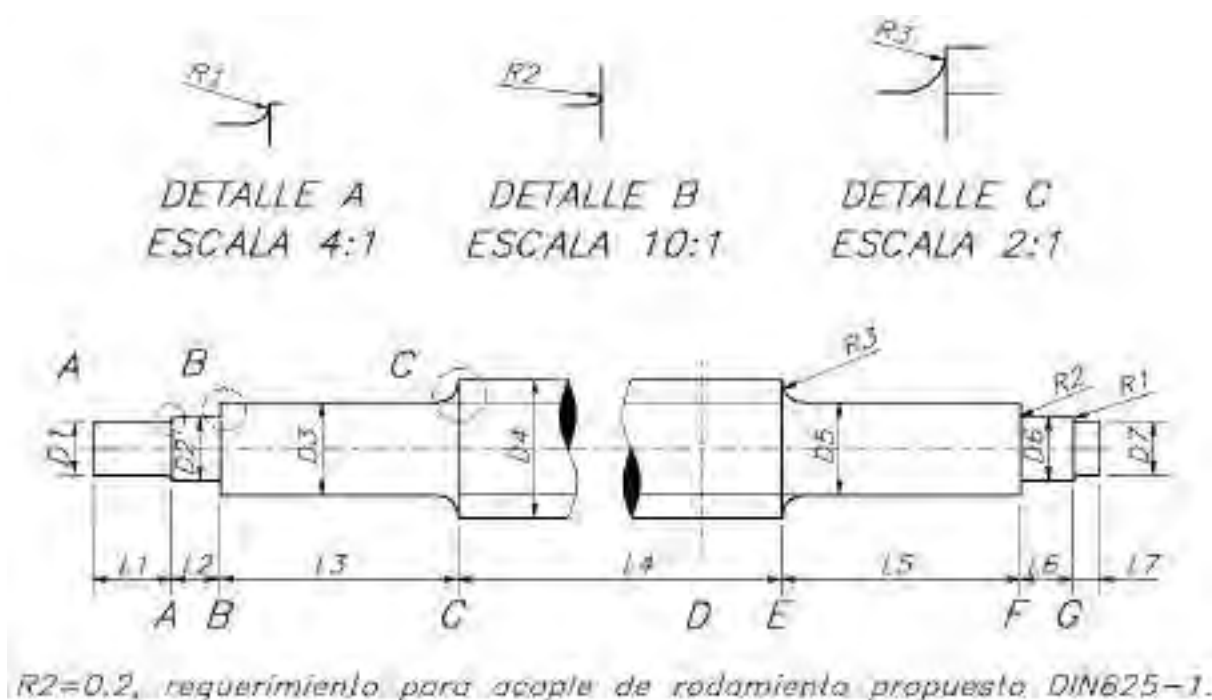


Figura A.11 Diagrama de medidas del eje roscado Fuente: Elaboración propia

Etapa 2: Análisis de cargas estáticas:

Se presenta a continuación en la figura A.12.1 el DCL del eje roscado con las fuerzas actuantes.

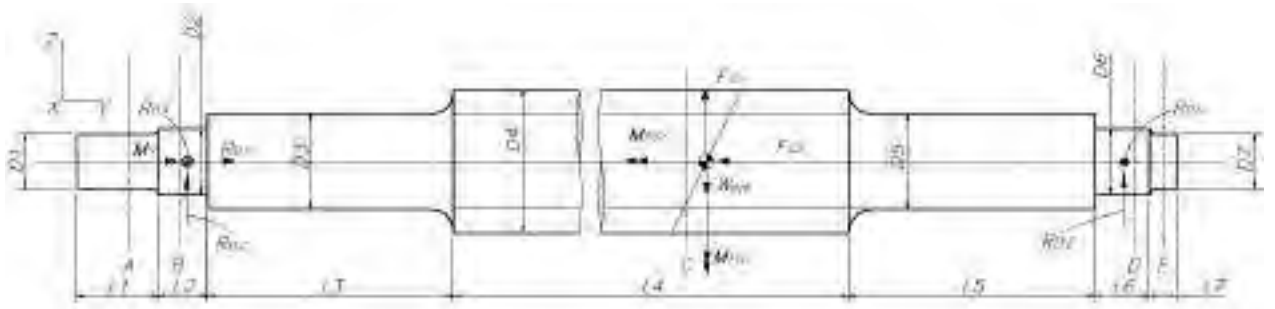


Figura A.12.1 D.C.L. del eje giratorio en el plano Y-Z Fuente: Elaboración propia

Las letras A, B, C, D y E hacen referencia a las secciones del eje donde se calculará los diámetros.

Donde:

$R_{Bx, y, z}$  (N) : Reacción en B en dirección de X, Y y Z

$R_{Dx, z}$  (N) : Reacción en D en dirección de X y Z

$F_{Gt}, F_{Gr}$  (N) : Fuerza tangencial y radial en G, trasladadas desde P, ver figura A.8.1

$M_{FGt}, M_{FGr}$  (N.m): Momentos de  $F_{Gt}$  y  $F_{Gr}$ , causado por el brazo de palanca entre P y G.

$W_{eje}$  (Kg) : Peso del eje roscado

$M_y$  (N.m): Torque del motor, transmitido por un perno que ataca al eje en A.

El rodamiento en B es fijo y en D permite el deslizamiento para evitar momentos de flexión originados por elongaciones del eje producto de la temperatura y para no generar un sistema hiperestático. De la figura A.12.1 se obtiene mediante ecuaciones de equilibrio de fuerzas:

$$Y: R_{By} = F_{Gt} \quad \dots(\mathbf{a.23})$$

$$Z: R_{Bz} + R_{Dz} = W_{eje} - F_{Gr} \quad \dots(\mathbf{a.24})$$

$$X: R_{Bx} = R_{Dx} \quad \dots(\mathbf{a.25})$$

Mediante las ecuaciones de suma de momentos en posición estática respecto del punto

“D” se obtiene que:  $R_{Bz} = (W_{\text{eje}} - F_{Gr}) \cdot b/L$

De donde  $R_{Bz} \text{ máx.} = W_{\text{eje}} - F_{Gr}$  y  $R_{Dz} \text{ máx.} = W_{\text{eje}} - F_{Gr}$

De modo semejante en **a.25**:  $R_{Bx} \text{ máx.}$  y  $R_{Dx} \text{ máx.} = M_{FGt} / L$ , donde  $M_{FGt} = F_{Gt} \cdot (D_4 / 2)$

Mediante suma de momentos en dirección Y positivo en D se tiene finalmente:

$$M_y = M_{FGr}, \quad M_y = F_{Gr} \cdot (D_4 / 2) \quad \dots \text{(a.26)}$$

Se muestran los diagramas de fuerza cortante, momento flector y torsor en la fig. A.12.2

Se verifica que cuando el contacto se encuentra en el centro del eje se genera la mayor flexión.

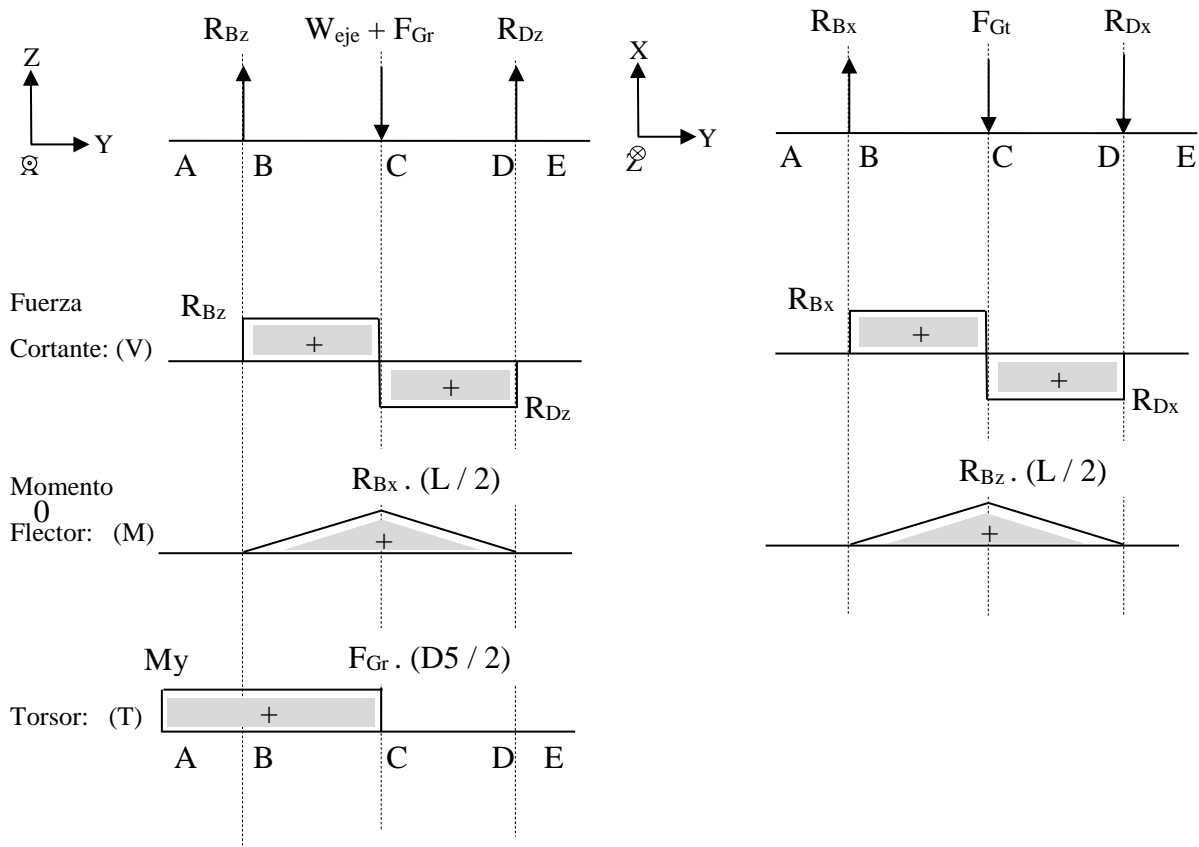


Figura A.12.2 Diagrama VMT del eje roscado Fuente: Elaboración propia

Puesto que se fabricará un eje de cargas medianas y será sometido a deslizamientos, se utiliza el material St 50 de la norma DIN 17 100 (AISI/SAE: A570 Gr.50), el material presenta las características mostradas en la tabla **A.6.2**

Tabla A.6.2 Información del material St 50 según la norma DIN 17 100

Material	$\sigma_B$	$\sigma_F$ $\sigma_F$ $\tau_F$	HB	Tracción- compresión $\sigma_{alt}$	flexión $\sigma_{alt}$	torsión $\tau_{Alt}$	E	G
St 50	500	450	1400	220	250	150	2,1x10 <sup>5</sup>	8x10 <sup>4</sup>
	a	320	a					
	600	180	1700					

Fuente: adaptado de Rodríguez J., 2018, p. A-1

**Etapa 3:** Cálculo de resistencia del material, uso de tablas en libros de referencia

Factor de seguridad  $F.S = 2$  para materiales bien conocidos en ambientes con cargas calculables (Rodríguez J, 2018, pág. 1-30)

Resistencia a la fatiga  $\sigma_F = 320 \text{ N/mm}^2$

Resistencia de fluencia  $\sigma_B = 500 \text{ N/mm}^2$  se escoge, por seguridad, el menor valor posible

Factor de confiabilidad  $C_c = 0.753$  para una confiabilidad de 0.999, tabla A.6.3

Factor de tamaño  $C_t = 0.79$  estimado para un diámetro  $d=25\text{mm}$ , figura A.12.3

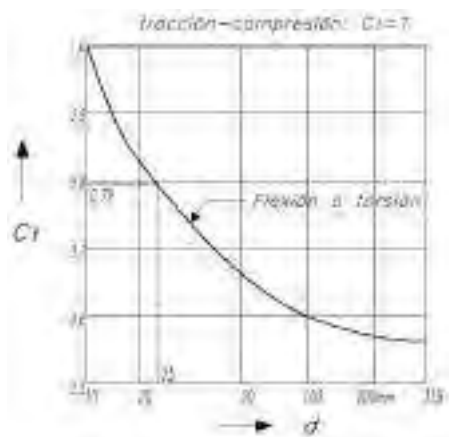


Figura A.12.3 Coeficiente de tamaño  $C_t$

Fuente: Adaptado de Rodríguez J, 2018, p. 3-30.

Tabla A.6.3 Factor de confiabilidad  $C_c$

Confiabilidad R	$C_c$
0.50	1.000
0.90	0.897
0.95	0.868
0.99	0.814
0.999	0.753

Fuente: Shigley & Mitchell (citado en Rodríguez J, 2018)

Para hallar el F.S. se considera los factores de diseño  $C_c$  y  $C_t$  además de las correcciones por concentración de esfuerzos para determinar el esfuerzo de fluencia máximo permitido

$\sigma_B'$ :

$$\sigma_B' = \sigma_F \cdot C_c \cdot C_t \text{ Escribe aquí la ecuación.} \quad \dots \text{ (a.27)}$$

Se calcula entre los puntos desde A hacia D los diámetros según el esfuerzo principal que soportan utilizando la ecuación **a.28** adaptada de Mott R. et al, 2006.

$$D = \left[ 32 \frac{F.S.}{\pi} \cdot \sqrt{\left( \frac{K_t \cdot M}{\sigma'_F} + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{\sigma_B} \right)^2 \right)} \right]^{\frac{1}{3}} \text{ N/mm}^2 \quad \dots \text{ (a.28)}$$

Donde:

$F.S.$  : Factor de seguridad                       $K_t$  : Coeficiente de corrección por forma  
 $T$  : Momento torsor resultante               $\sigma'_F$  : Resistencia a la fatiga admisible  
 $M$  : Momento flector resultante               $\sigma_B$  : Resistencia a la fluencia

Esta fórmula es compatible con la norma ANSI B106.IM-1985.

Se calcula las medidas de los diámetros desde D1 hasta D7 considerando resistencia a la fatiga, a la fluencia y concentración de esfuerzos.

Reemplazando en **a.27**  $\sigma'_F = (320) \cdot (0.75) \cdot (0.79)$ ,  $\sigma'_F = 190.6$

A:  $M = M_y$ , utilizando las ecuaciones **a.29** se calcula D1,  $M = 0$  en la sección A

$$D1 = \left[ 32 \frac{F.S.}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \left( \frac{T}{\sigma_B} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad D1 = \left[ 32 \frac{(2.0)}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \left( \frac{(2000 \text{ N.mm})}{500 \text{ N.mm}} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Se obtiene  $D1 = 4,13 \text{ mm}$ ; mas, por consideraciones del acople flexible comercial seleccionado se determina  $D1 = 10 \text{ mm}$ .

B: Al lado izquierdo para hallar D2 se consideran las mismas condiciones que en A:  $T = M_y$ , excepto el factor de concentración de esfuerzos  $K_t$  para ejes sometidos a torsión que considerando  $r = 0.2$ ,  $d = 4.13 > D1$  y una proporción  $D/d = 1.25$  porque D2 debe ser mayor a D1, se obtiene con la fig. **A.11b** el valor de 1.56.

De allí:  $D2 = D1 \cdot K_t$  ... (a.29)

$$D2 = (4.13\text{mm}) \cdot (1.56) \quad D2 = 6.45 \text{ mm}$$

Se propone  $D2 = 12\text{mm}$  por ser el menor diámetro interior mayor a 10 mm de los rodamientos DIN 625 – 1. Al lado derecho para hallar D3 se considera despreciable el esfuerzo causado por la fuerza cortante frente a la del momento flector y para el cálculo solo se añade el factor  $K_t$  donde  $r = 0.2$  por consideraciones de la curvatura de la pista externa del rodamiento,  $d = 12$  y la línea de  $D/d = 1.11$  como la única que se ajusta a estas dimensiones, D3 debe ser como mínimo 14mm para permitir la correcta sujeción del soporte de rodadura (ver hoja de datos FAG), se obtiene  $K_t = 1.83$

Como  $D3 = D2 \cdot K_t$

$$D3 = (6.45) \cdot (1.83), \quad D3 = 11.80 \text{ mm} < D3_{\min}$$

se propone una altura de sujeción de 2mm, por lo tanto  $D3 = 16\text{mm}$

C: Se tiene  $M_z = R_{Bz} \cdot \frac{L}{2}$  y  $M_x = R_{Bx} \cdot \frac{L}{2}$ , se obtiene la sección crítica en el punto medio del eje.

De allí se obtiene la resultante  $M = \sqrt{(M_x^2 + M_z^2)}$  ... (a.30)

Como  $T = My$  y  $L = 1380\text{mm}$ , se espera que  $R_{Bx}$  sea menor a 10 N. y  $R_{Bz}$  menor a 350N

Luego, con la ecuación a.30 se obtiene  $M = 241598,55 \text{ N.mm}$

El factor  $K_t$  por flexión al considerar por geometría  $r = 2$ ,  $d = 16$  y  $d/D = 1.5$

es de 1.65

Mediante la ecuación **a.29** considerando el momento flector y el torsor se tiene:

$$D4 = \left[ 32 \frac{(2)}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{(1.65) \cdot (241598,55 \text{ N.mm})}{(189.6 \text{ N/mm}^2)} + \frac{3}{4} \left( \frac{2000 \text{ N.mm}}{500 \text{ N/mm}^2} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D4 = 9.78 \text{ mm}$$

El valor de D4 debe ser mayor al de D3, además es necesario que la rosca trapecial tenga una salida libre para el pase o acople del carro móvil por lo que:

$$D4 > \text{diámetro del núcleo del eje roscado: } d1 \quad \text{y} \quad d1 > D3 = 16\text{mm.}$$

Observamos en la norma DIN 379 y el menor valor válido para d1 es de 17.5 el tipo Tr 26x8, de forma particular pueden ser fabricadas a esta medida incluyendo los rebajes y longitudes.

Si se sigue la norma DIN 103 el menor valor válido de d1 es de 16.5; no obstante, se previene de posibles deflexiones en la barra y que se distribuyan ya fabricadas por lo que se selecciona como otra posibilidad el modelo Tr 24 x 5 el cual posee un paso más fino y requiere de ajustar los cálculos.

Finalmente D4 = 26mm

D: Al lado izquierdo se calcula D5 el cual recibe cargas semejantes a las de la sección B, por geometrías se le da el mismo valor que D3, D5 = 16mm

Hacia el lado derecho se tiene solo fuerza cortante, se analiza el esfuerzo cortante y se obtiene:

$$K_t = 2.5 \quad \text{para } r = 0.2, D = 10.64 \text{ y } D/d = 1.2 \text{ (ver figura A.12.3)}$$

Se utiliza la fórmula **a.31** para hallar la fuerza cortante resultante:

$$F_{\text{cortante}} = \sqrt{(R_{Dz}^2 + R_{Dx}^2)} \quad \dots \text{(a.31)}$$

Donde  $R_{Dz \text{ máx.}} = (W + F_{Gr})/2$  y  $R_{Dx \text{ máx.}} = F_{Gr}$ , los valores son 350N y 10N en ese orden.

$$F_{\text{cortante}} = 350.14 \text{ N}$$

Luego mediante la ecuación **a.32** (Mott. R., 2006) se encuentra D6

$$D6 = \frac{\sqrt{(2.94).(Kt).(F_{\text{cortante}}).(F.S.)}}{(\sigma'_F)} \quad \dots \text{(a.32)}$$

Reemplazando:  $D6 = \sqrt{\frac{(2.94).(2.5).(350.14 \text{ N}).(2)}{(189.60 \text{ N/mm}^2)}}$ , se obtiene  $D6 = 5.21 \text{ mm}$

Por estandarización se considera  $D6 = 12\text{mm}$  semejante al rodamiento en la sección B.

E: Para hallar D7 se los considera con carga cero y considerando simetría se tiene

$D7 = D1$ ,  $D7 = 10\text{mm}$

De lo anterior se obtiene la siguiente tabla **A.6.4** de diámetros mínimos, propuestos y seleccionados.

Tabla **A.6.4** Resumen de dimensiones del eje roscado

N°	Descripción de función	Diámetro mínimo (según cálculos)	Diámetro propuesto [1]	Diámetro seleccionado [2]
<b>D1</b>	Sujeción al motor con acople flexible	4.13	5	10
<b>D2</b>	Acople a presión con rodamiento izquierdo	6.45	12	12
<b>D3</b>	Sujeción del rodamiento	10.64	14	16
<b>D4</b>	Transmisión de torque a carro móvil mediante una rosca trapecial	9.78	22	26
<b>D5</b>	Sujeción del rodamiento	10.64	14	16

Tabla B.6.c Continuación

Nº	Descripción de función	Diámetro mínimo mm (según cálculos)	Diámetro propuesto mm [1]	Diámetro seleccionado mm [2]
D6	Acople deslizante con rodamiento derecho	5.21	12	12
D7	Saliente soporte para mecanizado	4.13	5	10
[1] Se consideran el escalonamiento del eje y dimensiones para el ensamble				
[2] Se consideran medidas normadas, comerciales y disponibles.				

Fuente: elaboración propia

Se muestran las dimensiones del eje en la figura A.12.4 con roscado Tr 26 x 8

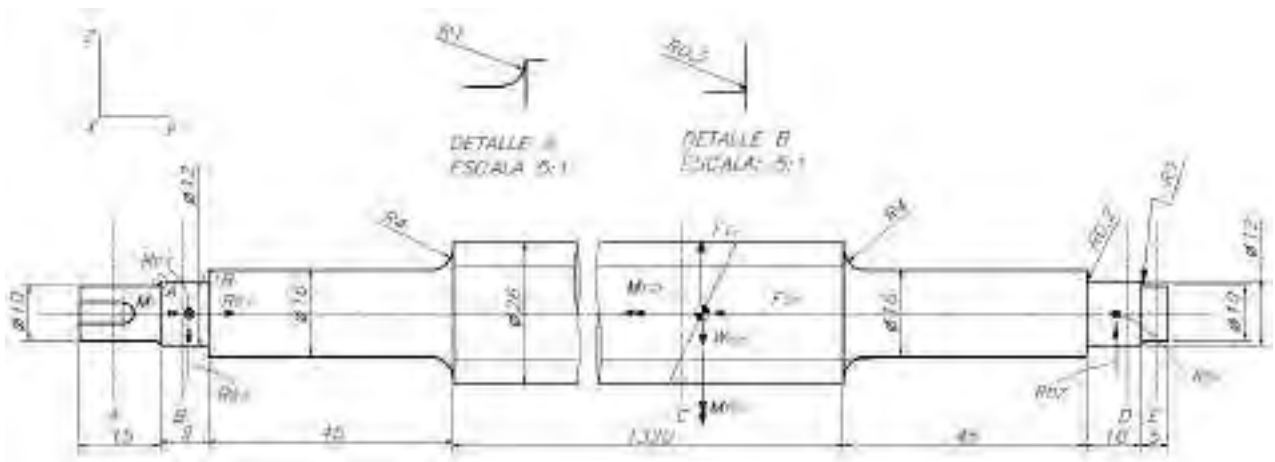


Figura A.12.4 Medidas finales del eje giratorio en el plano Y-Z Fuente: Elaboración propia

### Cálculo de F.S a la fatiga y fluencia

Sobre las medidas ya encontradas se revisa su factor de seguridad con respecto de roturas por fatiga y se realiza el cálculo del F.S. a la fluencia se consideran 7 secciones más las dos últimas no poseen cargas a considerar para este cálculo se observa el D.C.L del eje roscado Y en la figura B.12b

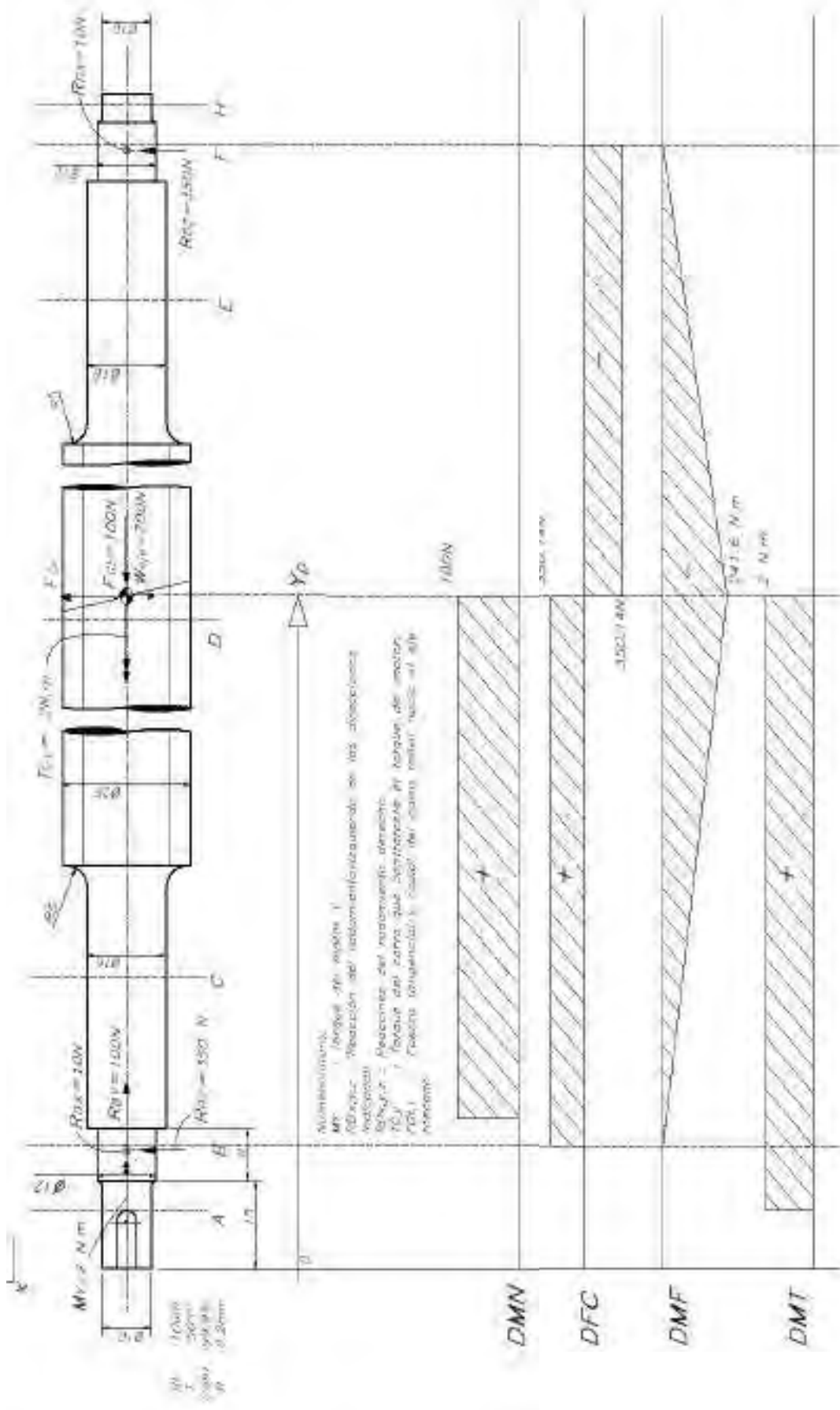


Figura A.12.5 Fuerzas y momentos en el eje roscado Fuente: Elaboración propia

Se presentan las fórmulas y nomenclatura:

$\tau_{ta}, \tau_{tm}, \tau_{ts}$  : Esfuerzo cortante alternante, medio y superior

$\sigma_{fa}, \sigma_{fm}, \sigma_{fs}$  : Esfuerzo de flexión alternante, medio y superior

$\sigma_{a eq}, \sigma_{s eq}$  : Esfuerzo equivalente alternante, medio y superior

$C_s, C_t, C_{temp}$  : Coeficiente por superficie, tamaño y temperatura

$C_{carga}, C_c$  : Coeficiente por carga y confiabilidad

$c_{1,2}, \beta_k$  : Factor de corrección 1 y 2, factor efectivo de concentración de esfuerzos

Ecuaciones:

$$\sigma'_{fa} = \left( \frac{\beta_k}{C_s \cdot C_t \cdot C_{temp} \cdot C_{carga} \cdot C_c} \right) \cdot \sigma_{fa} \quad \dots \text{(a.33)}$$

$$\frac{1}{FS_{fatiga}} = \frac{\sigma'_{a eq}}{\sigma_{Alt}} + \frac{\sigma_{m eq}}{\sigma_B} \quad \dots \text{(a.34)}$$

$$FS_{fluencia} = \frac{\sigma_F}{\sigma_{s eq}} \quad \dots \text{(a.35)}$$

$$\sigma'_{a eq} = \sqrt{\sigma'_{fa}{}^2 + 3 \cdot \tau'_{ta}{}^2} \quad \dots \text{(a.36)}$$

$$\sigma'_{s eq} = \sqrt{\sigma'_{fs}{}^2 + 3 \cdot \tau'_{ts}{}^2} \quad \dots \text{(a.37)}$$

$$\text{Datos: } \sigma_{Alt} = 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \sigma_B = 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \text{ y } \sigma_F = 320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Sección: A

Se calculan los factores de seguridad a fluencia y fatiga.

$M_t = 2 \text{ N.m}$ , pulsante:

Tabla A.7.1 Factores de cálculo para A

$$\tau_{ta} = \tau_{ts} = \frac{16.M_t}{\pi.d^3} = \frac{16.(2000 \frac{N}{mm^2})}{\pi.(10mm)^3} = 10.19 \text{ N/mm}^2, \tau_{tm} = 0$$

Cs	0.94
Ct	1
Ctemp	1
Ccarga	1
Ck	0.868
Bk	1.16

Para torsión con la ecuación a.33, se le añade una corrección

por forma por el canal tipo N2 que presenta:  $\beta_k = 1.4$  (ver tabla. A.7.1)

$$\tau'_{ta} = \left( \frac{(1.35).(1.4)}{(0.94).(1).(1).(1).(0.753)} \right) \cdot \tau_{ta} \text{ (ver tabla A.7.1),} \quad \tau'_{ta} = (2,67) \cdot (10.19 \text{ N/mm}^2)$$

$$\tau'_{ta} = 27.2 \frac{N}{mm^2}, \text{ luego: } \sigma'_{aeq} = \sqrt{3 \cdot \tau_{ts}^2} = 47.13 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{De ecuación a.34 } \frac{1}{FS} = \frac{47.13}{250} + \frac{0}{500} \quad \boxed{FS \text{ fatiga} = 5.30}$$

$$\text{De ecuación a.35 donde } \sigma'_{se} = 47.13 \text{ N/mm}^2, FS = \frac{320 \text{ N/mm}^2}{47.13 \text{ N/mm}^2} \quad \boxed{FS \text{ fluencia} = 6.79}$$

### Sección B:

Tabla A.7.2 Factores de cálculo para B

$F_n = 100 \text{ N}$ , alternante

$$\sigma_n = \frac{F_n}{\frac{\pi.d^2}{4}} = 0.88 \text{ N/mm}^2,$$

Cs	0.94
Ct	0.98
Ctemp	1.01
Ccarga	0.85;1
Ck	0.868
Bk	1.125;1

$$\tau_{ts} = \tau_{ta} = \frac{16.M_t}{\pi.d^3} = 5.89 \text{ N/mm}^2$$

Con las ecuaciones a.33 y 36,  $\tau'_{ts} = ((1.25)/(0,94) \cdot (0,98) \cdot (1,01) \cdot (1) \cdot (0,768)) \cdot \tau_{ts}$

$$\tau'_{ts} = (1.75) \cdot (5.89 \text{ N/mm}^2) = 10.31 \text{ N/mm}^2, \sigma'_{ns} = \left( \frac{1.6}{(0.94).(0.98).(1.01).(0.85).(0.75)} \right) \cdot (0.88)$$

$$\sigma'_{ns} = (2.7) \cdot (0.88) = 2.38 \text{ N/mm}^2$$

De **a.36**  $\sigma_{m eq} = 0$ ,  $\sigma'_{a eq} = 18.01 \text{ N/mm}^2$

De **a.37**  $\sigma'_{s eq} = 0$ ,  $\sigma'_{s eq} = 18.01 \text{ N/mm}^2$

De **a.34 y a.35**  $\frac{1}{FS_{fatiga}} = \frac{18.01}{250} + \frac{0}{500}$ , FS fatiga = 13.88

$$FS_{fluencia} = \frac{320 \text{ N/mm}^2}{18.01 \text{ N/mm}^2} \quad \text{FS fluencia} = 17.77$$

Tabla A.7.3 Factores de cálculo para C

**Sección C:**

Mf : 1858.5 N.m, alternante

Mt : 2000.0 N.mm, constante

$$\sigma_{fm} = 0, \tau_{tm} = 0 \text{ N.mm}^2$$

Cs	0.94
Ct	0.85
Ctemp	1.01
Ccarga	1;1
Ck	0.868
$\beta$	1.75: 2.125
c1	0.8; 1
$\beta_k$	1.9; 1.75

$$\sigma_{fs} = \frac{32 \cdot (1858.5)}{\pi \cdot (16)^3} = 4.62 \text{ N.mm}^2, \quad \tau_{ts} = \frac{16 \cdot (2000)}{\pi \cdot (16)^3} = 2.49 \text{ N.mm}^2$$

Entonces  $\tau_{tm} = 2.49$  y  $\sigma_{fm} = 0 \text{ N.mm}^2$  de aquí con **a. 36**  $\sigma_{eq m} = 4.31 \text{ N.mm}^2$

Y  $\tau_{t alt} = 0$  y  $\sigma_{f alt} = 4.62 \text{ N.mm}^2$

Luego De **a. 33**  $(2.2/0.62) \cdot (4.62) = 16.39$ , y  $(1.6/0.62)(0) = 0 \text{ N.mm}^2$

Con **a.37 y a.38**  $\sigma'_{eq alt} = 16.39 \text{ N.mm}^2$

Se calcula luego los FS con **a.33 y a.32**

FS fatiga :  $250/16.39$  FS fatiga = 15.25    FS fluencia:  $320/4.31$  FS fluencia = 74.25

**Sección D:**

Tabla A.7.4 Factores de cálculo para D

Mf: 241600 N.mm, alternante

Mt: 2000.0 N.mm, constante

$$\sigma_{fm} = 0, \tau_{tm} = 0$$

$$\sigma_{fs} = \frac{32.(241600)}{\pi.(26)^3} = 140.01 \text{ N. mm}^2,$$

$$\tau_{ts} = \frac{16.(2000)}{\pi.(26)^3} = 0.58 \text{ N. mm}^2, \text{ de aqui}$$

Cs	0.92
Ct	0.85
Ctemp	1.01
Ccarga	1;1
Cc	0.868
$\beta k$ flexión	1
c1	0
$\beta k$ torsión	1
c2	0

Con la ecuación a.33 se obtiene:  $\tau_{tm} = 0.58$  y  $\sigma_{fm} = 0 \text{ N.mm}^2$

También:  $\tau_{talt} = 0$  y  $\sigma_{falt} = 140.01 \text{ N.mm}^2$  y

$$\sigma'_{falt} = \left( \frac{1}{(0.92)(0.85)(1.01)(1)(0.75)} \right) \cdot (140.01) = 236.37, \tau'_{talt} = 0 \text{ N/mm}^2$$

Luego  $\sigma_{eqm} = 1.01$  y  $\sigma_{eqalt} = 236.37 \text{ N.mm}^2$  ahora hallamos los FS

De a.34  $250 / 236.37$ , FS fatiga = 1.06 y de b.35  $320 / 1.01$ , FS fluencia = 316.83

**Sección E:**

Tabla A.7.5 Factores de cálculo para E

Mf: 1858.5 N.mm, alternante

$$\sigma_{fs} = \frac{32.(1858.5)}{\pi.(16)^3} = 4.62 \text{ N. mm}^2,$$

Con la ecuación a.33 se obtiene: y  $\sigma_{fm} = 0 \text{ N.mm}^2$

Cs	0.92
Ct	0.85
Ctemp	1.01
Ccarga	1;1
Cc	0.868
$\beta k$ flexión	1.9375
c1	0.75
$\beta k$ (2,0)	2.25

También:  $\sigma_{f alt} = 4.62 \text{ N.mm}^2$  y

$$\sigma'_{f alt} = \left( \frac{1.94}{(0.92)(0.85)(1.01)(1)(0.75)} \right) \cdot (4.62) = 15.13 \text{ N.mm}^2$$

Luego  $\sigma_{eq s} = 4.62$  y  $\sigma_{eq alt} = 15.13 \text{ N.mm}^2$  ahora hallamos los FS

**Sección F:** Aquí actúa una fuerza cortante resultante de 350.14N la cual se considera pulsante puesto que el eje gira y cambia el lugar de aplicación de la fuerza.

$$\text{Luego } \tau_{ts} = \tau_{t alt} = \frac{350.14}{\left(\frac{\pi}{4} D_6^2\right)} = 3.10 \text{ N.mm}^2 \text{ y } \sigma_{s eq} = 5.36 \text{ N.mm}^2, \text{ F.S. fluencia} = \frac{320}{\sigma_{s eq}}$$

$$\text{Asimismo } \tau'_t = (3.10) \cdot \left( \frac{1}{(0.92)(0.85)(1.01)(1)(0.75)} \right) = 5.24, \sigma_{alt eq} = 9.07 \text{ N.mm}^2,$$

$$\text{FS fatiga} = \frac{250}{9.07}, \text{ finalmente } \boxed{\text{F.S. fluencia} = 59.70} \text{ y } \boxed{\text{FS fatiga} = 27.56}$$

**Sección H:** En este lugar no actúan fuerzas más permite balancear el peso del eje y disminuir las vibraciones y deflexiones durante el giro del eje.

$$\text{De a.34 } \text{FS fatiga} = 250 / 15.13, \boxed{\text{FS fatiga} = 16.52} \text{ y}$$

$$\text{de a.35 } \text{FS fluencia} = 320 / 4.62, \boxed{\text{FS fluencia} = 69.26}$$

**Cálculo de la flexión y el momento en los extremos del sistema de movimiento Y**

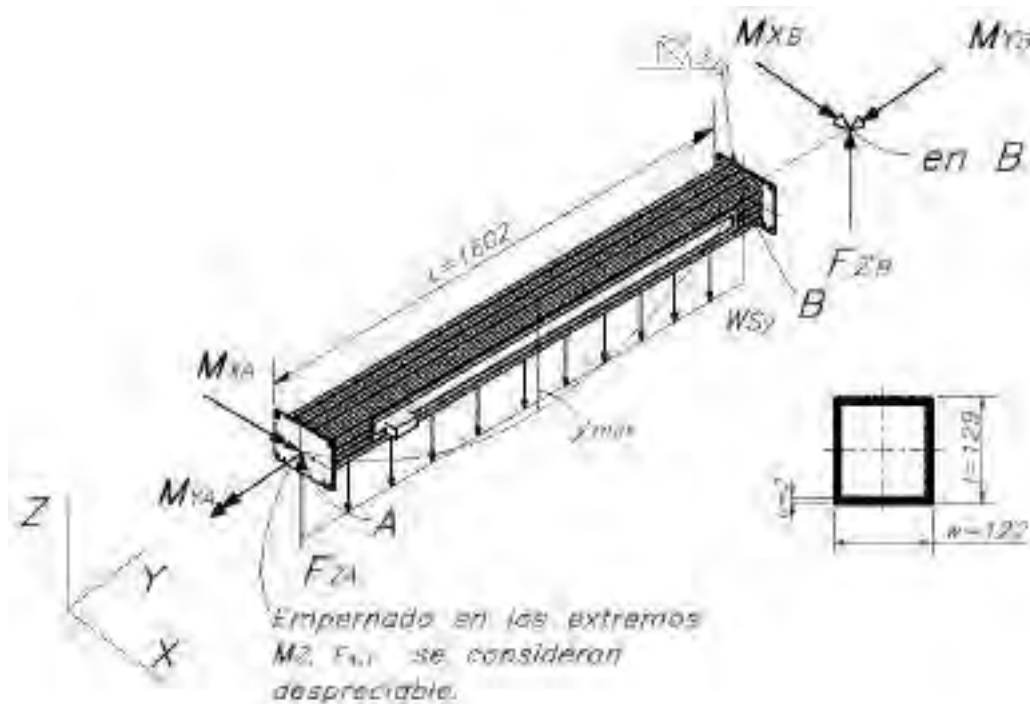


Figura A.13 D.C.L de sistema de movimiento Y Fuente: Elaboración propia

Se calculan los momentos en dirección X, se considera el peso distribuido en todo L

Se tiene para este tipo de sujeción las ecuaciones adaptadas de Mott R., 2006, p. A-24.

$$M_{XA,B} = \frac{-w.L}{12} \text{ N.mm} \quad (\text{a.38})$$

$$y_{max} = \frac{-w.L^3}{384.E.I} \text{ mm} \quad (\text{a.39})$$

$$M_{centro} = \frac{-w.L}{24} \text{ N.mm} \quad (\text{a.40})$$

Reemplazando:  $W = FS \cdot W_{sy}$ , se considera el factor FS como seguridad ante masas adicionales.

$$M_{XA,B} = \frac{-((2).(32.33Kg \cdot 9.81g/m^2)).(1602mm)}{12} = 84.68 \text{ N.m}$$

$$M_{centro} = \frac{(634.31N).(1602mm)}{24} = 42.68 \text{ N.m}$$

$$y_{max} = \frac{-w \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$= \frac{-(634.31N) \cdot (1602mm)^3}{384 \cdot (2,1 \cdot 10^5 N/mm^2) \cdot \left[ \left( \frac{1}{12} \right) \cdot ((122mm) \cdot (129mm)^3 - (118mm) \cdot (125mm)^3) \right]}$$

$$y_{max} = 1,23 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Esta deflexión es menor a 0.1mm por lo que se considera la estructura de soporte del sistema Y rígida y útil para movimientos que requieren precisiones de 0.05mm.

#### ***Acople flexible:***

Permite absorber los desalineamientos angulares, axiales y radiales esto disminuye las deformaciones en el eje de transmisión. Se requiere garantizar el sincronismo en los pasos por lo que se cuida el desfase angular, además se utilizará como elemento de seguridad ante un esfuerzo torsional elevado, fraccionándose y resguardando los demás elementos, por esto se escoge el acoplamiento flexible de fuelle.

Se selecciona del fabricante RULAND® el acople helicoidal de la familia FSMR fabricado en acero inoxidable (ver figura **A.14**) por poseer la mayor rigidez a la torsión  $R_t$  entre 0.4 y 0.8° / N.m. Con entrada de 8mm y salida de 10mm de diámetro.



Figura **A.14** Acople flexible de fuelle Fuente: Ruland®

#### A.1.4. Diseño de elementos de máquinas

##### *1. Medidas y características del tornillo de potencia:*

Se conoce que se utilizará un eje roscado, ahora se definirá el tipo de rosca para este trabajo:

##### **Requerimientos y deseos:**

- Alta resistencia al desgaste por rozamiento
- Menor resistencia por fricción
- Mayor eficiencia en la transmisión de la potencia
- Características técnicas:

Paso	(p)	:	10	mm
Diámetro exterior	(D <sub>ext</sub> )	:	26	mm
Longitud roscada:	(l <sub>ros</sub> )	:	1320	mm
Longitud total:	(l <sub>tot</sub> )	:	1485	mm

Se conoce las roscas para tornillos de potencia tipo trapezoidales, cuadradas, Acme, redondas, Whitworths y triangulares y se puede aumentar la eficiencia de estas, adicionando billas entre los hilos del eje y el carro móvil, entre los ejes roscados comerciales tenemos los tornillos de bolas con rosca circular y trapeciales.

Debido a los requisitos el tornillo de bolas sería el más adecuado puesto que posee menor coeficiente de fricción debido a su contacto por rodadura con la tuerca o carro móvil, permiten mayor resolución de control en el posicionamiento y transmiten mayor torque debido a su mayor eficiencia mecánica. La desventaja se encuentra en que no es posible fabricarla en el entorno sino que se debe seleccionar y comprar según las medidas del fabricante, por otro lado un modelo de mediana calidad de  $\phi 25 \times 10$  tiene un costo aproximado de S/.1,000.00 por metro. Lo cual implicaría un total de S/. 4,208.00 en los dos tornillos de 1485mm de longitud para el caso de un fabricante, lo que supera al presupuesto permitido y genera dependencia del exterior.

Se selecciona la rosca trapecial puesto que es la más eficiente: 30% o más y la norma DIN 379 (ver fig.A.15) para sus dimensiones de fabricación. Se tiene la denominación: Tr 26 x 8, del otro lado si no es factible fabricarlo se puede comprar medidas comerciales como Tr24x5 o tornillo de bolas KG25x5 aunque se tienen que ajustar los cálculos por el cambio de paso.

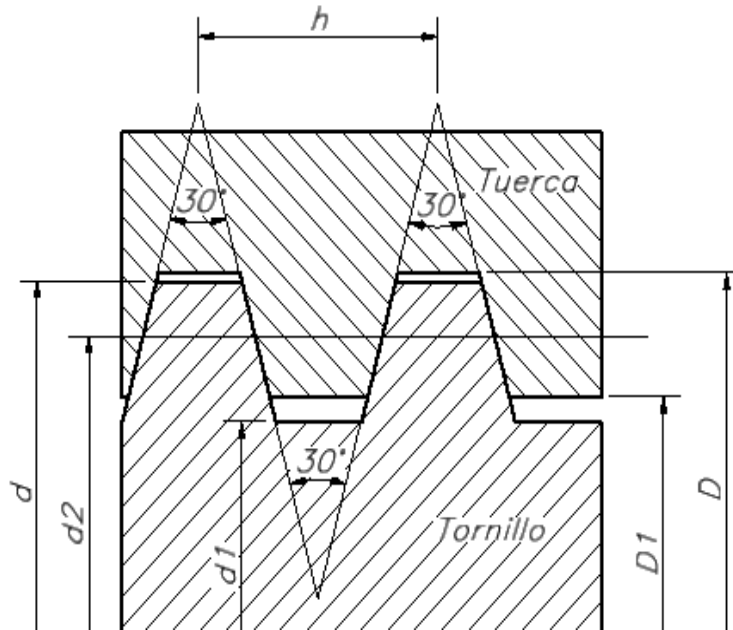


Figura B.15 Medidas de rosca Tr 26x8  
Fuente: Adaptado de norma DIN 379

Tabla A.8 Medidas según norma DIN 379 para rosca trapecial a fabricar

Tornillo			Diámetro en los flancos	Paso	Tuerca		tg $\phi$ para rosca de una entrada
Diámetro de la rosca	Diámetro del núcleo	Sección en el núcleo			Diámetro de la rosca	Diámetro del núcleo	
d	d <sub>1</sub>	cm <sup>2</sup>	d <sub>2</sub>	h	D	D <sub>1</sub>	
26	17.5	2.41	22	8	26.5	19	0.116

Fuente: Adaptado de norma DIN 379

## 2. Rodamientos del eje roscado:

Se prefiere rodamientos a cojinetes, chumaceras o bujes puesto que permiten mayor precisión y menor vibración en el giro del eje.

**Problema:** Se requiere seleccionar los rodamientos que se ensamblarán en los extremos del eje roscado Y, obtener sus códigos y medidas:

**Información de entrada:** Se conoce sobre el rodamiento a seleccionar

- A es fijo y B es libre en dirección Y
- Soporta fuerzas menores a 100Kg en las 3 direcciones:  $R_{Ax}$ ,  $R_{Ay}$  y  $R_{Az}$ .
- Debe ser con obturación fija por ambos lados, sin lubricación.
- Se prefiere de bolas rígidas por su menor costo y mayor sencillez.
- Preferir el de menor diámetro exterior, ancho (b) máximo de 10 mm
- Diámetro interior ( $D_i$ ): 12mm (Valor inicial estimado)
- Carga radial esperada: Masa del eje y cabezal de corte: 19.72 Kg

De la norma DIN 625-1 para rodamientos rígidos de bolas se selecciona:

- Rodamiento rígido de bolas de ranura profunda de una hilera, puesto que resiste las fuerzas axiales y radiales cuando son mínimas.
- Se escoge el fabricante FAG® por ser especializado en rodamientos.
- De los obturamientos de laberinto, de paso estrecho y de labios se escoge el segundo por cerrar completamente el ingreso de partículas al interior y ser metálico.
- Se prefiere la construcción tradicional que la interna modificada por conocer su funcionamiento de forma previa.
- Se selecciona el modelo 6001-2Z con capacidad de carga estática radial de 2370N y velocidad límite de 32500 1/min, muy superiores a las esperadas.
- El modelo no requiere de lubricación durante su servicio.

Se recomienda realizar cálculos de vida útil de servicio siguiendo los datos del fabricante

### ***Cálculo del tiempo de servicio del rodamiento:***

Se observa en la figura **A.16.1** el rodamiento a seleccionar y su ubicación en el eje roscado

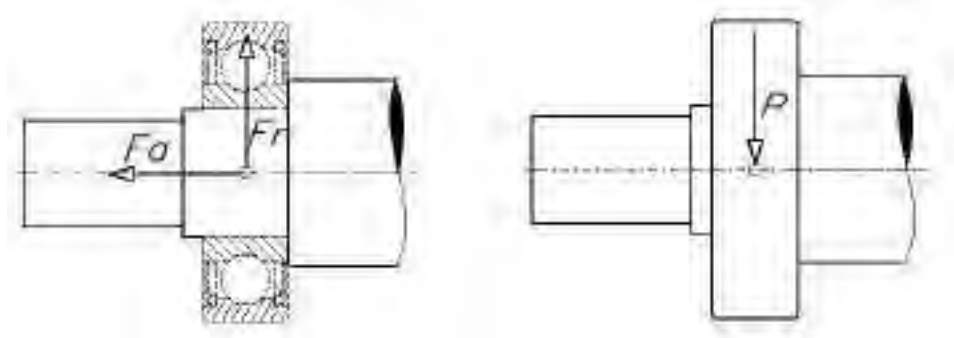


Figura **B.16.1** Fuerza equivalente en el rodamiento Fuente: Adaptado de FAG®

### **Datos de entrada:**

$F_r$  : 125N

$F_a$  : 100N

Metal de las pistas : AISI 51100

Uso : 5760 h/año, se aproxima a 10000 horas para  $L_{10h}$

Velocidad : 0.10m/s => 1200 rpm

Material: acero inoxidable AISI 440C

Seleccionamos un modelo de la serie 6001-27

Dureza: 60HRC

Temperatura : 50°C

$Y$  :  $29 \cdot 10^6$  psi / 207GPa

Probabilidad de falla : 0.04

$T_{\text{máx}}$  : 180°C

Dureza: 60HRC

Sin lubricación

Carga equivalente estática  $P_o = F_r$

De  $F_1$  y  $F_h$  de la figura **14-12** (Mott R., 2006, p. 612) para  $L_{10h}$  y rodamientos de bolas

$F_1 = 2.7$ ,  $L_h = 10000$  horas

$F_n = 0.31$ ,  $n = 1000$ rpm

$W_{10} = 45000$  rpm entonces  $F_1 / F_n = 8.710$

La carga radial equivalente es  $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$

Asumiendo solo  $F_r$  se tiene

$$P_1 = Fr_1 \text{ entonces } C_1 = P_1 \cdot (F_1 / F_n) = 1,088.75 \text{ N}$$

El rodamiento 6001 tiene (FAG: 2019: p.1):

$$C_r = 5400 \text{ N y } C_{0r} = 2370 \text{ N}$$

Es adecuado para el trabajo,

ahora se verifica con  $F_a = 100 \text{ N}$

$$\text{Ahora } (F_a / C_o) = 0.0422$$

De la tabla **14-5** (Mott R., 2006, p. 614)

Se tiene  $X = 0.56$ ,  $e = 0.24$  e  $Y = 1.85$

$$F_a / F_r = 100/25 = 0.8$$

Se obtiene que  $F_a / F_r > e = 0.24$

Ahora con  $P = X \cdot Fr + Y \cdot Fa$ , luego  $P = 255 \text{ N}$

Luego  $C_1 = 255 \times 8.710 = 2,221.05 \text{ N}$ , aún es

admisibles para el rodamiento 6001

Se tiene las medidas:  $B=8$ ,  $D=28$ ,  $d=12$ , carga ligera

*Ajuste de vida útil*

Se tiene  $C = 5400 \text{ N}$

$$P = 255 \text{ N}$$

$$F_n = 0.51$$

Utilizando  $f_1' = C_1 \times (F_n / P)$  entonces  $F_1' = 6.56$

$$\text{Para } F_1' = 6.56 \text{ luego } \boxed{Ln^7 = 100,000 \text{ h}}$$

esto indica que durará más de 10 años

***Duración de servicio del rodamiento ( $L_{na}$ )***

Según el método DIN ISO 281

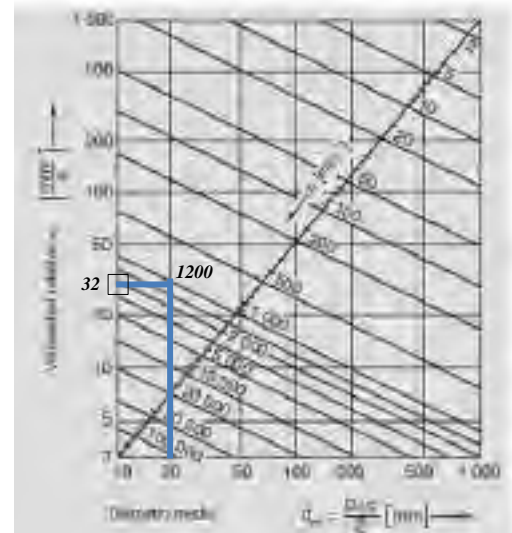


Figura A.16.2 Diagrama: Diámetro medio vs. Viscosidad relativa

Fuente: (PUCP: 2018: p.42)

Fuente: (PUCP: 2018: p.42)

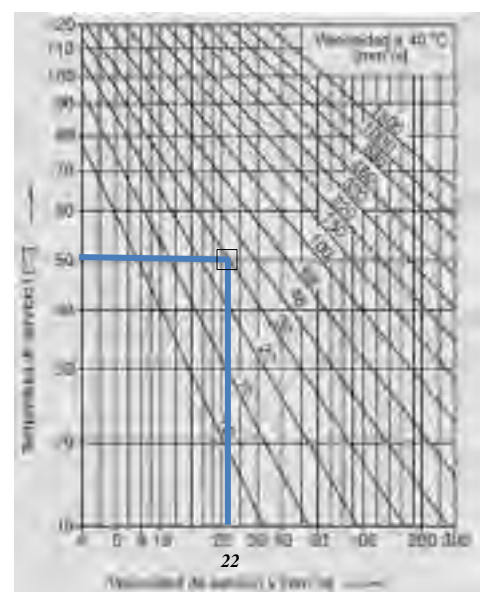


Figura B.16.3 Diagrama  $v$  [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ] vs.  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Fuente: (PUCP, 2018, p.42)

$$L_{na} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_{n1} \text{ [h]}$$

factor de probabilidad de fallo :  $a_1$

factor para el material y condiciones de servicio :  $a_{23}$

vida nominal :  $L_{n1}$  [h]

De la tabla **14-6** (Mott R., 2006, p. 616)

para una confiabilidad de 90%,

se tiene  $Cr(a_1)$ : 0.53

Como  $a_1 = 0.53$ ,

$K_1 = 0$  (Para rodamientos de bolas)

Luego  $A_{23} = S \cdot A_{23II}$

Luego  $dm = 0.5 \times (d + D)$ ,

luego  $dm = 20\text{mm}$  y  $n = 1200$  rpm

De la figura **A.16.2**:

$v_1$  (viscosidad relativa) =  $32 \text{ mm}^2/\text{s}$

De la figura **A.16.3**:

Entonces: viscosidad de servicio:  $v = 22 \text{ mm}^2/\text{s}$

Se calcula la proporción de viscosidad:  $\kappa$

$$= v/v_1 = 22/32 = 0.688$$

Se tiene  $f_s = C_o / P_o = 18.96$

y de la figura **A.16.4** se asume  $K_2 = 0$

porque  $f_s = 18.96 > 12$  y  $\kappa = 0.688$

$$\Rightarrow K = K_1 + K_2 = 0$$

De la figura **A.16.5** se tiene:

$$\Rightarrow \boxed{A_{23II} = 1.40} \text{ si } \kappa = 0.688 \text{ y } K = 0$$

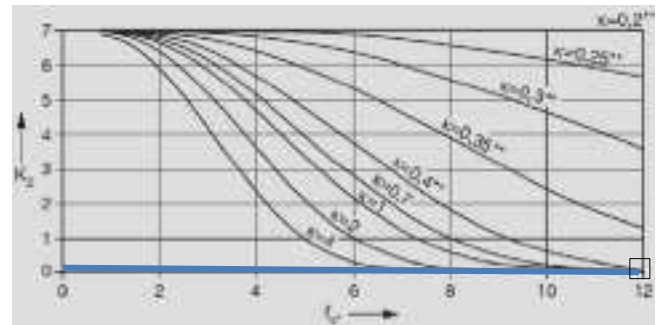


Figura **A.16.4** Diagrama  $f_s'$  [N] vs.  $k_2$

Fuente: (PUCP: 2018: p.42)

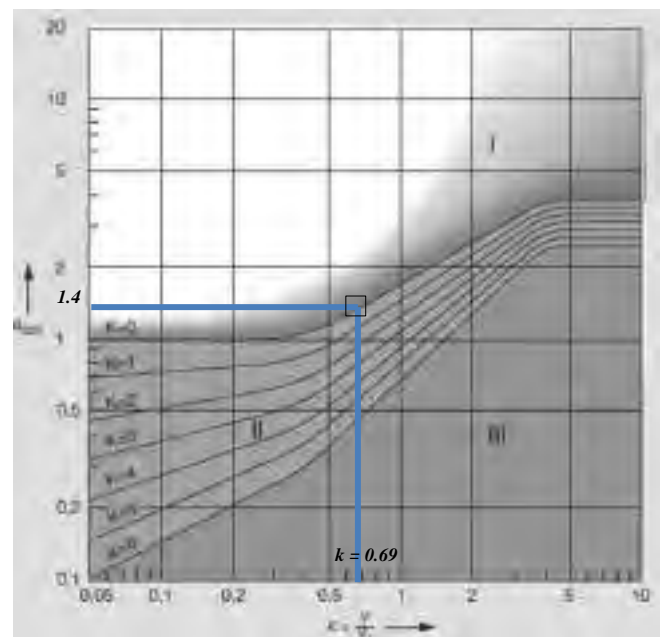


Figura **A.16.5** Diagrama  $k$  vs.  $A_{23II}$  según varíe  $K$

Fuente: (PUCP: 2018: p.42)

De la figura A.14.6

Tomamos  $V=0.5$  (elevada limpieza) y clase 12/9

Luego con  $f_s = 18.96$  y  $k = 0.688$

de la figura A.14.7 se obtiene el factor de limpieza  $s = 4.8$ .

$$A_{23} = s \cdot A_{23II} = 4.8 \times 1.4 = 6.72 \text{ luego: } L_{hna} = 0.53 \times 6.72 \times 100,000 = \boxed{356,160 \text{ horas}}$$

Esto es si se aplica lubricante ISO VG45 y se trabaja a  $50C^\circ$

▼ Valores de contaminación basados al factor de contaminación V

$\phi$ - $d_2$ mm	V	Clase de limpieza del aceite requerida según ISO 4406 <sup>1)</sup>	Valores de contaminación para el resto de filtración según ISO 4406 <sup>2)</sup>	Clase de limpieza del aceite requerida según ISO 4406 <sup>1)</sup>	Valores de contaminación para el resto de filtración según ISO 4406 <sup>2)</sup>
12.5	0.1	14/8	$N_{10} = 200$	12/9	$N_{10} = 200$
	0.3	12/9	$N_{10} = 200$	13/10	$N_{10} = 75$
	1	14/11	$N_{10} = 75$	15/12	$N_{10} = 75$
	3	16/12	$N_{10} = 75$	16/13	$N_{10} = 75$
	7	18/13	$N_{10} = 75$	17/14	$N_{10} = 75$
12.5 - 25	0.1	14/8	$N_{10} = 200$	12/9	$N_{10} = 200$
	0.3	13/10	$N_{10} = 75$	14/11	$N_{10} = 75$
	1	15/12	$N_{10} = 75$	16/13	$N_{10} = 75$
	3	16/13	$N_{10} = 75$	17/14	$N_{10} = 75$
	7	18/14	$N_{10} = 75$	19/15	$N_{10} = 75$
25 - 35	0.1	13/10	$N_{10} = 75$	14/11	$N_{10} = 75$
	0.3	14/11	$N_{10} = 75$	15/12	$N_{10} = 75$
	1	16/13	$N_{10} = 75$	17/14	$N_{10} = 75$
	3	17/14	$N_{10} = 75$	18/15	$N_{10} = 75$
	7	19/15	$N_{10} = 75$	20/16	$N_{10} = 75$
35	0.1	14/11	$N_{10} = 75$	14/11	$N_{10} = 75$
	0.3	15/12	$N_{10} = 75$	16/13	$N_{10} = 75$
	1	17/14	$N_{10} = 75$	18/15	$N_{10} = 75$
	3	18/15	$N_{10} = 75$	19/16	$N_{10} = 75$
	7	20/16	$N_{10} = 75$	21/17	$N_{10} = 75$

Figura A.16.6 Parámetros para el cálculo del factor de contaminación: V Fuente: PUCP: 2019: p.42)

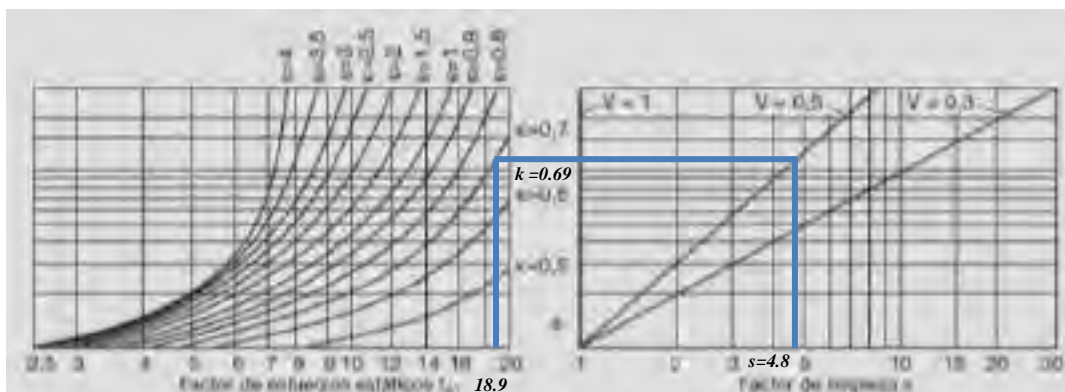


Figura A16.7 Diagramas para la obtención del factor de limpieza s Fuente: (PUCP: 2018: p.42A)

## Presión:

Se calcula la presión requerida para colocar el rodamiento en su ubicación, en la figura A.16.8 se observa las medidas de los ajustes, se considera para el cálculo del apriete la pista interior del rodamiento

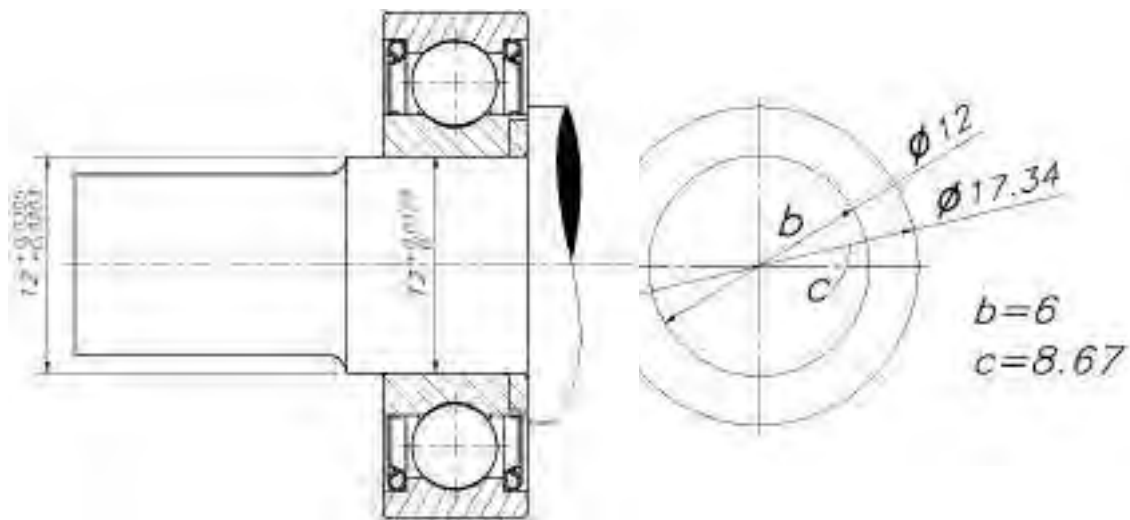


Figura A.16.8 Tolerancia en eje y rodamiento Fuente: Propia

De la tabla C.13-4 se escoge el ajuste de contracción Clase FN1 (Ajuste a presión ligera)

$$\delta = (1,2 \times 10^{-3} \text{ pulg}) \cdot (25.4 \text{ mm}), \delta = 0.03048 \text{ mm}$$

A: Eje : AISI 5115:

Rodamiento : AISI 51100

$$P = \frac{\delta}{b \left( \frac{1}{E_0} (2.838 + \nu_0) + \frac{1}{E_1} (1 - \nu_i) \right)} \quad \dots(\text{a.41})$$

Como:  $E_{0,1} = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

$\nu_{0,1} = 0.27$

Se obtiene  $P = 277.96 \text{ N/mm}^2$  o MPa

Se muestran las características del rodamiento escogido en la figura A.16.9

y en la tabla A.9

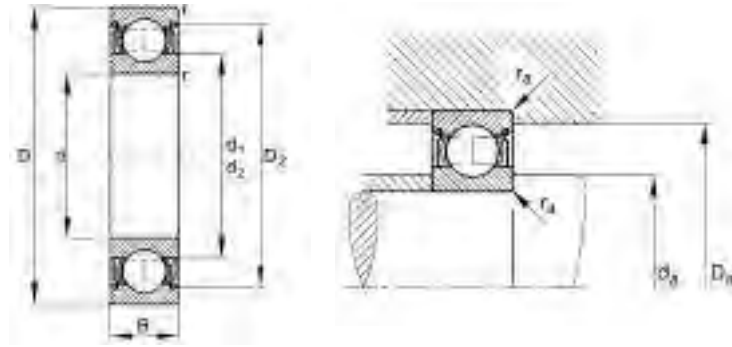


Figura A.16.9 Rodamiento modelo 6001-2Z  
Fuente: Adaptado de FAG®

Tabla A.9 Símbolos con medidas de rodamientos

Características	Medida
<b>D</b>	12 mm
<b>D</b>	28 mm
<b>B</b>	8 mm
<b>d1</b>	16.7 mm
<b>D2</b>	24.5 mm
<b>Da máx</b>	26 mm
<b>da mín</b>	14 mm
<b>ra máx</b>	0.3 mm
<b>ra mín</b>	0.3 mm
<b>m (peso)</b>	0.02 Kg
<b>Cr (Capacidad dinámica)</b>	5400 N
<b>C0r (Capacidad estática)</b>	2370 N
<b>Cur (Carga límite de fatiga)</b>	120 N
<b>nG (Velocidad límite)</b>	32500 1/min
<b>nr (Velocidad de referencia)</b>	24200 1/min

Fuente: Adaptado de fabricante FAG®

### 3. Potencia del motor a pasos:

En el sistema de movimiento en dirección Y se encuentra el cabezal de corte, el cual se desplaza en la misma dirección. El peso del cabezal de corte de masa W incluye el peso del generador de antorcha, el peso del sistema de movimiento en el eje Z y otros componentes indicados. Se utiliza el tornillo con rosca trapecial Tr 26x8

Del material escogido St 50, se sugiere en el capítulo limitar el esfuerzo normal máximo a  $500 \text{ N/mm}^2$  y esfuerzo cortante máximo a  $180 \text{ N/mm}^2$  (Robert M., 2006), en la tabla A.10 se recuerdan algunas de sus medidas

Tabla A.10 Medidas y fuerzas en rosca trapecial seleccionada

Diámetro mayor (D) mm	Roscas por pulgada (n)	Paso (P) mm	Diámetro medio (Dm) mm	Tu N.mm	My N.mm
26	0.125	8	17.5	Torque de movimiento	Torque del motor Y

Fuente: Elaboración propia

Se tiene las siguientes ecuaciones del autor Mott R, 2006, pg.702-703 para el torque ( $T_u$ ) a requerir para el ascenso de un tornillo de potencia con carga F.

$$T_u = \left( F \cdot \frac{Dp}{2} \right) \cdot \left( \frac{\cos(\theta) \cdot \text{tg}(\varphi) + f}{\cos(\theta) - f \cdot \text{tg}(\varphi)} \right) \quad \text{N.mm} \quad \dots(\text{a.42})$$

Donde:  $\theta$  y  $\varphi$  depende de la geometría del tornillo trapecial

$$y M = F_r \cdot \left( \frac{Dm}{2} \right), \text{ en este caso } M = M_y \text{ (torque de motor Y)} \quad \dots(\text{a.43})$$

Si comparamos **a.42** y **a.43** se tiene que la fuerza horizontal a vencer por el tornillo (F) es equivalente a la fuerza de fricción estática ( $F_r$ ) para mover el carro móvil sobre las guías trapeciales, la eficiencia del tornillo es  $n = \frac{F \cdot L}{2\pi T_u}$  ...(\text{a.44})

$$\text{De aquí: } F = F_r \text{ y } F_r = \mu \cdot N \quad \dots(\text{a.45})$$

Para conocer la fuerza F se tiene que la fricción entre la guía y tuerca se calcula con la fórmula  $F_r = \mu \cdot N$ , la cual es aplicable por la ley de fricción seca de Coulomb

Donde se considera:

$$\mu = 0.15 \text{ por ser acero y acero}$$

$$y N = W_{\text{cabezal}} + M_{Cy}$$

donde:  $W_{\text{cabezal}}$  : peso del cabezal de corte y  $M_{Cy}$  : peso del carro móvil

Se conoce  $\theta = 15^\circ$ ,  $\text{tg}(\varphi) = 0.116$  y considerando  $W_{\text{cabezal}} = 100\text{N}$  y  $M_{Cy} = 40\text{N}$

Se obtiene reemplazando en **a.42** y **a.43**:

$F_r = (0.15)(100+40) F_r = 21\text{N}$ , luego  $\cos(15^\circ) = 0.966$

$$M = (21\text{N}) \left( \frac{17.5\text{mm}}{2} \right) \left( \frac{(0.966)(0.116) + (0.15)}{(0.966) - (0.15)(0.116)} \right) \quad \boxed{M = 50.76 \text{ N}\cdot\text{mm}}$$

Si consideramos vencer la fuerza de inercia para una aceleración lineal dada producto de una aceleración angular que impulse al eje desde 0 hasta 62.89 rad/s (600 rpm) en 0.1s.

Se tiene: Para  $t = 0.1\text{s}$

Y velocidades del carro móvil:  $V_o = 0 \text{ m/s}$  y  $V_f = 0.08 \text{ m/s}$  (generada por el giro del eje)

Por formula de M.R.U.V se obtiene la fuerza contra la inercia:  $F_2$

$$F_2 = F_r + (W_{\text{cabezal}} + M_{Cy}) \cdot A_{Cy} \text{ N} \quad \dots(\mathbf{a.46})$$

$$A_{Cy} = \frac{V_f - V_o}{t} \quad \text{m/s}^2 \quad \dots(\mathbf{a.47})$$

$$\alpha_{eje} = \frac{\omega_f - \omega_o}{t} \quad \text{rad/s}^2 \quad \dots(\mathbf{a.48})$$

$$I_{eje} = \frac{m_{eje} \cdot R^2}{2} \quad \text{Kg}\cdot\text{mm}^2 \quad \dots(\mathbf{a.49})$$

$$\text{Se conoce para el eje que } m_{eje} = (\rho_{\text{acero}}) \cdot (L) \cdot (\pi \cdot r^2) \quad \dots(\mathbf{a.50})$$

$$\text{Se halla de a.46 y a.47 } F_2 = 21 + (14.27 \text{ Kg}) \cdot (0.8 \text{ m/s}^2) \text{ luego } \boxed{F_2 = 32.42\text{N}}$$

Ahora calculamos la aceleración angular que se requiere para ir desde  $\omega_o = 0 \text{ rad/s}$

hasta  $\omega_f = 62.89 \text{ rad/s}$  en  $t = 0.1\text{s}$ . que implica por **a.48**:  $\alpha_{eje} = 628.9 \text{ rad/s}^2$

Por fórmulas de dinámica para cuerpo rígido se tiene el torque para la aceleración ( $T_2$ )

$$T_2 = (I_{eje})(\alpha_{eje}) + T_f \text{ N}\cdot\text{m}, \text{ donde } T_f : \text{Torque por fricción} \quad \dots(\mathbf{a.51})$$

Con **a.46** hasta **a.50**, reemplazando se tiene:

$$m_{eje} = \left( 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) (1.485 \text{ m}) (\pi \cdot (0.013 \text{ m})^2), I_{eje} = \frac{(m_{eje} \text{ Kg}) \cdot (0.013 \text{ m})^2}{2}$$

Se obtiene  $m_{eje} = (6.19 \text{ Kg})$  y  $I_{eje} = 5.23 \times 10^{-4} \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$

$$T_2 = (5.23 \times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^2) (628.9 \text{ rad/s}^2) + (21\text{N}) \cdot (0.013\text{m}),$$

finalmente  $T_2$  es igual a 0.603 N.m

$$\text{Se tiene para } n = 600\text{rpm}: \quad \boxed{T_{My \text{ máx}} = 0.603 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

Tabla B.11 Resultados de torque del motor necesario

N°	Descripción	A velocidad constante de 0.08m/s (600 rpm)	Considerando la aceleración máxima de 0.1 m/s <sup>2</sup>
Tu	Torque necesario para el movimiento del tornillo de potencia	508 N.mm	603 N.mm
F	Fuerza horizontal a vencer por el tornillo de potencia	21 N	32.42 N

Fuente: Elaboración propia

**Velocidad lineal de movimiento de la tuerca del sistema en dirección Y:**

Calcular la velocidad lineal del cabezal de corte será equivalente a la velocidad lineal del móvil que se desplaza alrededor del tornillo de potencia, la velocidad exigida es de 10cm/s aunque su punto de operación es en 8 cm/s.

Se tiene la siguiente ecuación adaptada de Mott R., 2006, p.702

$$n = V \cdot (1/p) \cdot (60) \text{ rpm} \quad \dots(\mathbf{a.52})$$

Donde:

V: Velocidad lineal m/s

P: paso del tornillo de potencia mm

Con **b.52** se obtiene n

Luego la potencia necesaria para impulsar el tornillo es:

$$P = T \cdot n \text{ watt, T en N.m y n en rad/s} \quad \dots(\mathbf{a.53})$$

luego se obtiene P y si se considera un 20% de carga adicional se tiene que:

Tabla A.12 Resultados de potencia y velocidad del motor necesario

N°	DESCRIPCIÓN	CONSIDERANDO LA CARGA EN EL MOMENTO DE MÁXIMA ACCELERACIÓN
<b>T</b>	Torque necesario para el movimiento del tornillo de potencia	0.603 N.m
<b>W</b>	Velocidad angular	62.89 rad/s
<b>P</b>	Potencia requerida	37.92 Watt

Nota: El cálculo para la potencia requerida en el sistema de movimiento perpendicular a la dirección Y es semejante y por estandarización y facilidad de mantenimiento se seleccionan componentes del mismo fabricante y modelo.

Fuente: Elaboración propia

#### 4. Velocidad lineal de subsistemas X, Y y conjunto.

Con los valores seleccionados se calcula la velocidad máxima que alcanza el sistema con el cabezal de corte plasma, se reemplazan los valores en las fórmulas de acuerdo a los componentes seleccionados y sus características.

#### A.1.5 Otros cálculos:

##### 1. Pandeo de columnas de mesa base:

Se tiene las cuatro columnas de soporte el sistema las cuales soportan el peso de toda la máquina, se pide calcular su F.S. al pandeo.

Datos:

$$E = 2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}$$

$$\sigma_F = 270 \times 10^6 \text{ N/m}$$

$$i = 38.35 \text{ mm}$$

$$L = 0.850 \text{ m}$$

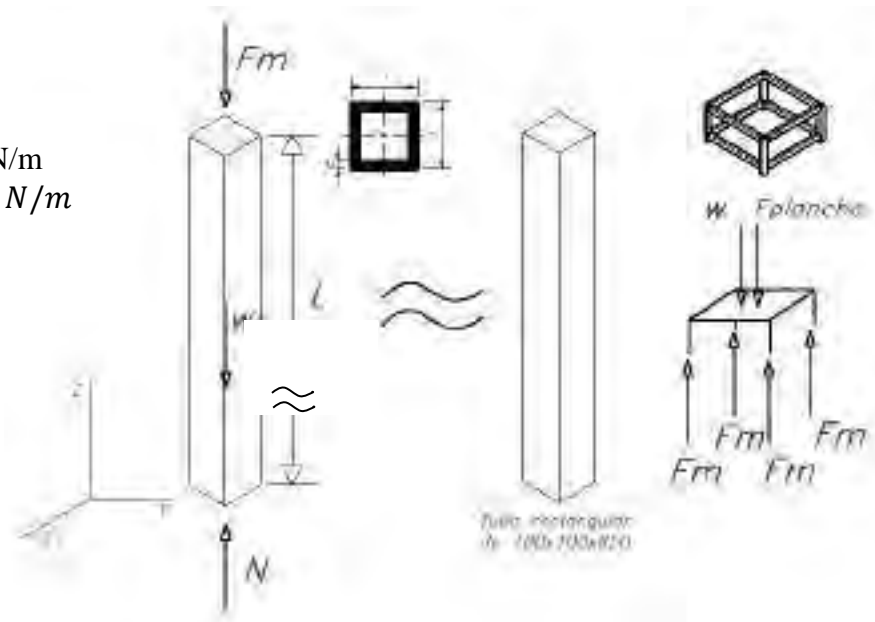


Figura A.17.1 DCL de postes de mesa de trabajo Fuente: Elaboración propia

Se considera en Kg:

$w$  : 3924N peso de la máquina sobre las columnas

$F_{\text{plancha}}$  : 4905 N peso del material a cortar PL1.2x1.2x0.05m

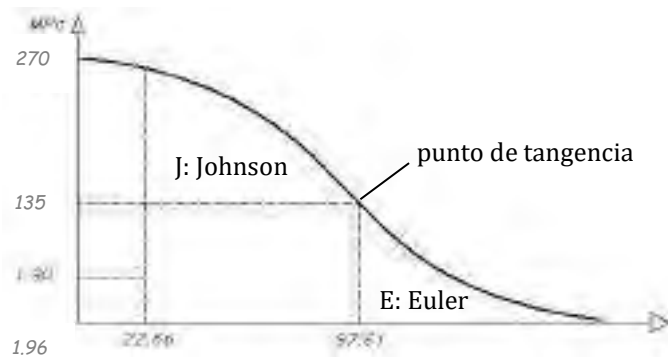
$w_c$  : 76.5 N peso de la columna

Se tiene en Z:

$$N = F_m + w_c \text{ y } 4 \cdot F_m = w + F_{\text{plancha}}$$

$$N = [(W + F_{\text{plancha}}) / 4] + w_c$$

$N = 2281.52 \text{ N}$ , esta es la fuerza de pandeo



**Figura A.17.2** Zonas de pandeos y esfuerzos críticos para los postes Fuente: Adaptado de Rodríguez, 2017

Por el método de Euler y considerando  $\lambda_{FE} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_F}}$  ...**(a.54)**

$$\lambda_{FE} = \pi \sqrt{\frac{2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2}{270 \times 10^6 \text{ N/m}^2}}, \text{ luego } \lambda_{FE} = 87.61$$

Se calcula  $\lambda = \frac{L_p}{i}$ ,  $L_p$ : longitud de pandeo y  $i$ : radio de giro ...**(a.55)**

Se considera cada borde como empotrado-empotrado  $L_p = L/2$  (Rodríguez, 2006, p. 6-10)

$$\lambda = \frac{0.425 \text{ m}}{0.0384 \text{ m}}, \lambda = 11.07 < 87.61, \text{ se concluye que no se puede aplicar este método}$$

Ahora usamos el método Johnson (1892)

Se tiene:  $K = \frac{\sigma_F^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \text{ N/m}^2$  ...**(a.56)**

Y  $\lambda_{JE} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_F}}$  ...**(a.57)**

Entonces mediante **a.56** y **a.57**:  $K = \frac{(270 \times 10^6 \text{ N/m}^2)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot (2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2)}$ ,  $K = 8793.23 \text{ N/m}^2$

$$\text{y } \lambda_{JE} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot (2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2)}{(270 \times 10^6 \text{ N/m}^2)}}, \lambda_{JE} = 123.91$$

Como  $\lambda < \lambda_{JE}$ , se requiere por el método que  $\sigma_{Adm} = \frac{\sigma_F - K \cdot \lambda^2}{F.S.}$  ...**(a.58)**

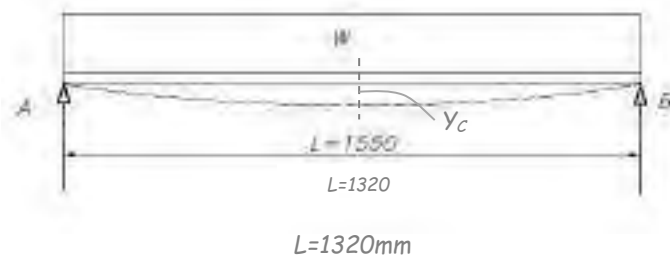
Se calcula el esfuerzo de pandeo  $\sigma_{pandeo} = \frac{2281.52}{(0.100^2 - 0.094^2)}$ ,  $\sigma_{pandeo} = 1.96 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

Se reemplaza en **a.58**:  $1.96 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \leq \frac{268.92 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{F.S.}$  y se obtiene  $F.S. = 137.20$

Es un buen factor y si consideramos condición de borde articulada-empotrada monodeslizante.

Se tiene  $L_p = L$ , luego se obtiene  $F.S. = 135.55$  aún seguro.

**2) Deformación por flexión en el eje roscado del sistema Y:** En la figura **A.17.3** se muestra el DCL a considerar para el cálculo de la deformación máxima en el centro del eje roscado principal y se verificará si es admisible o no para la precisión demandada de corte plasma. Se considera al eje como empotrado en los extremos y con la carga del peso uniformemente distribuido sobre el mismo.



**Figura A.17.3** Diagrama de fuerzas externas sobre el sistema de movimiento Y Fuente: Elaboración propia

Se presentan las siguientes ecuación tomadas de Mott R., 1996, p. A-19 para el cálculo de deflexiones para diferentes tipos de apoyos le ecuación **a.59** es para vigas simplemente apoyadas.

$$y_B = \frac{-5.W.L^3}{384.E.I} \text{ m} \quad \dots(\mathbf{a.59})$$

Y la ecuación **b.60** para vigas estáticamente indeterminadas con extremos empotrados

$$y_B = \frac{-W.L^3}{384.E.I} \text{ m} \quad \dots(\mathbf{a.60})$$

Reemplazando los siguientes valores en **a.59** se obtiene:

$$y_B = \frac{-5(55N)(1.320m)^3}{384(2.5 \times 10^{11} N/m^2)(2,24 \times 10^{-8} m^4)} m \text{Escriba aquí la ecuación.}$$

$y_B = 1.26 \text{ mm}$ , si sus extremos estuvieran solo apoyados y mediante la ecuación **a.60**

$y_B = 0.25 \text{ mm}$  puesto que sus extremos están sujetos por rodamientos.

Se calcula la pendiente máxima causada por la deflexión del eje mediante las ecuaciones tomadas de Hibbeler R., 2002, p. 804 para vigas simplemente apoyadas se tiene **a.61** para obtener el ángulo de deflexión máximo para vigas de extremos un fijo y el otro móvil.

$$\theta_{max} = \frac{-W.L^3}{24.E.I} \quad \dots(\mathbf{a.61})$$

$$\text{Reemplazando en a.61: } \theta_{max} = \frac{-(41.67N/m)(1.320m)^3}{24(2.5 \times 10^{11} N/m^2)(2,24 \times 10^{-8} m^4)}$$

$$\theta_{max} = 7,13 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

Se compara con los valores de deformación máxima permitidos (Cotaquispe L., 2015, p.11)

Se requiere  $y_{Bm\acute{a}x.} = 0.2\text{mm/m}$  para máquinas-herramientas

Como la medida entre los apoyos es de 1.41m, se tiene:  $y_{Bm\acute{a}x.} = 0.282\text{mm}$ , para el ángulo admisible de deformación se tiene  $\theta_{max} = 1 \times 10^{-3} \text{ rad}$  para apoyos de rodamientos.

Se concluye que la deformación del eje es admisible para trabajos como máquina de precisión.

#### **A.1.5. Otros:**

**1. Dimensiones externas de la máquina:** Se realiza una análisis de las dimensiones externas que deben tener lo sub-sistemas para no exceder los límites de los requerimientos.

### *Cálculos relacionados con el tamaño externo de la máquina.*

Se conocen las medidas externas de la máquina. Las medidas del ancho y largo están establecidas con medidas dentro de lo permitido de 1250 x 1250 mm, en relación con la altura de la máquina automática se observa en los planos de ensamble mecánicos que se requiere que la suma de alturas de la mesa de trabajo más la altura del sistema de movimiento en X e Y, la del cabezal de corte y la manguera por donde ingresa el gas al cabezal de corte no debe superar los 1750 mm de altura.

**Cabezal de corte:** El cabezal que genera la antorcha posee una longitud de 200 mm, requiere de una longitud de carrera mínima de 50 mm y debido a la configuración de motores y codificador de revoluciones, se propone una altura de 400 mm La altura de las manguera de suministro de gas deben ser de 100 mm para que los conductos no estén sometidos a un dobléz mayor que puede causar su daño y producir escape del gas, la altura de la manguera no se considerará como parte de la altura del cabezal pero si de la máquina.

**Altura del sistema de movimiento en el eje X:** Debe permitir el movimiento del cabezal de corte sobre la mesa de trabajo, la altura de su eje de movimiento coincide con la parte central del cabezal (esto es para que las guías de movimiento soporten cargas semejantes). Los objetos a cortar pueden poseer alturas hasta de 50mm, por esto se propone como altura del eje de movimiento respecto del área de trabajo el valor de 120mm, esto incluye el espesor de la estructura soporte y un rango adicional que permita moverse unos 20mm sobre la pieza cortada.

### **Forma exterior de la máquina:**

Se exige que tenga forma prismática. Para cumplir este requerimiento se mantendrá constante las medidas de ancho y longitud a lo largo de la máquina. En relación a la altura, la máquina tendrá columnas en las cuatro esquinas alrededor de la mesa de trabajo para darle el aspecto prismático.

**Altura del sistema de movimiento en el eje Y:** De la figura A.18 se observa los componentes de la altura del sistema. Al sumar las medidas propuestas se verifica que se cumple con la exigencia (máximo 1,75m), se presenta la ecuación a.62 para hallar la altura total

$$\underbrace{h_1}_{800} + \underbrace{h_2}_{750} + \underbrace{h_3}_{200} = \underbrace{h_{total}}_{1750\text{mm}} \dots (\text{a. 62})$$

$h_1$  : Altura de mesa de trabajo

$h_2$  : Altura del eje x desde la mesa de trabajo

$h_3$  : Altura del cabezal de corte por sobre el eje x

$h_{total}$  : Altura total de la máquina de corte plasma

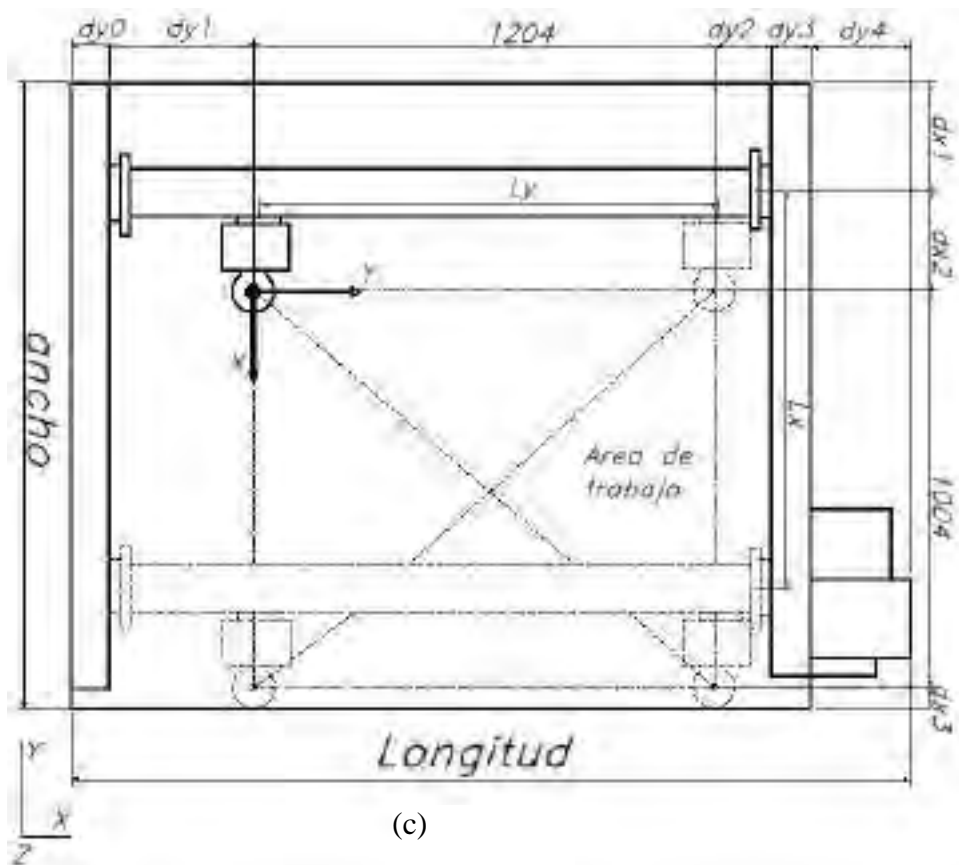
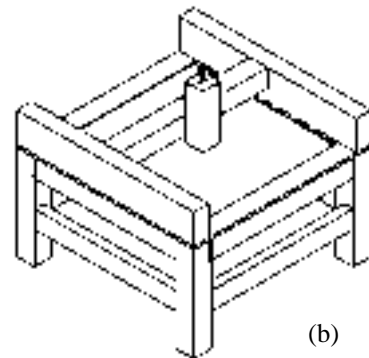
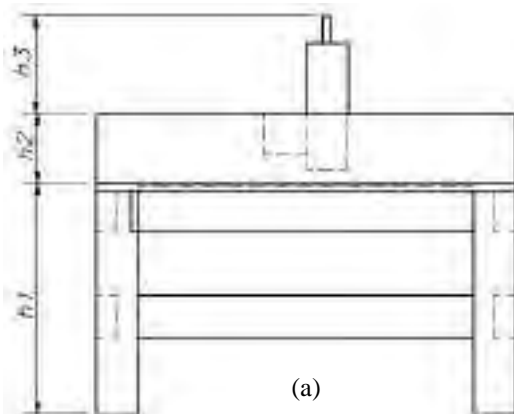


Figura A.18 Dimensiones externas de la máquina (a) altura (b) isométrico (c) largo y ancho Fuente: Elaboración propia

### Cálculos de largo y ancho de la máquina:

Se exige medidas máximas de 2000x1800mm.

El ancho lo conforman: Las medidas del sistema del eje X, el cabezal de corte y la longitud de carrera. Al sumar las medidas propuestas se verifica que se supera la dimensión máxima, mas no se modifica por ser la mínima posible para el diseño realizado, se observa en la figura **A.18** cada medida internas que suma para el total, estas se obtienen después del diseño de las mismas buscando un menor ancho posible.

$$\underbrace{dy_0} + \underbrace{dy_1} + \underbrace{a} + \underbrace{dy_2} + \underbrace{dy_3} + \underbrace{dy_4} = a_{total} \quad \dots(\mathbf{a.63})$$

230    277    1204    121    160    234    2226 mm

$d_{y0}$  : Ancho de sistema de movimiento Y izquierdo

$d_{y1}$  : Ancho hasta el inicio de la carrera en el eje y

$d_{y2}$  : Ancho hasta el fin de la carrera en el eje y

$a$  : Ancho del área de trabajo

$d_{y3}$  : Ancho de sistema de movimiento eje y derecho

$d_{y4}$  : Ancho de sistema de control

$a_{total}$  : Ancho total de la máquina de corte plasma

**El largo lo conforman:** La medida de longitud del área de trabajo y la distancia de seguridad a la antorcha de corte plasma en la parte de adelante y la parte posterior.

Al sumar las medidas propuestas se verifica que se cumple con la exigencia (máx.1.40 m)

$$\underbrace{dx_1} + \underbrace{l} + \underbrace{dx_2} + \underbrace{dx_3} = l_{total} \quad \dots(\mathbf{a.64})$$

140    1004    222    286    1652mm

$d_{x1}$  : Distancia de seguridad en la parte posterior

$d_{x2}$  : Ancho del sistema (hasta el punto de corte)

$l$  : longitud del área de trabajo

$d_{x3}$  : Distancia de seguridad en la parte anterior

$l_{total}$  : Ancho de la corte plasma máquina de corte

## 2. Cálculo de las dimensiones del ciclón y de los ductos de absorción

El sistema de limpieza consta de un ciclón y un filtro de mangas absorbentes, se requiere calcular las dimensiones principales de cada uno si se conoce la siguiente información.

Temperatura del aire: Entre 25 y 35 °C (aire a temperatura ambiente)

Tamaño de partículas: Mayores a 0.5mm (esquirla promedio)

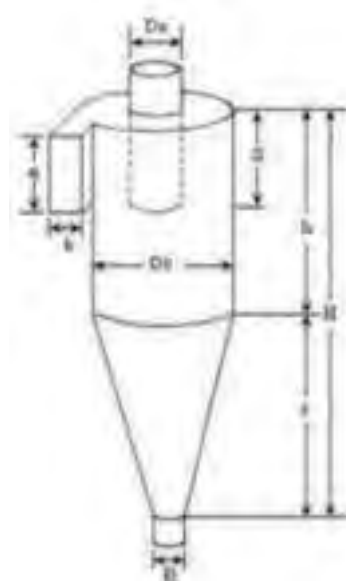
Caudal en la entrada: 2 m<sup>3</sup>/min (0.033 m<sup>3</sup>/s) (Caudal del ventilador seleccionado)

Se escoge la familia de ciclones de alta eficiencia para partículas tipo PST cuya eficiencia esta entre el 80 y 99% ya que es más eficiente y de menor tamaño que los otros dos.

Tabla A.13.1 Eficiencia de los ciclones según su tipo y tamaño de partículas Fuente: Echeverri C.

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70-90	30-90	0-40
Alta eficiencia	80-99	60-95	20-70
Alta capacidad	80-99	10-40	0-10

Se diseña siguiendo el modelo del ciclón tipo Swift (ver figura A.19.1) por ser el modelo más sencillo de fabricar y de publicación más reciente (1969)



Donde:

$D_c$  : Diámetro del ciclón

$a$  : Altura de entrada

$b$  : Ancho de entrada

$S$  : Altura de salida

$D_s$  : Diámetro de salida

$h$  : Altura parte cilíndrica

$z$  : Altura parte cónica

$H$  : Altura total del ciclón

$B$  : Diámetro de salida partículas

Figura A.19.1 Dimensiones principales de un ciclón Fuente: Echevarri C.

Se ve en la tabla A.13.2 las relaciones de las dimensiones en base al diámetro del ciclón

Tabla A.13.2 Relación de dimensiones en el ciclón modelo Swift Fuente: Echeverri C

Dimensión	Nomenclatura	Ciclón tipo Swift
<b>Diámetro del ciclón</b>	Dc / Dc	1.00
<b>Altura de entrada</b>	a / Dc	0.44
<b>Ancho de entrada</b>	b / Dc	0.21
<b>Altura de salida</b>	S / Dc	0.5
<b>Diámetro de salida</b>	Ds / Dc	0.4
<b>Altura parte cilíndrica</b>	h / Dc	1.4
<b>Altura parte cónica</b>	z / Dc	2.5
<b>Altura total del ciclón</b>	H / Dc	3.9
<b>Diámetro de salida partículas</b>	B / Dc	0.4
<b>Factor de configuración</b>	G	698.65
<b>Número de cabezas de velocidad</b>	N.H	9.24
<b>Número de vórtices</b>	N	6.0

Se calcula ahora el diámetro del ciclón a partir de la velocidad de captura que se recomienda entre 15 y 27 m/s, seleccionamos el promedio de 22 m/s, ahora con la formula siguiente se obtiene el área de la boca de entrada:

$$A = Q/v \quad \dots \text{(a.65)}$$

Se obtiene el área al reemplazar en **a.65** se tiene:  $A = \frac{33 \times 10^{-3}}{22} = 1.5 \times 10^{-3}$

Ahora el área del ducto de entrada rectangular es  $A = a \cdot b$

Donde a y b se obtienen de la tabla **A.13.2**

luego al reemplazar se obtiene:  $Dc = \sqrt{\frac{(A)}{(0.5)(0.2)}} \quad \dots \text{(a.66)}$

Finalmente al reemplazar en **a.66** se obtiene  $Dc = \sqrt{\frac{(1.5 \times 10^{-3})}{(0.5)(0.2)}} = 0.122 \text{ m}$

En la tabla **A.13.2** se encuentran las relaciones para hallar las demás dimensiones:

Altura de la entrada al ciclón:  $a = (0.44)(0.122) = 0.054 \text{ m}$

Ancho de la entrada al ciclón:  $b = (0.21)(0.122) = 0.026 \text{ m}$

Altura de la salida del ciclón:  $S = (0.5)(0.122) = 0.061 \text{ m}$

Diámetro de la salida del ciclón:  $D_s = (0.4)(0.122) = 0.049 \text{ m}$

Altura de la parte cilíndrica del ciclón:  $h = (1.4)(0.122) = 0.171 \text{ m}$

Altura total del ciclón  $H = (3.9)(0.122) = 0.476 \text{ m}$

Altura de la parte cónica del ciclón  $z = (2.5)(0.122) = 0.305 \text{ m}$

Diámetro de salida del polvo  $B = (0.4)(0.122) = 0.049 \text{ m}$

Ahora se calcula la caída de presión con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \times \rho \times V_i^2 \times N_H \dots (\text{a. 66})$$

Donde:

$\rho$  : densidad del gas portador  $\text{kg/m}^3$

$V_i$ : velocidad de entrada del gas al ciclón  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$N_H$ : número de cabezas de velocidad a la entrada del ciclón

Con la ecuación **a.66** se obtiene:

$$\Delta P = \frac{1}{2}(1.22)(22)^2(9.24) = 2728 \text{ N/m}^2$$

La potencia requerida se obtiene con:

$$\text{Potencia} = \Delta P \times Q \quad \dots(\text{a.67})$$

Se obtiene al reemplazar en a.67 un consumo de:  $(2728)(33 \times 10^{-3}) = 90 \text{ W}$

La máquina seleccionada realiza una potencia máxima 94 W lo cual está dentro de lo permitido.

*Cálculo de las dimensiones del filtro por mangas absorbentes:*

Después de filtra las partículas mayores las de menor tamaño pasan a este filtro, se consideran las partículas del polvo metálico y óxidos metálicos en un proceso de ventilación de transporte de aire.

Se utiliza el sistema conocido en inglés como pulse-jet para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = 2.878 \times A \times B \times T^{-0.2335} \times L^{-0.06021} \times (0.747 + (0.0853 \times \ln D)) \dots \text{(a.68)}$$

Donde:

- V: Tasa de flujo de gas *pie/min*
- A: factor de material (ver tabla **A.13.3**)
- B: Factor de aplicación (ver tabla **A.13.3**)
- T: Temperatura del ambiente *°F*
- L: Carga de polvo en el gas *gr/pie<sup>3</sup>*
- D: Diámetro medio de partículas, *μm*

Tabla A.13.3 Factor para la estimación de la tasa de flujo de gas hacia las mangas Fuente: EPA

Factor material		Factor de aplicación	
12	9.0	Ventilación ruidosa	1.0
<b>Asbestos</b>	Polvo metálico	Alivio de puntos de transferencia, estaciones empaquetadas	
<b>Perlita</b>	Ceniza voladora		
<b>Caucho</b>	Óxidos metálicos	Colección de productos	0.9
<b>Tierra</b>	Plásticos	Ventilación de transporte de aire, mescladoras, secadores rápidos	
<b>Talcos</b>	Silicatos		
<b>Sales</b>	Pigmentos metálicos	Procesos de filtración de gas, atomizadores,	0.8
<b>Yeso</b>	Resinas	hornos, reactores	

Finalmente al reemplazar en **a.68** se obtiene:

$$V = 2.878 (9.0)(0.9)(95)^{-0.2335} (1)^{-0.06021} \times (0.7471 + (0.0853 \times \ln(1000)))$$

$$V = 10.76 \text{ pie}/\text{min} \quad (0.055 \text{ m/s})$$

Se conoce la siguiente relación  $C = G/V$  ... (a.69)

Donde: G: caudal del gas que ingresa a las mangas en  $\text{pies}^3/\text{min}$

C: es el área superficial que se requiere en las mangas

Luego se reemplaza en a.69 y se obtiene:

$$C = \frac{70.63}{10.76} = 6.56 \text{ pies}^2 (0.61 \text{ m}^2)$$

Se consideran utilizar 16 mangas en ubicación matricial de 4 x 4, puesto que se cuenta con una altura máxima de 450 mm y un ancho rectangular de 150 mm aproximadamente para la ubicación del extractor, si se considera un espacio en mangas y bordes ( $d_m$ ) de 20 mm se obtiene un diámetro máximo ( $D_m$ ) de 17.5mm para cada manga

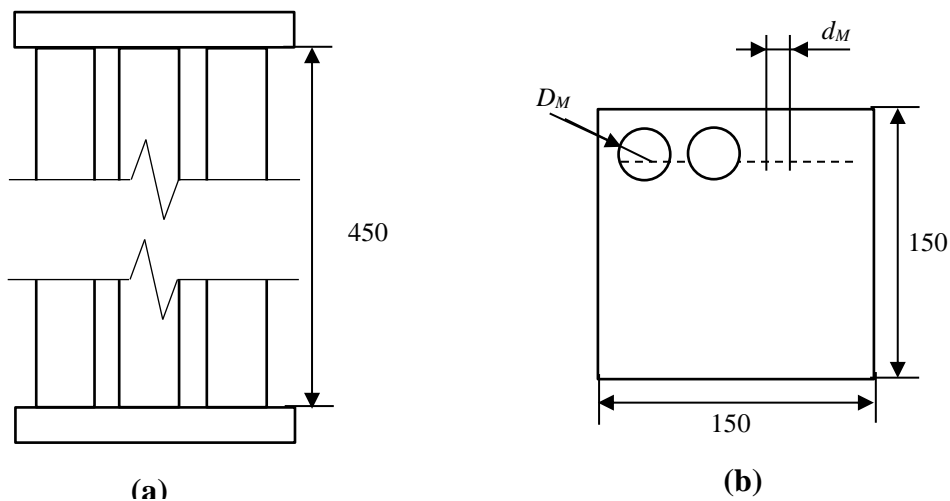


Figura A.19.2 Dimensiones de las mangas absorbentes (a) vista lateral  
(b) vista superior Fuente: Elaboración propia.

Se calcula el área superficial de cada manga con:

$$A_{ST} = (\pi)(D)(h) \quad \dots \text{(a.70)}$$

Se obtiene con **a.70**:

$$A_{ST} = (\pi)(17.5)(h) = 0.024 \text{ m}^2$$

Se halla el número de mangas necesarias con la relación:

$$N = C/A_{ST} \dots \text{(a.71)}$$

Se reemplaza en a.71 con  $C = 0.61$  obtenido con a.69

$$N = \frac{0.61}{0.024} = 25.4 \text{ mangas}$$

Ahora para reducir el número hasta 16 se modifica el radio, probaremos en sentido inverso:

Con la ecuación a.71 se halla el área superficial requerida:  $A_{ST}$  para  $N = 16$  y

$$\text{la constante } C = 0.61, \text{ se tiene: } A_{ST} = \frac{(0.61)}{(16)} = 0.038 \text{ m}^2$$

Luego con la ecuación a.70 se halla el diámetro necesario en cada manga

$$(\pi)(D_M)(0.045) = 0.038 \text{ m}^2$$

$$\text{Luego } D_M = 0.27 \text{ mm}$$

Al reemplazar los valores obtenidos en a.71 se obtiene  $N = \frac{0.61}{0.038} = 16.1$ , esto implica 16 mangas.

### *Selección del material de las mangas*

Se requiere una resistencia a la temperatura mayor que las demás telas y excelente resistencia tanto a agentes físicos como a productos químicos

De la tabla 12.4 de telas industriales se selecciona la tela Nomex por ser la que soporta mayor temperatura y poseer una resistencia excelente ante los agentes físicos y productos químicos.

Tabla 12.4 Características de las telas industriales Fuente: Goberna R.

Nombre genérico	Ejemplos de nombres comerciales	Temp. Máx. (°C)		Resistencia a agentes físicos					Resistencia a productos químicos			
		Contínuo	Intermitente	Calor seco	Calor húmedo	Abrasión	golpes	flexión	Ácidos minerales	Ácidos orgánicos	Oxidantes	Disolventes
<b>Nylon (poliamida)</b>	Nylon 6.6	105	-	B	B	E	E	E	M	R	B	E
	Nylon 6 Nomex	205	230	E	E	E	E	E	M-R	E	B	B
<b>Poliéster</b>	Dacron, Fortrel Vycron	135	-	B	R	B	E	E	B	B	B	E
<b>Polipropileno</b>	Vectra, Herculon, Reevon	93	120	B	R	E	E	B	E	E	B	B

Se tiene el precio de 30 USD el metro cuadrado fabricado por la empresa GAYON NEW MATERIALS lo cual implica un costo de  $(30)(0.61)=18.3$  USD para todas las mangas.

#### A.1.6. Herramientas de simulación:

**1. Deformación de la mesa de trabajo:** Se construye la mesa a partir de perfiles rectangulares de acero según la norma ASTM A36 Grado 50, con medidas externas a total,  $l_{total}$  y  $h_1$ . Se realiza el cálculo de la deformación en la mesa a partir de colocar un peso de una plancha de acero de: 1200 x 1200 x 50 mm para esto se utiliza el método de cálculo con elementos finitos. En la figura **A.20.1** se observa que el máximo esfuerzo presente en la mesa es de 123.2 MPa la cual actúa principalmente sobre la plancha de 3mm de espesor con resistencia a la fluencia ( $\sigma_f$ ) de 249.9 MPa, lo cual representa un factor de seguridad (F.S.) de 2.028 para esta, en los 4 postes de soporte se obtiene un promedio de 8.23Mpa considerando  $\sigma_f$  de 270Mpa se obtiene un F.S de 32.807.

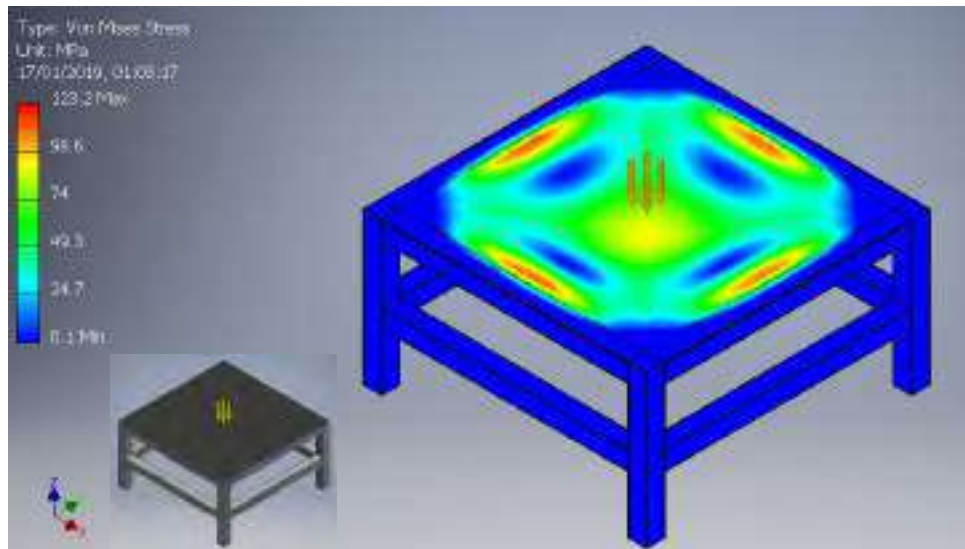


Figura A.20.1 Esfuerzos en la mesa de trabajo con una carga de acero 50mm de espesor  
Fuente: Elaboración propia con Inventor 2019®

La deformación máxima en el centro de la placa es de 24.97 mm (figura A.20.2) lo cual no es permisible, se plantea reforzar la estructura con una malla de cocada cuadrada fabricada a modo de rendija con platinas de acero lo cual a su vez permiten el paso del haz plasma.

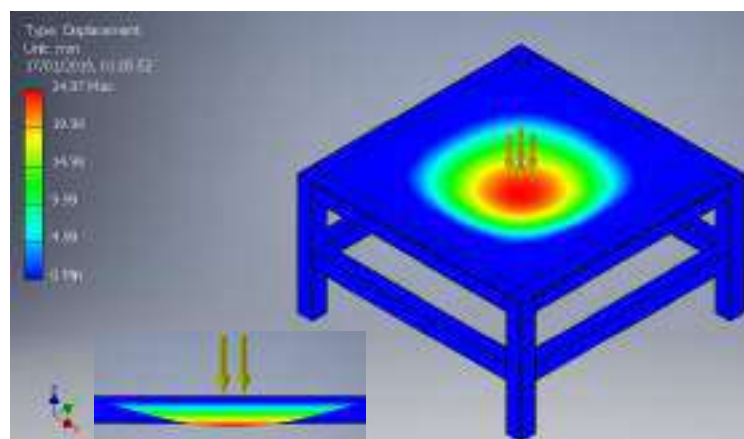


Figura B.20.2. Deflexión de la mesa de trabajo para una carga de acéré de 50 mm de espesor  
Fuente: Elaboración propia con Inventor 2019®

**2. Deflexión de vigas de soporte de componentes:** El sistema de movimiento se encuentra ensamblado dentro de una estructura protectora de planchas de acero acanalada lo cual permite mayor rigidez para soportar la deflexión producto de su propio peso y del

cabezal móvil. En la figura **B.21.1** se aprecia la deformación en el sistema Y la cual es mínima con 0.294 mm como máximo.

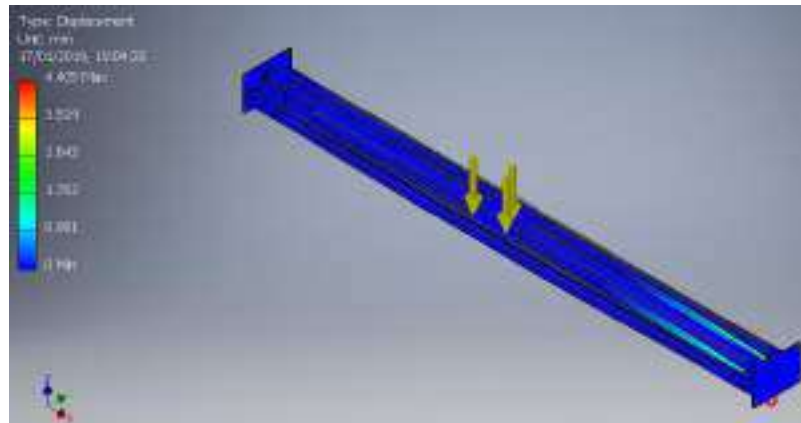


Figura **B.21.1** Deflexión de la estructura Y por su propio peso y del cabezal de corte  
Fuente: Elaboración propia con Inventor 2019®

El esfuerzo máximo es de 13.133 MPa presente en los extremos de sujeción del eje y de la estructura acanalada esto indica un F.S. de 19.028 para el cobertor.

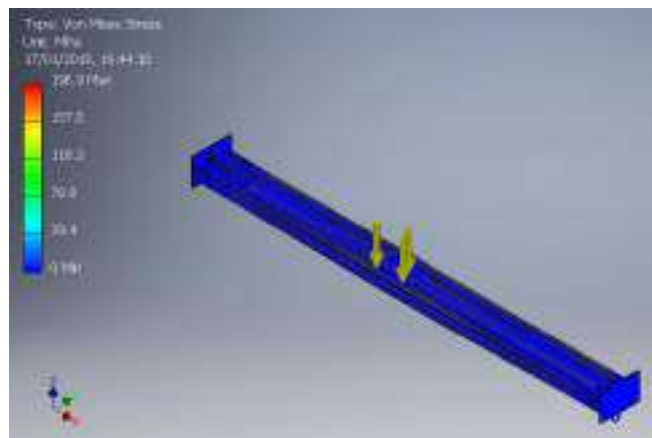


Figura **B.21.2** Deflexión de la estructura acanalada de soporte y eje roscado  
Fuente: Elaboración propia con Inventor 2019®

El sistema es confiable para la carga estática que presenta se recomienda evaluar la resistencia ante impactos no previsto sobre los elementos de protección.

**A.1.7 Sistemas digitales:** Se considerarán los criterios necesarios para seleccionar de forma coherente el microcontrolador para la máquina de corte, se conoce el PLC SIMATIC S7-1200 de Siemens®, el controlador industrial CIAA NXP de CIAA®, el

microcontrolador ATmega 88P de ATMEL® (Figura A.22) y los módulos FPGA MAX 10 de ALTERA®.

El primer dispositivo presenta un costo mayor a S/.1000.00, ocupa un mayor espacio y requiere de comprar la licencia del programa TIA Portal™ para programarlo, el segundo es de fabricación Argentina y es especializado para máquinas CNC industriales mas requiere para su programación el uso del lenguaje Java® en el IDE



Figura A.2 ATmega 88p, PDIP  
Fuente: ATMEL®

Eclipse® lo cual no permite su fácil integración con la programación utilizada en lenguaje C++, el tercero es de bajo costo cerca de S/.10.00 se conoce su funcionamiento por aprendizajes previos, su IDE es de descarga gratuita y se puede integrar con módulos externos de bajo costo, el cuarto posee también un bajo costo cerca S/.100.00 incluido el módulo de prueba se conoce su programación en lenguaje Verilog HDL en Quartus II Prime® más se requiere de un módulo especializado para la aplicación propuesta lo cual implica fabricar una tarjeta PCB para el controlador Intel® MAX® 10, esto encarece su uso. Se escoge el tercer controlador por su menor costo tanto incluyendo el de sus periféricos, y su menor volumen que ocupa en el tablero de control. En la tabla A.13 se describen su forma de aplicar al diseño.

Tabla A.13 Características y aplicación del ATmega 88P al corte plasma automático

	<b>Característica</b>	<b>Utilidad para el diseño actual</b>
<b>Nombre</b>	ATmega88P empaque PDIP	Permite un menor costo de fabricación de la PCB
<b>Fabricante</b>	Microchip®	Fabricante mundial, costo mínimo por venta a gran escala
<b>Características</b>	Posee arquitectura RISC, memoria FLASH 8Kb, 512 Bytes de EEPROM, registros de 32x8, reloj de 20MHz	Permite almacenar un programa de longitud media suficiente para el corte de 50 figuras diferentes en una misma plancha.
<b>Comunicación</b>	Convertidor ADC de 6 canales, USART, SPI, T2W y 4 interrupciones. 28 Pines, 23 pines I/O	Se puede comunicar con dos controladores TMCM 6011 para los motores a pasos y con algunos sensores

Tabla B.13 (continuación)

	Característica	Utilidad para el diseño actual
<b>Energía</b>	2.7-5.5 V para 0-10 MHz 4.5 -5.5 V para 0-20MHz	Se alimenta con un fuente de 5VDC
<b>Temperatura</b>	-40 a 85 C°	Permite el trabajo en ambientes de producción industrial
<b>Otros</b>	Se utilizan dos controladores por necesidad de entradas y salidas Se los colocará en una PCB diseñada según se requiera.	Ocupa un área de 30 x30 cm para la tarjeta diseñada. La comunicación entre cada uC es por los puertos Tx y Rx.

**2. Compatibilidad de comunicación entre sensores, actuadores y controladores:**

Después de seleccionar los elementos de control se procede a verificar su compatibilidad en la transmisión de señales, fuentes de energía y programación:

- **Control:** 2 ATmega88P, 2 TMCM6011, 1 XP THC 100III (incluye 1 motor DC, 2 switches, un sensor IHS, tarjeta divisora de voltaje, módulo de control, sistema móvil Z)
- **Actuadores:** 2 Motor PD60-3-1161, bomba centrífuga, ventilador centrífugo
- **Sensores:** 4 limitadores de carrera GLA01C y 4 pulsadores, 2 termistores ES120-0021, una luz indicadora.
- **Energía:** Fuente de 24 VDC y 5VDC. Se observa en la figura A.23 la verificación

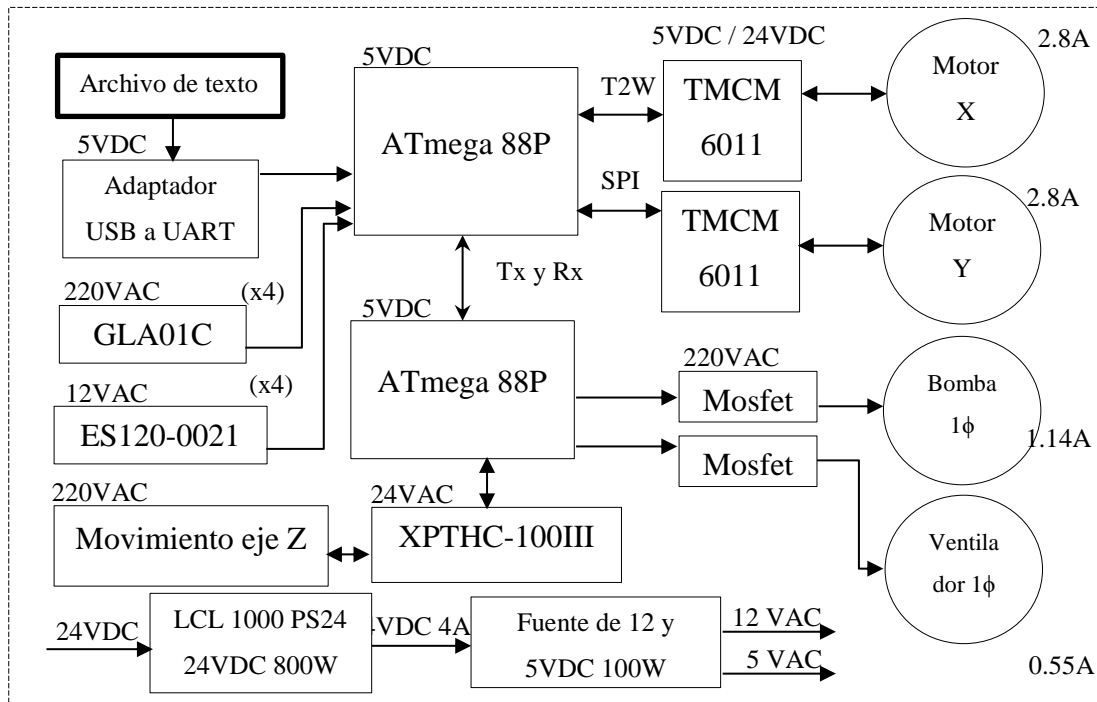


Figura B.23 Comunicación, alimentación y consumo entre componentes  
Fuente: Elaboración propia

**A.1.8 Electrónica básica:** Se realizan los esquemas de los convertidores DAC, etapas de potencia y fuentes de alimentación.

**Características de componentes electrónicos:**

Se diseñan dos fuentes de energía de 12 y 5 VDC a partir de la tensión de entrada de 220VAC 60 [Hz], se seleccionan componentes comerciales por lo que las corriente de carga máxima ( $I_L$ ) de cada fuente es de 0.2 y 0.5 [A] para un requerimiento establecido de 0.026 y 0.120 [A] respectivamente. Se observa en la figura A.24.1 el esquema eléctrico de las fuentes y los componentes requeridos para su fabricación.

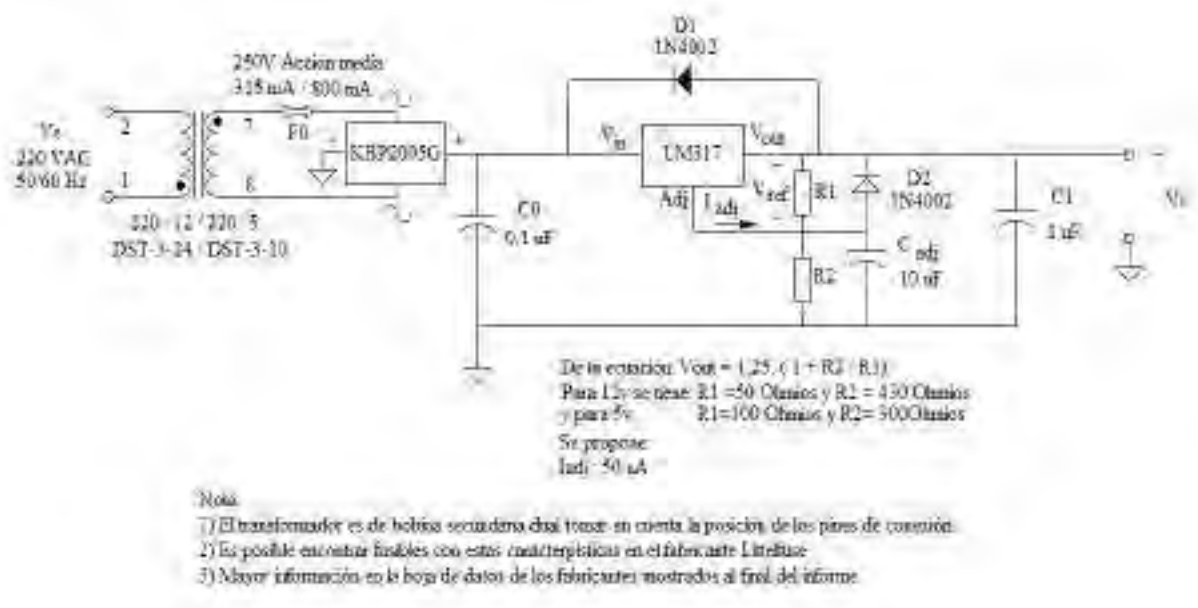


Figura A.24.1 Fuente de 12 VDC (2.4W) y 5VDC (2.5W) tomada del plano eléctrico C3-A2 Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado para el diseño de la DAC se propone el valor de 8 bits por palabra digital para la lectura de la temperatura en el termistor (ya que así es el interfaz con el controlador ATmega 88P, su modelo se observa en la figura A.24.2

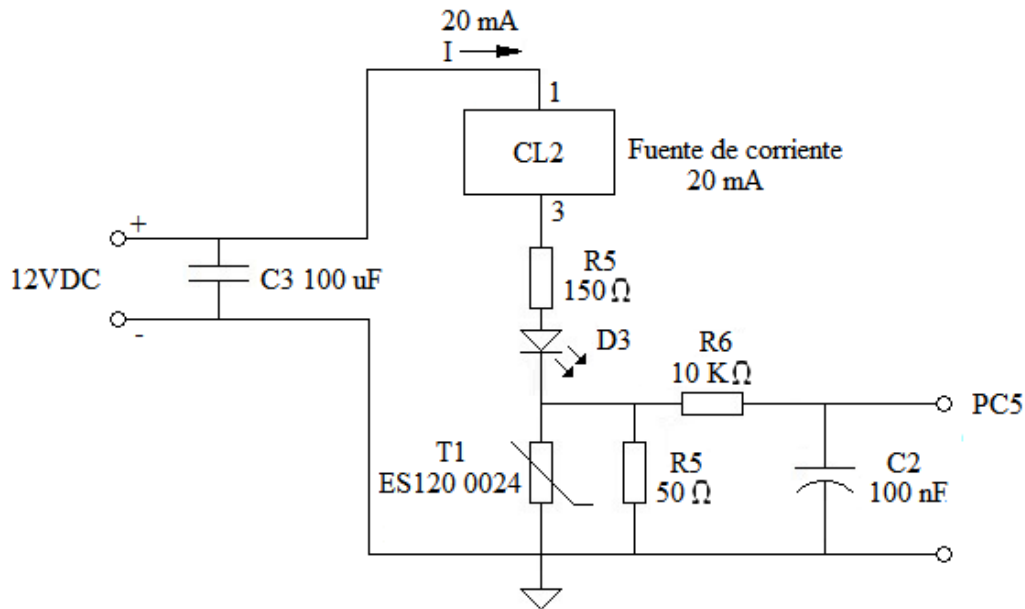


Figura A.24.2 Energía y acondicionamiento de señal de termistores tomada del plano C3-A2  
Fuente: Elaboración propia

## A.1.9 Circuitos eléctricos

### 1. Potencia requerida por componente y selección de fuente de poder de 24V:

Cada componente eléctrico y mecánico consume una cantidad de corriente alterna o continua, según se le exija, se calcula la corriente consumida a través de la potencia del equipo y de la tensión de conexión. Los componentes con circuitos electrónicos consumen entre 0 y 20 mA, lo cual equivale a una potencia en Watt despreciable. En la tabla B.14 se observan los consumos y el cálculo de cada componente del sistema.

**Tabla B. 14** Potencia eléctrica requerida por componentes

C	COMPONENTE	TENSIÓN (V)	FLUJO (A)	POTENCIA $P = V \cdot I$ (W)	POTENCIA POR TENSIÓN
1	Ventilador centrífugo GF-1.3-I	220	0.545	120	563.2
1	Bomba de agua CPM600	220	1.68	370	
1	Fuente de 24VDC	220	0.27	60	286.8
3	Diodos LED	220	20mA	13.2	
2	Motor a pasos PD60-3-1161	24	2.8	134.4	
1	Convertidor A/D	24	20mA	0.48	
2	Controlador TMCM 1161	24	1.12	53.76	
1	Módulo XPTHC-100III	24	4	96	
4	Sensor de fin de carrera GLLC01C	24	$10 \times 10^{-3}$	0.96	
	Otros componentes en módulo de entrada y salida de información	24	50mA	1.2	
2	Termistor ES120 0024	12	$6 \times 10^{-3}$	0.144	
1	Pantalla indicadora	12	20mA	0.24	
2	Microcontrolador ATMEGA 88P	5	$(20 \times 10^{-3})$	(0.2)	(0.3)
	Otros: FT232RQ, DAC y componentes electrónicos	5	$(100 \times 10^{-3})$	(0.1)	
	Corrientes de pérdidas en conductos y parásitas (5% del total)		10.66 x 0.05		850.68 x 0.05
<b>CONSUMO DE FUENTE 24VDC</b>					<b>301.86 Watt</b>
<b>CONSUMO MÁXIMO</b>					<b>893.22 Watt</b>

Fuente: Elaboración propia

El consumo calculado en la fuente de 24 VDC es de 301.86 W, luego como la eficiencia es del 88% y considerando un FS de 1.5 se obtiene el valor necesario de 514.53 Watt, se selecciona una fuente comercial de 500W y se recalcula el F.S a 1.45. El producto del fabricante XPower® conveniente es el convertidor AC-DC LCL 500 PS24 de 500W.

## 2. Consumo eléctrico de la máquina:

Se refiere a la energía eléctrica que consume el sistema para operar de forma correcta con todas sus funcionalidades se utiliza como base el sistema de facturación nacional.

El sistema recibe suministro de corriente alterna a 220 VAC y 60 Hz, se requiere de un tomacorriente industrial que obedezca la norma IEC 60 309-2-4 el cual admite el ingreso desde 16 hasta 125 A y 50 a 690 VAC. Se escoge el enchufe de la empresa ABB de código

216P6W por ser un enchufe industrial de IP 67. El consumo de la máquina durante 8 horas diarias, 6 días a la semana durante un mes genera un consumo de 192.94 kWh o 0.80 kW-mes.

Se calcula a partir de la tarifa para la venta de energía eléctrica de ENEL DISTRIBUCIÓN PERÚ S.A.A zona LIMA NORTE, publicado el 31/10/2018 (ENEL, 2018)

- **Instalación de baja tensión:** Tarifa BT5B no residencial o residencial: S/. 0.58 por kWh, luego el costo del consumo es: **S/. 111.91** sin incluir alumbrado público, cargos fijos y otros aportes.
- **Instalación de media tensión:** Tarifa MT4: S/. 0.24 por kWh, luego el costo del consumo es: S/. 46.31, considerando el consumo de potencia activa de generación y en las redes de distribución se obtiene **S/. 126.81**, el sistema no presenta bobinas de gran capacidad por lo que el consumo de energía reactiva se considera despreciable.

**A.1.10 Máquinas eléctricas:** Se explica el cálculo y selección los motores principales y su forma de control planteadas desde la vista de circuitos eléctricos.

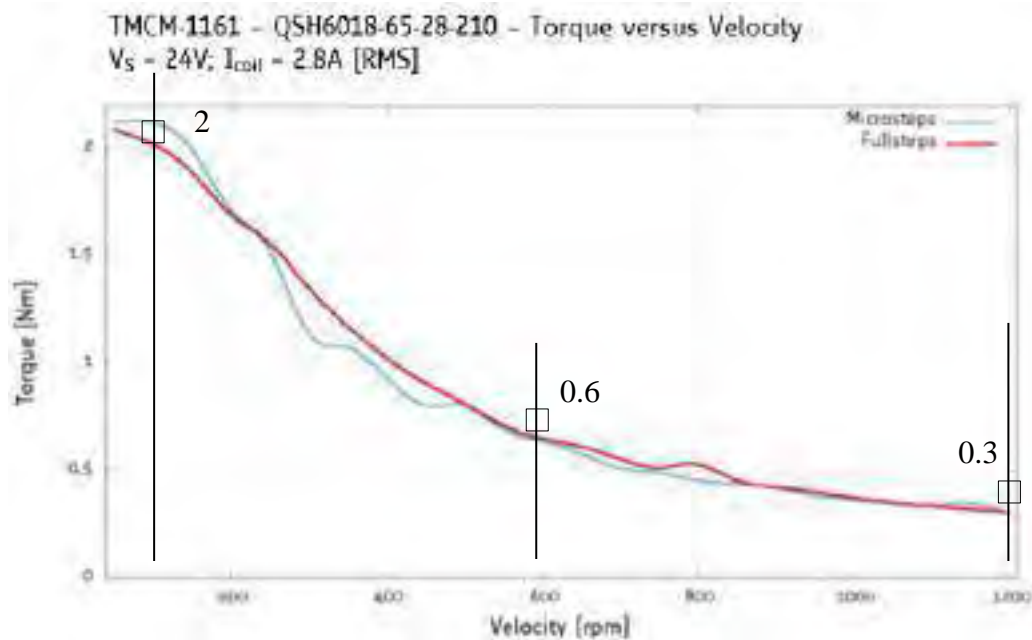
**1. Selección de motor a pasos:** Se requiere de un motor que permita el control de posición y velocidad con exactitudes de 0.1 mm y 0.01m/s respectivamente además que sus controles posean precios de máximo S/. 200.00 cada uno, por esto se prefiere los motores a pasos a los de corriente continua o alterna síncronos. Entre estos se escoge el de imán permanente por su mayor torque producido frente al motor de reluctancia. Luego de selecciona modelos del fabricante Trinamic Motion Controller®  
Se busca un motor con las siguientes características

**Tabla A. 15** Velocidad vs. torque requeridos para motor

Velocidad (rev/min)	Torque N.m	Explicación
Alta : 1200-1800 RPM	0.3	Movimiento solo de transporte sin cortar
Media: 600 RPM	0.6	Velocidad esperada de trabajo
Baja: 30 -100 RPM	2	Trabajos de taladrado o fresado

**Fuente:** Elaboración propia

El modelo seleccionado es el PD60-3-1161 su diagrama de velocidad vs. torque se muestra en la figura **A.25**



**Figura A.23.0** Diagrama de torque vs. velocidad del motor PD60-3-1161  
Fuente: Adaptado de (TMC, 2014, p.13)

Se observa de la gráfica que el motor propuesto cumple con las posiciones requeridas

El motor seleccionado es de construcción híbrida y de dos polos, cuenta con 200 pasos por revolución y un controlador TMC 1161 el cual posee un microcontrolador interno programable con un lenguaje propio del fabricante y un contador de giros

magnético además interfaces RS 232 y RS485. El modelo posee 4 conductos de control de entrada.

Para calcular el número de pulsos según velocidad requerida se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{W}{60} \cdot (200) = P_m \quad (\text{a.72})$$

Donde:

**W:** Velocidad angular rpm

**P<sub>m</sub>:** Cantidad de pulsos por segundo a enviar al motor *pulsos/s*

**Por ejemplo:** si se requiere una velocidad de 1200 rpm esto equivale según la ecuación anterior a 4000 pulsos/s estos pulsos son enviados por el controlador TMC1161 según la velocidad que se requiera.

## 2. Forma de control del motor a pasos:

El viaje del carro guía debido a la fuerza del motor a pasos está limitada por dos pulsadores y para ubicarse en el lugar por defecto utiliza un sensor capacitivo GX-H12A (figura A.26) los cuales se comunican con el controlador principal. Una explicación concisa de los datos de entrada que requiere el TMC1160 se observa en la tabla A.15 los cuales se calculan constantemente para cada nueva ubicación.

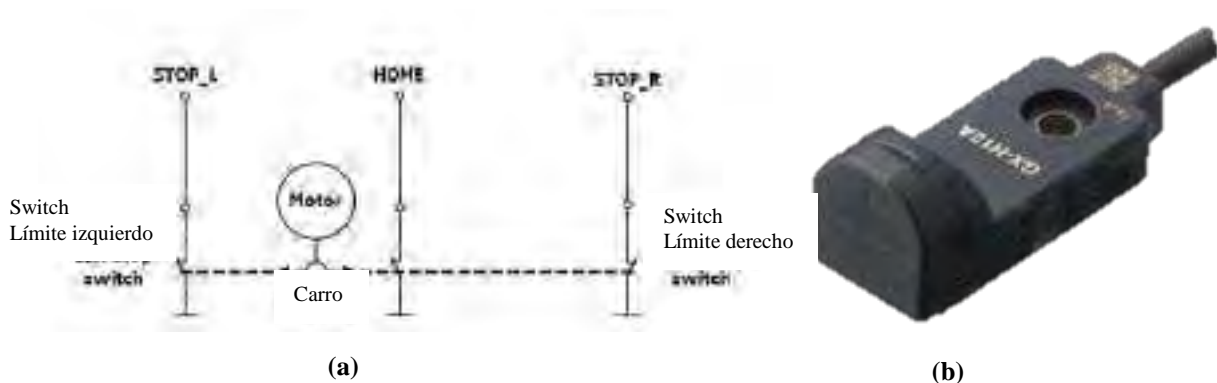


Figura A.26 (a) Esquema de limitación de movimiento (b) sensor capacitivo GX-H12 Fuente: TMC® y Panasonic®

Tabla A. 15 Parámetros del TCM 6011 Fuente: Adaptado de TRINAMIC®

Señal	Descripción	Rango
$f_{clk}$	Frecuencia del reloj	16MHz
<b>velocity</b>	Velocidad	De 0 a 2047
<b>a_max</b>	Aceleración máxima	De 0 a 2047
<b>pulse_div</b>	Divisor de velocidad, 0 es para el máximo valor	De 0 a 13
<b>ramp_div</b>	Divisor de aceleración, 0 es para el máximo valor	De 0 a 13
$U_{srs}$	Resolución de micropaso ( $2^{U_{srs}}$ )	De 0 a 8

En el cálculo se requieren las fórmulas del fabricante (TRINAMIC, 2013, p. 21) las cuales son:

$$usf[Hz] = \frac{f_{CLK}[Hz].velocity}{2^{pulse\_div}.2048.32}, \quad \text{frecuencia en micropasos} \quad (\mathbf{a.73})$$

$$fsf[Hz] = \frac{usf[Hz]}{2^{usrs}}, \quad \text{frecuencia en pasos completos} \quad (\mathbf{a.74})$$

$$a = \frac{f_{CLK}^2.a_{max}}{2^{pulse\_div+ramp\_div+29}}, \quad \text{aceleración para micropasos} \quad (\mathbf{a.75})$$

$$af = \frac{a}{2^{usrd}}, \quad \text{aceleración para pasos completos} \quad (\mathbf{a.76})$$

Se conoce también de los movimientos MRU y MRUV que  $e = v \cdot t$  y  $a = \frac{v_f - v_0}{t}$

Para el cálculo de los pulsos por segundo en el motor X e Y ( $P_x$  y  $P_y$ ) a ser emitidos por cada controlador se obtiene a partir de las ecuaciones del fabricante la expresión:

$$(P_X, P_Y) = \frac{(X_{t+1} - X_t, Y_{t+1} - Y_t) \cdot Paso_{motor} \cdot V_C}{Paso_{eje\ rosca} \cdot \sqrt{(X_{t+1} - X_t)^2 + (Y_{t+1} - Y_t)^2}} \text{ pulsos/s} \quad (\mathbf{a.77})$$

Para el cálculo del parámetro *velocity* se desprende la siguiente expresión:

$$(velocity_X, velocity_Y) = \frac{(P_X, P_Y) \cdot 2^{pulse\_div} \cdot 2^{usrs} \cdot 2048.32}{16 \times 10^6} \text{ Hz} \quad (\mathbf{a.78})$$

Esta cantidad de pulsos lo emite durante t segundos donde

$$t_s = \frac{\sqrt{(X_{t+1} - X_t)^2 + (Y_{t+1} - Y_t)^2}}{V_c} \text{ s} \quad (\text{a.79})$$

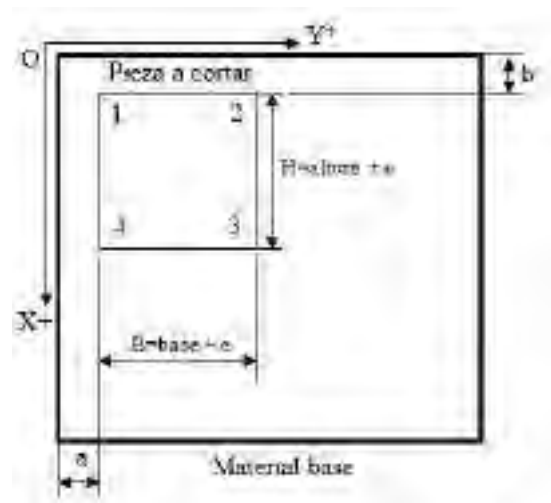
Luego estos valores cambian por los siguientes calculados por cada posición nueva y así sucesivamente cada tiempo t. Para moverse de forma continua y sin interrupciones también se controla la aceleración para este caso es una figura cuadrada y en las esquinas se requiere de velocidad cero. Se calculan los parámetros relacionados:

Se halla la expresión siguiente para la aceleración a partir de las ecuaciones anteriores:

$$(a_{max_x}, a_{max_y}) = \frac{(P_X, P_Y) \cdot 2^{pulse\_div} \cdot 2^{ramp\_div} \cdot 2^{usr_s} \cdot 2^{29}}{t_{aceleración} \cdot (16 \times 10^6)^2} \text{ Hz/s} \quad (\text{a.80})$$

Se describe un ejemplo el cual es la continuación del proceso de control mostrado en la figura A.4.17 presente en el documento principal: Se recibe el siguiente código para el corte de un cuadrado, se indica la velocidad de corte ( $V_c$ ) = 10 mm/s

<p>a, 5, b, 5, e, 3  1, 5, 5; 2, 5, 33; 3, 43, 33; 4, 43, 5  1, X<sub>t</sub>, Y<sub>t</sub>; 2, X<sub>t+1</sub>, Y<sub>t+1</sub>; 3, X<sub>t+2</sub>, Y<sub>t+2</sub>; 4, X<sub>t+3</sub>, Y<sub>t+3</sub></p>
---



(a)

(b)

Figura A.27 Codificación CP-50 para una figura cuadrada  
Fuente: Elaboración propia

Para este código los primeros valores de X e Y serían:  $X_t = 5$ ,  $X_{t+1} = 5$ ,  $Y_t = 5$  y  $Y_{t+1} = 33$ , luego con la ecuación **a.77** se tiene:  $(P_X, P_Y) = (0, 250)$  pulsos/s

Se escoge para *pulse\_div*: 2 y para *usrs*: 8 para obtener un valor en el rango permitido de velocity y con la ecuación **a.78** se obtiene:

$$(velocity_X, velocity_Y) = (0, 1048.58) \text{ Hz}$$

Con la ecuación **a.79** se calcula el tiempo que durará este valor:  $t_s = 3.3$  s.

Para el tiempo de aceleración se propone el 1% del tiempo de duración del movimiento o como máximo 1 segundo. La aceleración requerida para ir desde 0 mm/s a 10mm/s en un tiempo de 0.033s es: 7575.75 pulsos/s<sup>2</sup> con la ecuación **a.80** se obtiene el parámetro *a\_max*, luego se escoge para *ramp\_div* por razones semejantes a las de *ramp\_div* y *usrs* los cuales permanecen constantes para las demás posiciones. Se tiene:

$$(a_{max_X}, a_{max_Y}) = (0, 130.15) \text{ Hz/s}$$

En la tabla **A.16** se presentan los parámetros a introducir en cada controlador TMC6011 para el corte del cuadrado.

Tabla A.16 Parámetros de movimiento según posición

Posición a dirigirse	Velocity x (Hz)	Velocity y (Hz)	A_max x (Hz/s)	A_max y (Hz/s)	Velocity_div	Ramp_div	usrs	F_clk (MHz)
De 0 a 1	187.25	187.25	23.24	23.24	2	3	8	16
De 1 a 2	0	1048.58	0	130.15	2	3	8	16
De 2 a 3	1048.58	0	130.15	0	2	3	8	16
De 3 a 4	0	(-)1048.58	0	(-)130.15	2	3	8	16
De 4 a 1	(-)1048.58	0	(-)130.15	0	2	3	8	16

Nota: (-) indica velocidad en retroceso, se tiene un parámetro para invertir la dirección

Fuente: Elaboración propia

## A.2 Detalles técnicos de los parámetros de corte y uso de la cortadora plasma:

Se conocen distintos fabricantes de cortadoras plasmas de uso manual o automatizable desde 1mm hasta 15 mm de forma más difundida y de 1 a 65mm entre las más costosas y de mayor potencia. Entre las marcas conocidas y en el mercado nacional se seleccionan sus modelos más económicos los cuales se observan en la figura A.28



Figura A.28 Máquinas cortadoras manuales que pueden ser acopladas al sistema

Fuente: De izquierda a derecha y de forma descendente: Hypertherm®, Lincoln Electric®, ESAB® e Indura®.

De estos modelos se encuentra que existen modelos de capacidad de corte de 50 mm en los modelos del fabricante Hypertherm® en la línea Powermax®, la máquina diseñada permite automatizar los modelos desde Powermax 45® hasta 125 mas es compatible para los demás modelos mostrados en la figura A.28. Para otros modelos se debe de analizar su forma de

automatizar y realizar las modificaciones en las conexiones además de diseñar un sistema de sujeción o encendido que se adapten al terminal de corte que se posee.

Para la programación de la máquina diseñada son necesarios algunos parámetros del fabricante para el corte más óptimo, se muestra en la tabla **A.17** los valores para el modelo Powermax 125® con capacidad de corte hasta de 57mm.

**Tabla A.17** Velocidad de corte según espesor

Capacidad	Espesor (mm)	Velocidad de corte (mm/min)
Recomendada	38	457
	44	250
Severo (Corte manual)	57	125

**Fuente:** Adaptado de Hypertherm, 2018, p. 1

**Tabla B.18** Ancho de ranura corte según material y espesor

Material	Proceso	Espesor (mm)												
		0.5	1	2	3	6	10	12	20	25	30	32	35	40
Acero dulce	125 A					2.2	2.4	2.4	2.8	3.1	3.6	3.8	3.9	4.1
	45A	1.6	1.4	1.3	1.5	1.6								
Acero inoxidable	125 A					1.9	2.4	2.6	2.7	3.1	3	3	3.2	3.6
Aluminio	125 A					2.3	2.6	2.6	2.9	2.8	2.9	3	3.3	3.7

**Fuente:** Adaptado de Hypertherm, 2013, p. 74

También es necesario conocer la velocidad de corte y el voltaje necesario para cada material según su espesor, en las tablas siguientes se indican estos valores para para un distancia de antorcha fija de 4.6 mm y para acero dulce e inoxidable, ver del aluminio en hojas de datos del fabricante.

**Tabla B.19** Velocidad de corte según material y espesor para acero dulce

<b>MATERIAL: ACERO DULCE</b>							
<b>Presión de aire frío: 260 litros/minutos, caliente 345 litros/minutos</b>							
<b>Espesor</b>	<b>Distancia entre antorcha y pieza</b>	<b>Altura inicial de perforación</b>	<b>Tiempo de demora</b>	<b>Mejor calidad</b>		<b>Mayor producción</b>	
<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(s)</b>	<b>Velocidad de corte</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Velocidad de corte</b>	<b>Voltaje</b>
				<b>(mm/min)</b>	<b>(voltios)</b>	<b>(mm/min)</b>	<b>(voltios)</b>
<b>6</b>			0.2	4980	158	5960	155
<b>8</b>		9.2	0.3	3800	158	4570	157
<b>10</b>		(200%)	0.4	2750	158	3330	158
<b>12</b>	4.6		0.5	2050	157	2510	157
<b>16</b>			0.6	1260	162	1660	164
<b>20</b>		11.5	2.0	980	165	1140	164
<b>25</b>		(250%)	3.5	610	169	780	167
<b>30</b>		Comenzar		460	169	580	167
<b>32</b>		bajo y elevar	1.0	400	174	500	172
<b>35</b>		la altura		340	177	430	175
<b>40</b>				240	180	310	178

**Fuente:** Adaptado de Hypertherm, 2013, p. 77

**Tabla B.20** Velocidad de corte según material y espesor para acero

<b>MATERIAL: ACERO INOXIDABLE</b>							
<b>Presión de aire frío: 260 litros/minutos, caliente 345 litros/minutos</b>							
<b>Espesor</b>	<b>Distancia entre antorcha y pieza</b>	<b>Altura inicial de perforación</b>	<b>Tiempo de demora</b>	<b>Mejor calidad</b>		<b>Mayor producción</b>	
<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(s)</b>	<b>Velocidad de corte</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Velocidad de corte</b>	<b>Voltaje</b>
				<b>(mm/min)</b>	<b>(voltios)</b>	<b>(mm/min)</b>	<b>(voltios)</b>
<b>6</b>				5910	156	7690	157
<b>8</b>		9.2		4060	157	5550	157
<b>10</b>		(200%)	0.5	2540	159	3700	157
<b>12</b>				2170	163	2710	157
<b>16</b>	4.6		0.7	1140	165	1460	162
<b>20</b>		11.5	1.2	940	167	1030	163
<b>25</b>		(250%)	1.0	540	172	760	166
<b>30</b>		Comenzar		430	173	640	166
<b>32</b>		bajo y elevar	1.1	400	177	600	169
<b>35</b>		la altura	1.2	320	180	450	173
<b>40</b>				180	185	210	179

**Fuente:** adaptado de (Hypertherm, 2013, p.78)

Recomendaciones de uso para las cortadoras plasmas:

### **A Solución para el no encendido o apagado del arco plasma:**

Las causas de este inconveniente son:

- Consumibles deteriorados o en el fin de su vida (Tobera, electrodo o difusor)
- Presión de aire más alta de la recomendada
- Potencia de corte seleccionada insuficiente.

### **B. Forma de encendido de la antorcha de uso manual:**

El encendido automático de la antorcha manual (figura A.29 ) es mediante un mecanismo que sigue el procedimiento de los dedos de la mano para el encendido normal, la antorcha de mecanizado (figura A.29) no requiere encenderse, su ignición se controla desde la máquina cortadora plasma.



Figura A.29 Terminales de corte por plasma (a) Uso manual (b) Uso mecanizado

Fuente: adaptado de Hypertherm, 2013, p.1

El encendido con la mano se realiza como se indica en la hoja de datos del producto mostrado en la figura A.30.

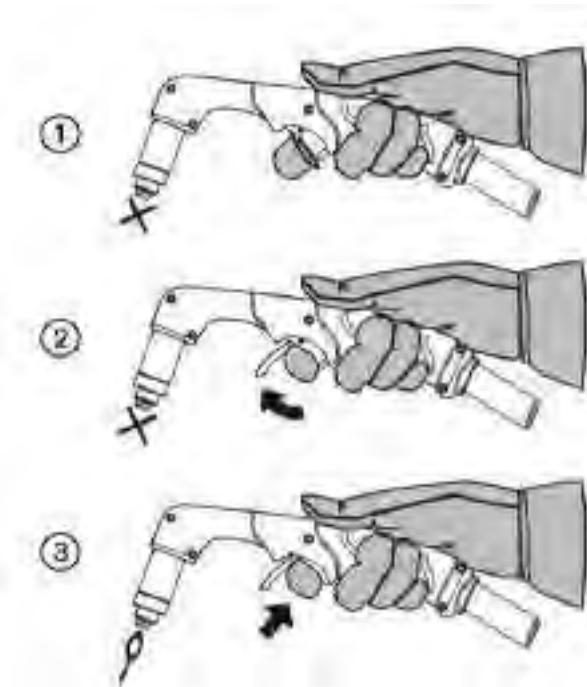


Figura A.30 Procedimiento para el encendido manual Fuente: Hypertherm®

**C. Cambio de consumibles:** Para el corte plasma se requiere cambiar cada tiempo determinado uno o los cuatro consumibles presenten en el interior del terminal, esto se debe y varía según las siguientes causas:

- La forma de encender el arco plasma
- Velocidad de corte mayor a la recomendada
- Cercanía a la pieza de trabajo menor a la óptima o contacto directo
- La presión de gas suficiente
- Encendidos de prueba no necesarios

En la figura A.31 se observan los consumibles del fabricante para los modelos Powermax 125® y 45® para la el terminal de antorcha automatizable.

**Mechanized shielded 105 A/125 A consumables**



220076  
Shield



220077  
Retaining cap



220075  
Nozzle



220087  
Swirl ring



220071  
Electrode



**Mechanized shielded 45 A and 65 A consumables**



420168  
Shield



220077  
Retaining cap



420158 (45 A)  
420169 (65 A)  
Nozzle



220087  
Swirl ring



220071  
Electrode



Figura A.31 Consumibles del terminal de corte plasma Fuente Hypertherm®

.....

## **Anexo C Metodología utiliza y cinco soluciones propuestas:**

Se desarrolla la metodología de diseño transmitida en el curso MTR240 Metodología del diseño mecatrónico la cual se basa en los estándares VDI 2221 y VDI 2222 en el que se utilizó el material titulado Métodos de diseño en ingeniería mecatrónica como libro guía (Barriga, 2013).

### **C.1 Estructura de funciones.-** División de la estructura total en cuatro dominios.

#### **1. Descripción del trabajo del dominio mecánico:**

La chapa de metal, tubos, perfiles o componentes se colocarán sobre una plataforma, se verificará que esté en la posición correcta, el estado del metal, el tipo metal, el espesor. Luego se encenderá la herramienta para cortar el cual determinará la altura adecuada para el corte del material, la velocidad, el tiempo y la posición de inicio de corte. Luego se verificará que el material esté en la posición correcta. Seguidamente se encenderá la herramienta de corte. Luego se dirigirá a la posición de inicio. Como siguiente paso la herramienta de corte seguirá las trayectorias establecidas que permitan obtener las figuras solicitadas. Luego se continuará con el corte del material hasta terminar, durante el corte del material se retendrá las emisiones

y de partículas en contenedores y serán conducidos a un lugar de almacenamiento o de limpieza. Después de terminado el corte de la última pieza se desplaza la herramienta de corte y luego se la coloca en la posición de espera (un lugar alrededor de la pieza cortada) luego se esperará una señal de que el trabajo ha sido terminado y seguidamente se retirarán las piezas cortadas y se colocarán en un lugar de almacenamiento o recepción. Después de terminado el corte el metal restante será retirado en otro lugar de almacenamiento. Luego se dispondrá a continuar con los siguientes procesos de corte. Se observa el proceso en la figura **B.1**

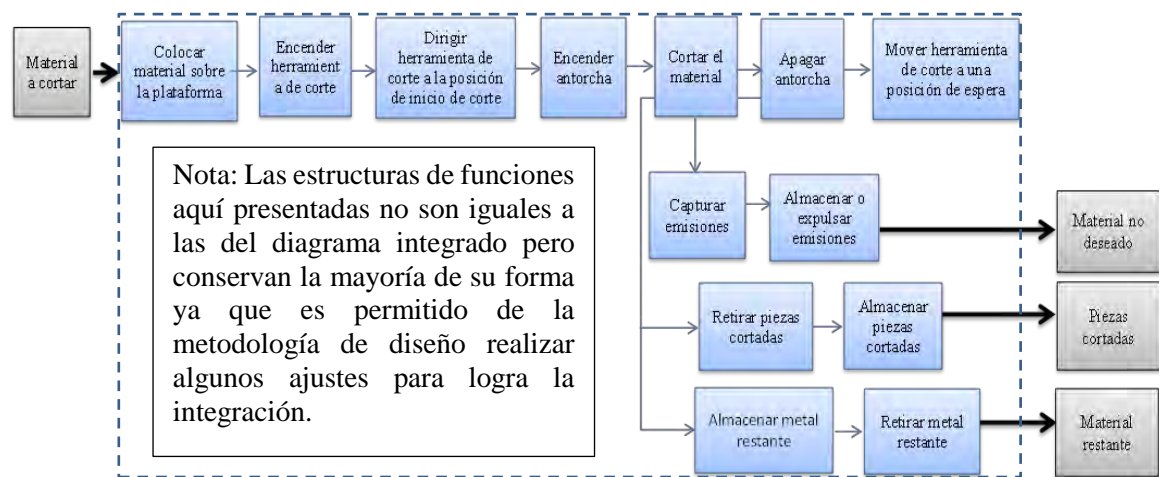


Figura **B.1** Estructura de funciones del dominio mecánico Fuente. Elaboración propia

## 2. Descripción del trabajo del dominio de control e información:

Primero se recibe la información de las características del material a cortar, valores predefinidos, y magnitudes de la pieza a cortar esto se almacena en diferentes lugares de memoria, luego se recibe la información del estado de la herramienta de corte y de la máquina en total se verifica su correcto funcionamiento, luego se recibe la información de las formas de la pieza a cortar, se distribuye su ubicación en el material a cortar y se verifica si es válida. Como actividad siguiente se calcula una trayectoria a seguir considerando las figuras, el espacio que consume la antorcha y el espacio entre estas, las posiciones de movimiento entre

figuras y la posición final después de cortar. Como actividad siguiente se enciende la herramienta de corte y se verifica que los insumos o consumibles se encuentren en correcta posición y luego se da la orden de que se envíen a la herramienta de corte, consecuentemente se envía la herramienta a la posición de inicio de corte, se enciende y se verifica que sus características sean correctas, como pasos siguiente se ordena el movimiento de la herramienta según la trayectoria generada, hasta la posición de descanso después de terminado el corte. Luego se da la orden de apagar la herramienta y se ordena la detención de los insumos.

Se calcula el tiempo empleado en el corte, el desgaste de los consumibles, el consumo de los insumos, consumo eléctrico, se estima el costo del trabajo de corte, y se entrega la información solicitada como el número de piezas cortadas, la forma de estas y se envían señales o información a una base de datos. Al término del proceso se ordena el encendido de señales que indican el término de trabajo.

Durante el proceso de corte se verifican que los valores y las características de los insumo, antorcha y materiales sean los adecuados, si no es así se envía una señal de alertas y se detiene el proceso, luego una persona soluciona el problema e indica que se puede continuar, se revisan las características de la maquina nuevamente y se continua con el proceso de corte. Después de terminado el corte se recibe información de últimas acciones y se ordena a la herramienta colocarse en su posición de inicio o se ordena apagar la herramienta de corte. El proceso se repite para las siguientes piezas a cortar. En la figura **B.2** se observa el diagrama de funciones del dominio de control e información.

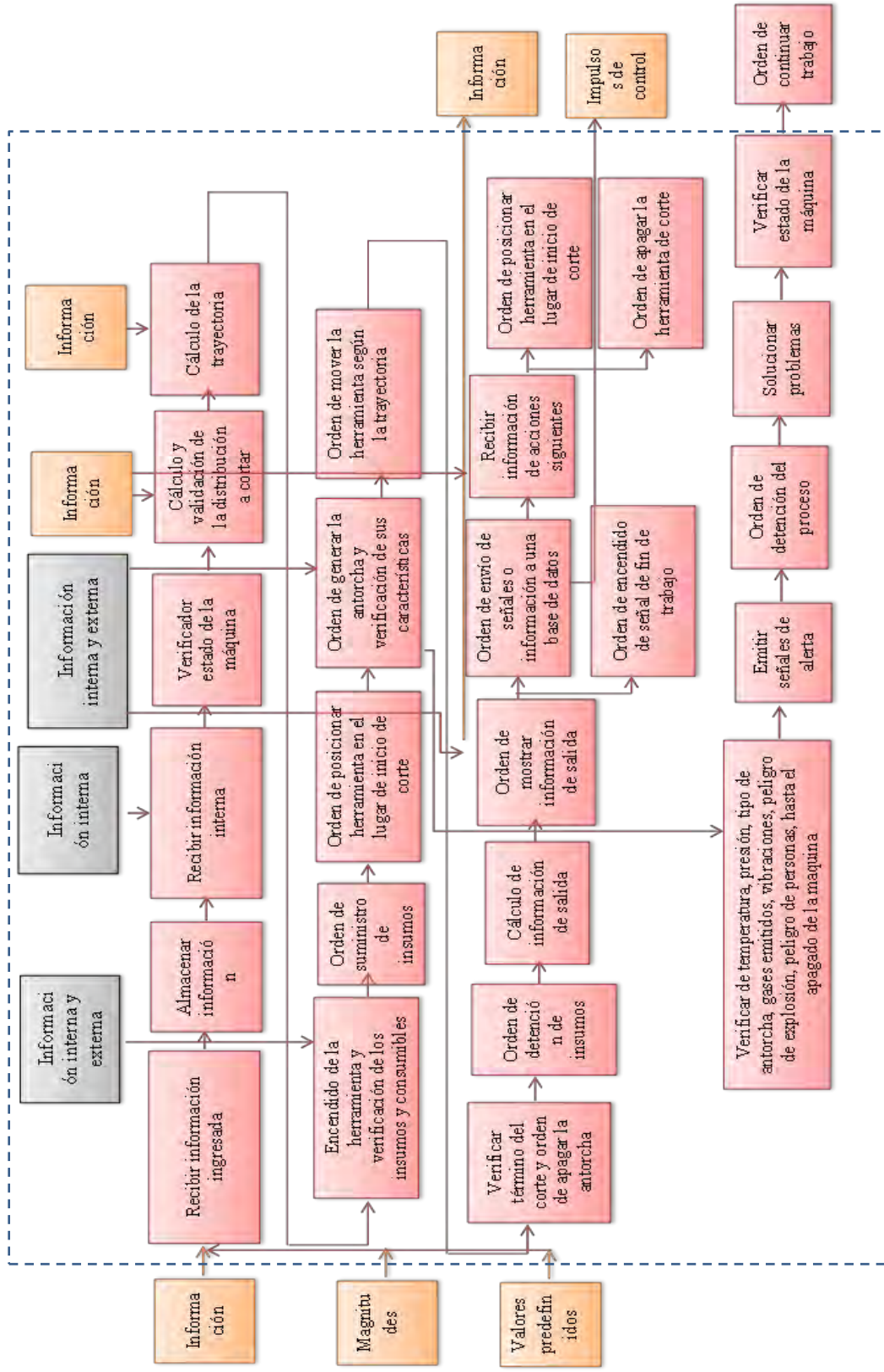


Figura B.2 Estructura de funciones del dominio de control e información Fuente. Elaboración propia

### 3. Descripción del trabajo del dominio eléctrico y electrónico:

Se recibe la energía suministrada y se la estabiliza, acondiciona y transforma para dar energía a la máquina, a los actuadores, sensores, memoria y sistema de control, luego se energiza el sistema, como siguiente paso se analizan las características del sistema y la del material a cortar.

Seguidamente se almacena la información recibida y calculada, se enciende la herramienta de corte y se verifican los insumos y consumibles, luego se suministran estos a la herramienta, y se posiciona en el lugar de inicio de corte, luego se enciende la antorcha y se evalúan las características de esta, luego se mueven los actuadores que moverán la herramienta de corte según la trayectoria definida, se verifica el término del corte y se apaga la antorcha. Como siguiente paso se detiene la alimentación de insumos, se almacena la nueva información calculada y se la muestra, se envía la información a una base de datos y enciende una señal de fin de trabajo.

Después se mueven los actuadores hasta posicionar en el inicio la herramienta de corte, luego se apaga la herramienta de corte. Durante el proceso se miden las variables y se emiten señal si no están correctas, luego se detiene el proceso y se espera que se solucione el problema luego se vuelve a verificar el estado de estas y se continúa el trabajo.

El proceso se mantiene para nuevas piezas a cortar. En la figura **B.3** se presenta el diagrama de funciones del dominio eléctrico-electrónico.

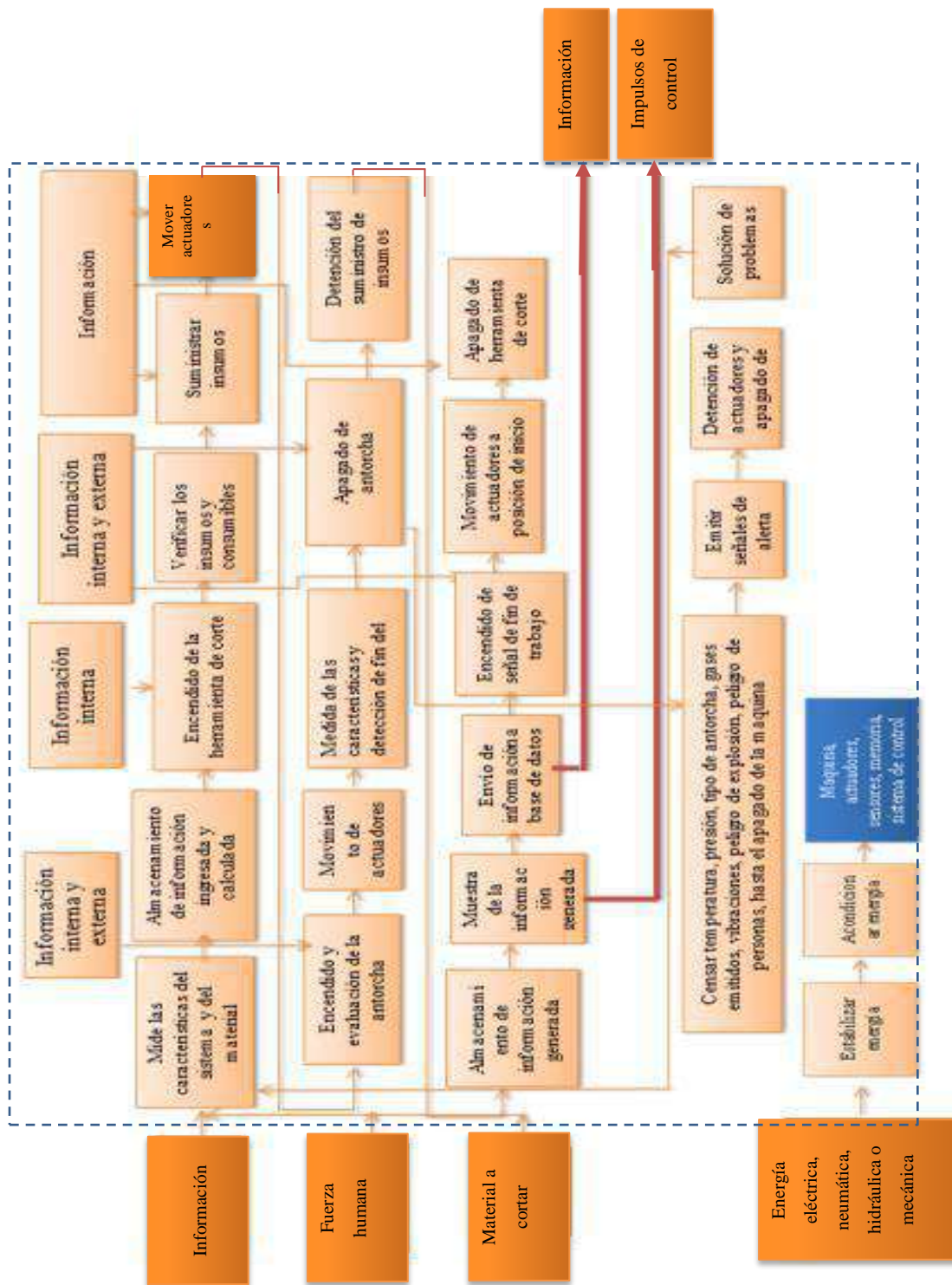


Figura C.3 Estructura de funciones del dominio eléctrico-electrónico Fuente: Elaboración propia

La chapa de metal (entera o una parte), vigas, tubos o piezas a cortar se posicionarán de forma adecuada, se verificará que esté en la posición correcta, el estado del metal, el tipo metal, el espesor y otras características necesarias. Luego se encenderá la herramienta para cortar el cual determinará la

altura adecuada para el corte, el material, la velocidad, el tiempo y la posición de inicio de corte, esto lo realizará a partir de información ya conocida e información que se le indicará. Seguidamente se encenderá la herramienta de corte y se verificará que no haya problemas con esta en los parámetros, en los insumos que necesita, en la temperatura, las emisiones, la intensidad de sonido emitida, las vibraciones, que no exista peligro de explosión y que no haya peligro para las personas cercanas.

Como siguiente paso, calculará la trayectoria a seguir considerando las características de la herramienta de corte, la información conocida y la indicada, esto implica primero conocer las formas de las figuras a cortar o la trayectoria a seguir, luego se distribuir las piezas sobre la chapa de forma que ocupen el menor área posible.

Luego dirigirá la herramienta a la posición de inicio de corte y la verificará. Como siguiente paso se seguirá las trayectorias establecidas que permitan obtener las figuras solicitadas, en esta parte, se seguirá verificando los parámetros de la herramienta, si hubiere algún valor o señal no permitida se procederá a dar una señal de alerta, se detendrá el proceso de corte y una persona solucionará el problema suscitado.

Luego se continuará con el corte del material hasta terminar, durante el corte del material se retendrá las emisiones de gases y de partículas en contenedores y serán conducidos a un lugar de almacenamiento o de limpieza, las radiaciones luminosas serán absorbidas.

Después de terminado el corte de la última pieza se posicionará en otra ubicación diferente sobre la pieza y se apagará la herramienta, luego se mostrará información de salida calculada como el tiempo de demora, el costo de la operación, el número de piezas cortadas, de forma seguida se colocará la herramienta de corte en la posición de espera (un lugar alrededor de la chapa cortada) luego se esperará una señal de que el trabajo ha sido terminado y seguidamente se retirarán las piezas cortadas y se colocarán en un lugar de almacenamiento o recepción. Después de terminado el corte el metal restante será retirado en otro lugar de almacenamiento. Luego se dispondrá a continuar con los siguientes procesos de corte.

## B.2 Matriz morfológica:

Después de haber elaborado el diagrama de funciones por dominios se elaborará un cuadro donde se mostrarán posibles soluciones a cada función que forma parte de la solución del trabajo a realizar.

En la siguiente tabla **B.1** se muestra la morfológica del sistema solicitado a partir de la estructura de funciones general matriz.

Tabla **B.1** Matriz morfológica del sistema a partir de la estructura de funciones general






















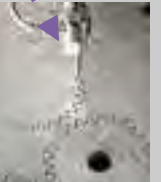
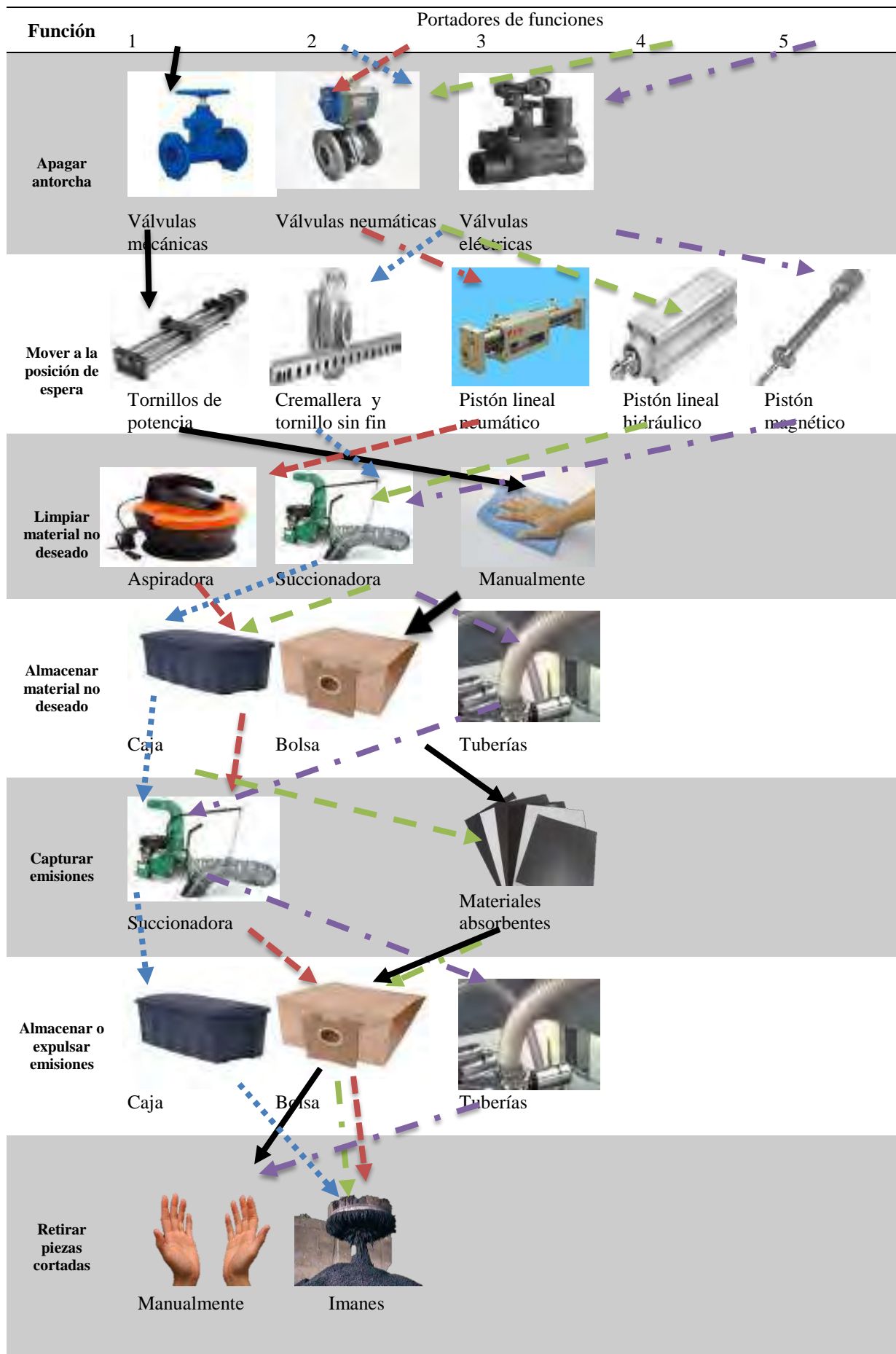
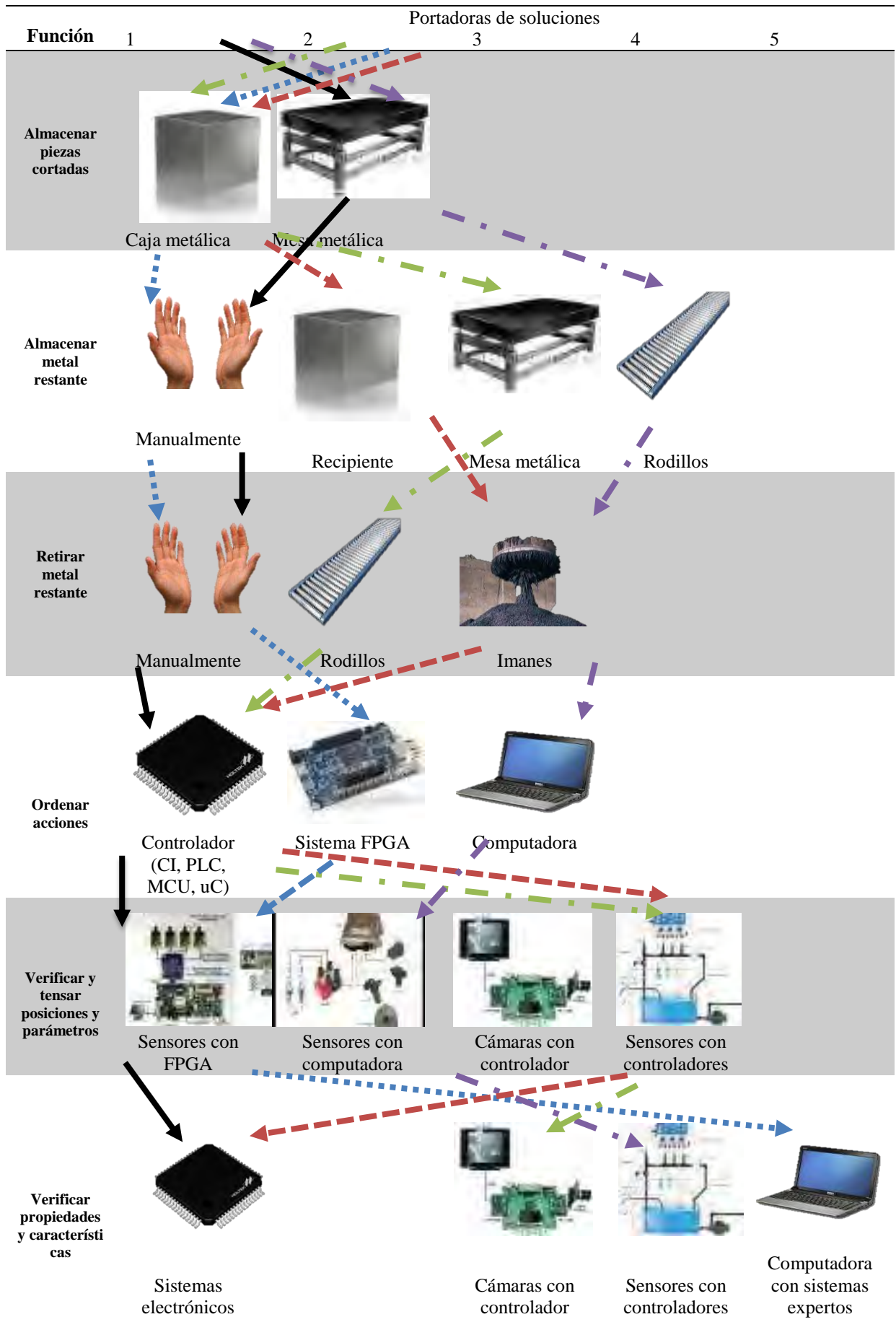
Función	Portadores de funciones				
	1	2	3	4	5
Posicionar material	 Superficie plana y caballetes	 Puntas y barras	 Mallas		
Encender máquina de corte	 Botón mecánico	 Botón eléctrico	 Señales inalámbricas	 Sensor de presencia	 Superficie táctil
Mover a la posición de inicio	 Tornillos de potencia	 Cremallera y tornillo sin fin	 Pistón lineal neumático	 Pistón lineal hidráulico	 Pistón magnético
Encender antorcha	 Botón mecánico	 Botón eléctrico	 Señales inalámbricas externas	 Sensores de presencia o tacto	
Cortar	 Plasma (aire y oxígeno)	 Plasma (aire y nitrógeno)	 Plasma (aire y helio)	 Láser	 Chorro de agua a presión

Tabla C.1 continuación



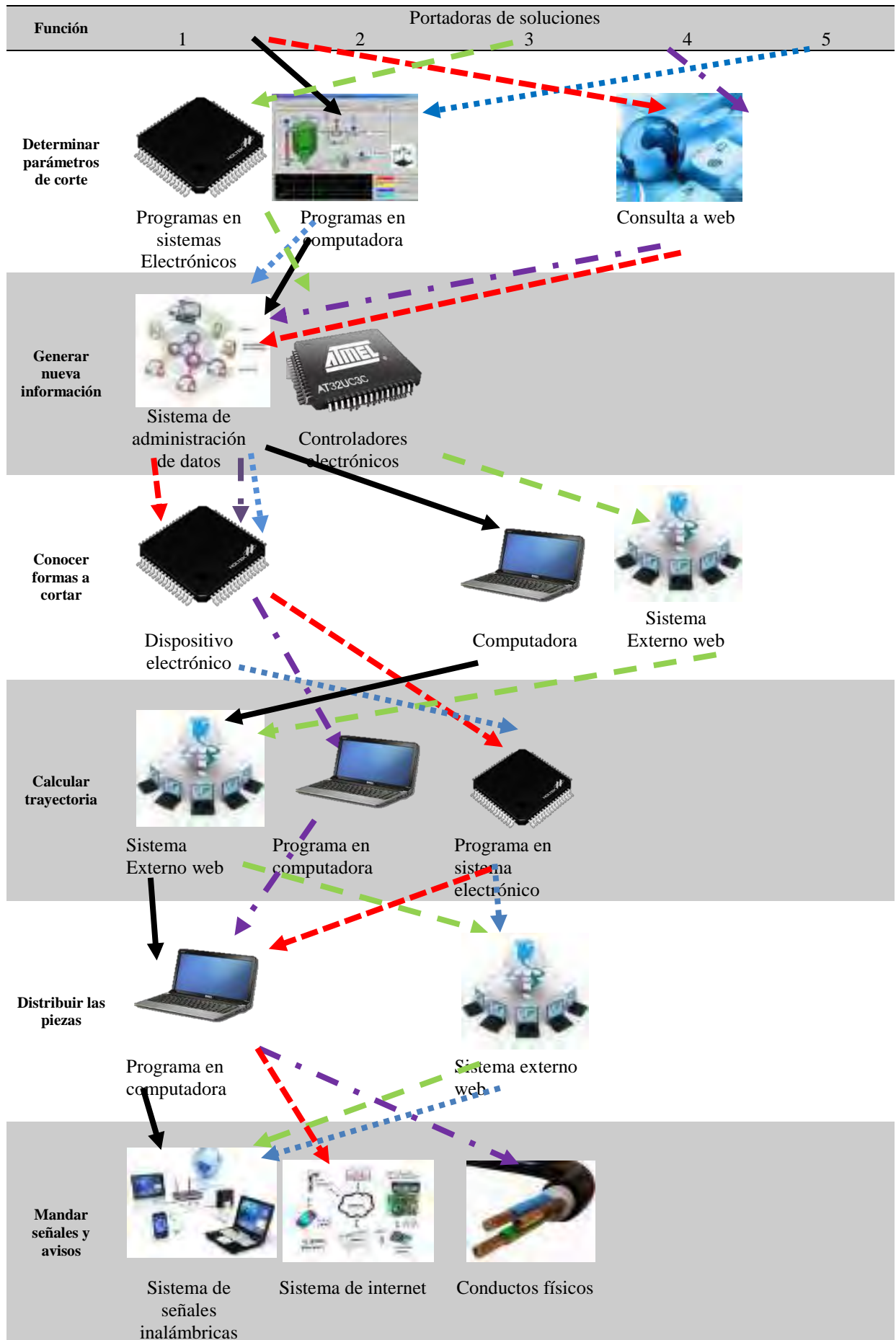
Fuente. Elaboración propia

Tabla C.1 continuación

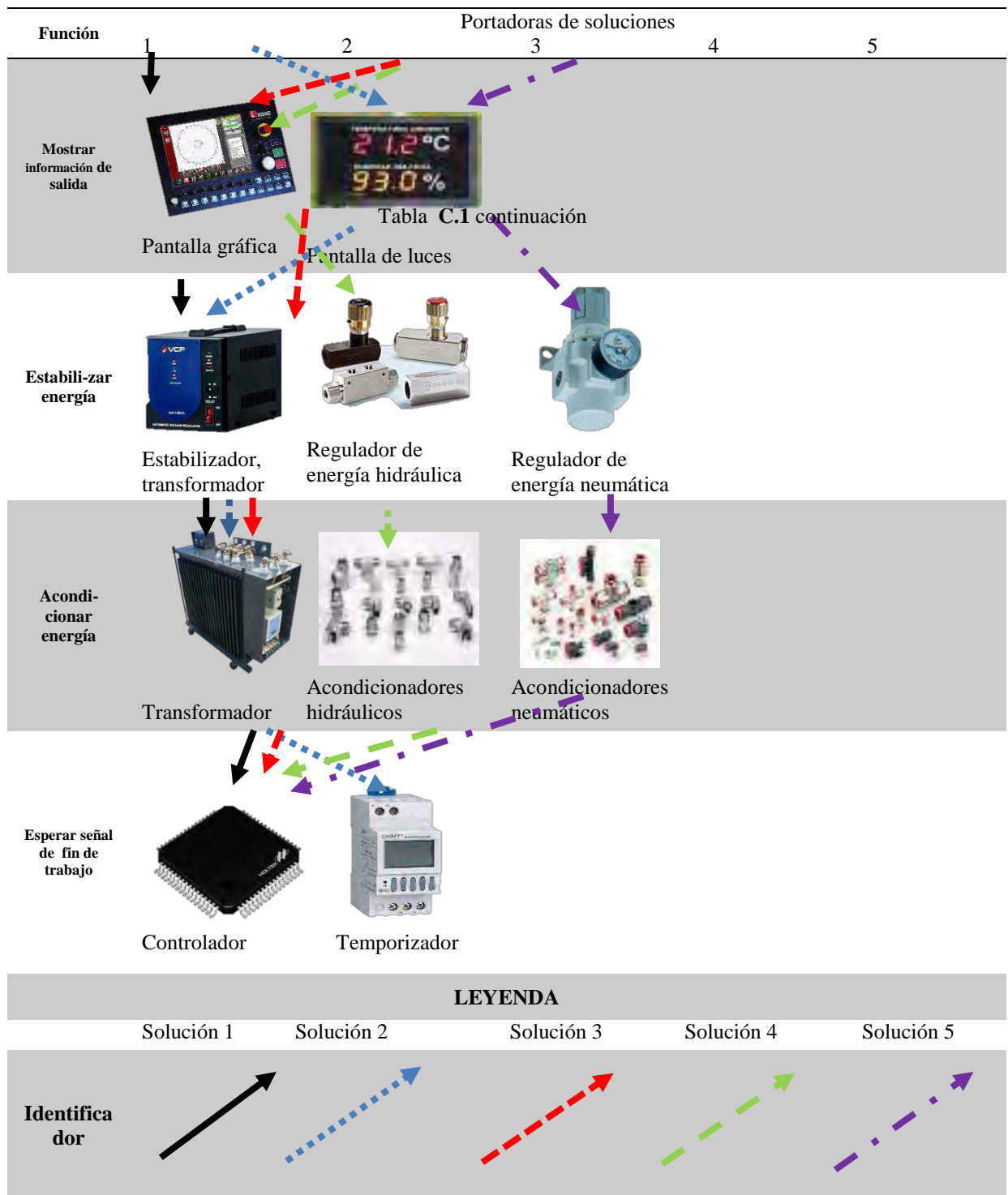


Fuente. Elaboración propia

Tabla C.1 continuación



Fuente. Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia

### **B.3 Conceptos de solución:**

Se explica a continuación los cinco conceptos de solución propuestos:

#### **Concepto de solución 1:**

El primer concepto de solución es una cortadora plasma con aire y oxígeno que posee mecanismos de tornillos de potencia (3) para el desplazamiento del cabezal (14) sobre la mesa de trabajo (8), posee también un microcontrolador electrónico (9) el cual se comunica por internet con una computadora (19), recibe señales de sensores (10) que miden algunos parámetros en el proceso de corte.

Mediante una computadora (19) se recibe la forma de las piezas a cortar y mediante programas y comunicación con la web se calcula la información requerida y se envía por terminales USB la información al microcontrolador (9) desde la computadora.

La energía eléctrica se acondiciona con un estabilizador y transformadores (12) los cuales energizan el sistema de control y dan energía a los actuadores. Se puede apreciar un esquema de la solución en la figura **B.4**.

#### **Concepto de solución 2:**

El sistema utiliza la tecnología de corte plasma con aire y nitrógeno y posee un sistema de engranajes y cremalleras para el movimiento del cabezal sobre la mesa de trabajo, el sistema posee una mesa donde se soporta un pórtico el cual se mueve en dirección el eje x y a su vez el cabezal se mueve sobre el pórtico en la dirección del eje y.

Posee un sistema de control por computadora el recibe la señal de los sensores de la máquina de forma inalámbrica y mediante programas expertos y consulta a la web calcula la

información necesaria luego envía dicha información a un FPGA el cual da órdenes de movimiento a los actuadores y estos siguen la trayectoria ordenada. Posee un sistema de succión de polvo o partículas por medio de una succionadora y ventosas, se puede apreciar un esquema de la solución en la figura **B.5**.

### **Concepto de solución 3:**

El sistema de corte automático utiliza el plasma para cortar los materiales el cual es generado a partir de aire e hidrógeno, posee un sistema neumático que le permite Posicionador la herramienta de corte sobre la mesa de trabajo por medio de pistones, el objeto a cortar se soporta sobre barras y apoyos, sus principales partes son el sistema base, el pórtico y el cabezal.

El sistema de control es por medio de un microcontrolador el cual recibe las señales de los sensores y da órdenes a los actuadores por medio de amplificadores de señales se comunica de forma inalámbrica con una computadora la cual recibe la información de la pieza a cortar y mediante un programa calcula la información necesaria que luego envía al microcontrolador.

Posee un sistema de recojo de piezas de metal por medio imanes. Posee una aspiradora para remover las partículas que se generen tras el corte y las emisiones generadas, de forma final muestra el estado del proceso y de la máquina mediante una pantalla indicadora. Se puede apreciar un esquema de la solución en la figura **B.6**.

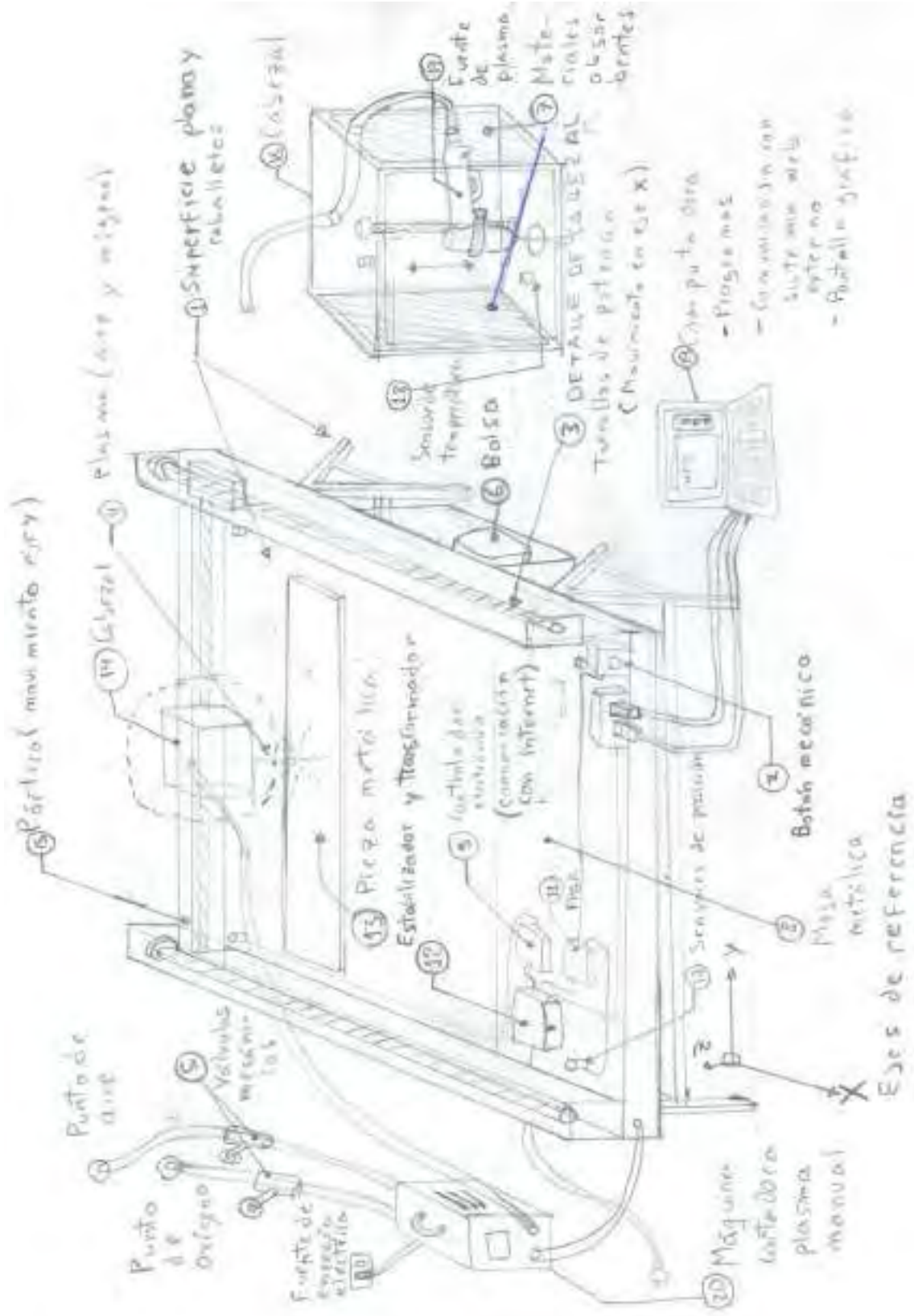


Figura B.4 Esquemas del concepto de solución 1 Fuente: Elaboración propia

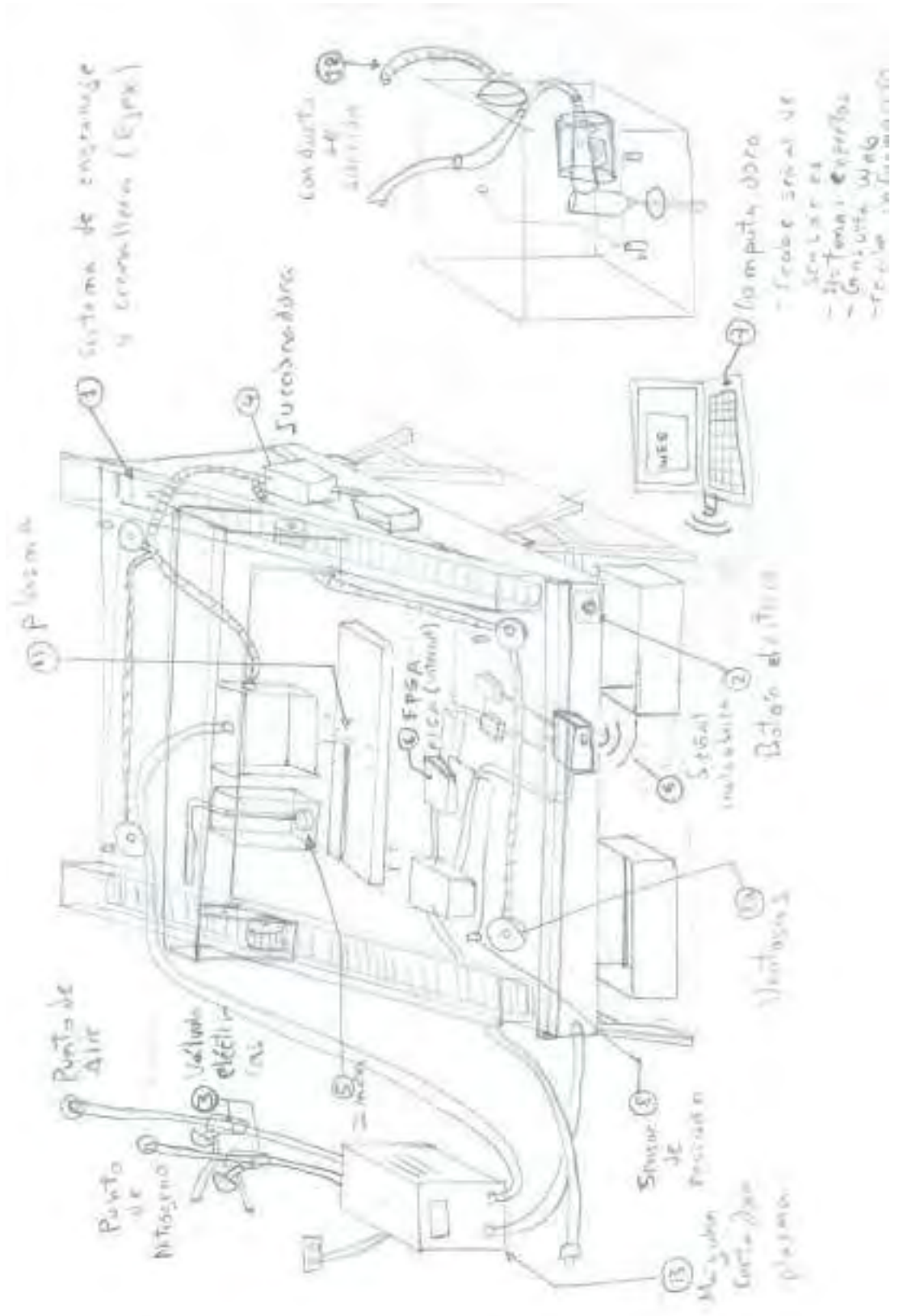


Figura B.5 Esquemas del concepto de solución 2 Fuente: Elaboración propia

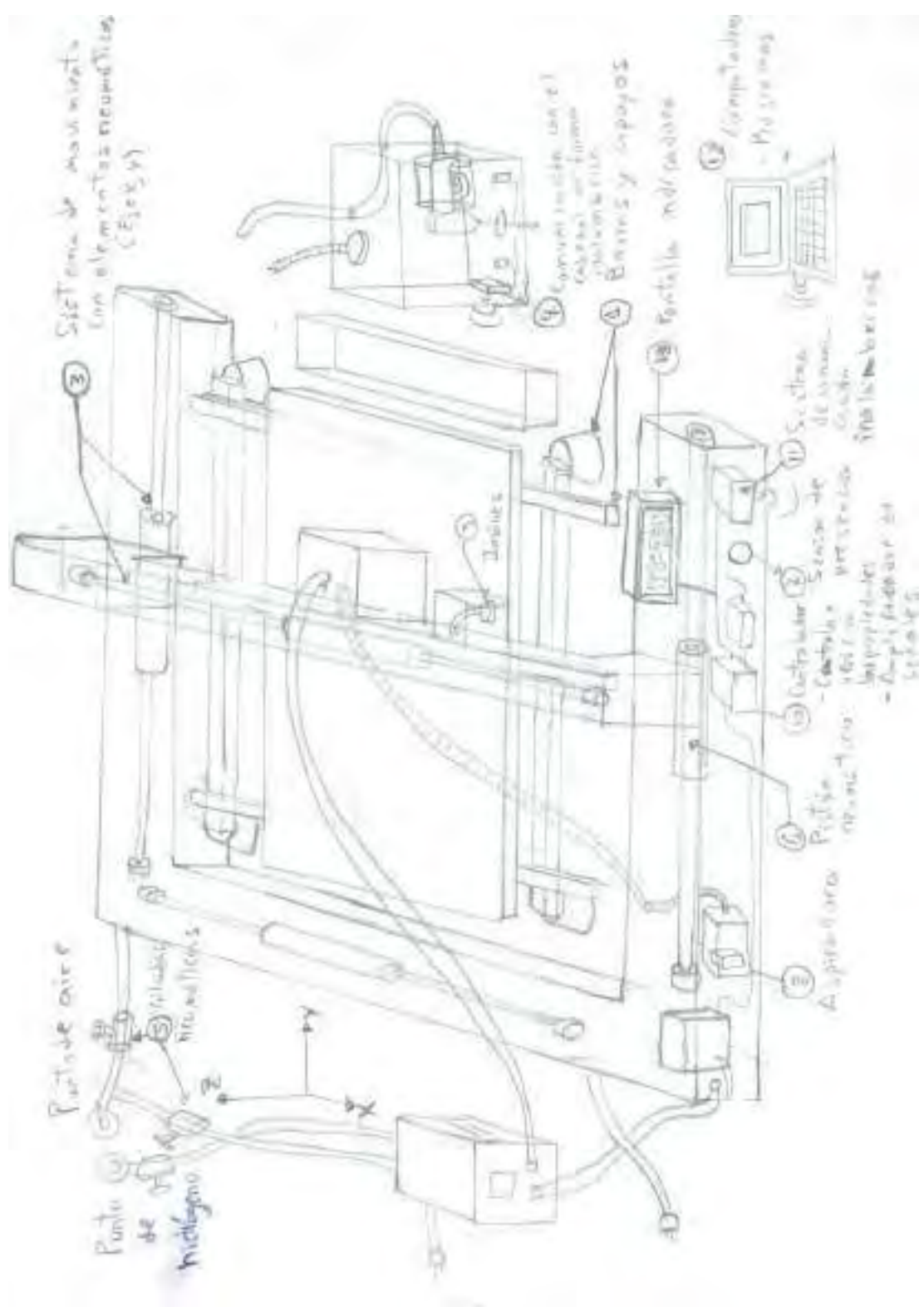


Figura B.6 Esquemas del concepto de solución 3 Fuente: Elaboración propia

#### **Concepto de solución 4:**

El sistema de corte utiliza la tecnología de corte láser con dióxido de carbono como insumo, posee un mecanismo de desplazamiento del cabezal de corte sobre la pieza a cortar mediante pistones hidráulicos (1), para los ejes x e y. La superficie de apoyo posee barras de metal distribuidas como mallas (2) para soportar el peso de los materiales a cortar (3). Por otro lado posee un microcontrolador (4) que recibe las señales de sensores (5) con sus respectivos drivers y amplificadores, de modo semejante posee cámaras (6) para controlar las propiedades del proceso de corte.

Para determinar la información para realizar el corte se cuenta con programas grabados en el microcontrolador (4), mediante internet (7) se posee acceso a la web desde donde se envían las formas de las piezas y se calcula la trayectoria, el sistema envía señales y avisos mediante internet. Para mostrar información de salida posee una pantalla gráfica (8), como energía recibe electricidad y un punto de aceite hidráulico, mediante transformadores (9) y estabilizadores, regula la tensión y mediante reguladores y accesorios hidráulicos la energía hidráulica. El encendido de la máquina y del haz láser se da mediante señales inalámbricas desde el centro de mando.

Para controlar el flujo de los gases de insumo se tiene válvulas neumáticas, para el recojo de las piezas cortantes se posee un electroimán (12) el cual coloca las piezas cortadas en un recipiente (13), la pieza restante la deja en la malla metálica. De otro lado para su limpieza posee un succionador(14) con tuberías y puntos de succión (15) la cual limpia los materiales no deseados que hay dentro de la máquina, posee materiales absorbentes (16) para capturar las emisiones del electrodo. Se puede apreciar su esquema en la figura **B.7**.

## **Concepto de solución 5:**

El sistema de corte utiliza la tecnología de corte por chorro de agua (6) con partículas abrasivas como insumo, posee un mecanismo de desplazamiento del cabezal (12) de corte sobre la pieza a cortar mediante posicionados magnéticos (3) para los ejes x e y. La superficie de apoyo posee barras de metal distribuidas como mallas (1) para soportar el peso de los materiales a cortar, pero posee una inclinación respecto a la línea horizontal. Por otro lado mediante una computadora (13) que posee el usuario se ordenan las acciones a la máquina, posee un microcontrolador (14) sensores (15) y cámaras (16) para el control de la temperatura, posición del material y otros parámetros para el corte.

Para determinar la información para realizar el corte se cuenta con acceso a internet (17) para realizar consultas y un sistema de administración de datos, mediante internet (17) se posee acceso a la web desde donde se envían las formas de las piezas y se calcula la trayectoria, el sistema envía señales y avisos mediante internet (17). Para mostrar información de salida posee una pantalla gráfica (2). Como energía recibe electricidad y un punto de aceite hidráulico, mediante transformadores y estabilizadores, regula la tensión y mediante reguladores y accesorios hidráulicos la energía hidráulica. El encendido de la máquina y del haz láser se da mediante una superficie táctil (18) colocada en la máquina y mediante un sensor de presencia (4) respectivamente.

Para controlar el flujo de los gases de insumo se tiene válvulas neumáticas (7), para el recojo de las piezas cortantes se posee un electroimán (11) el cual coloca las piezas cortadas en un recipiente, la pieza restante la deja en la malla metálica (1). De otro lado para su limpieza posee un succionador con tuberías(8) la cual limpia los materiales no deseados que hay dentro de la máquina, posee materiales absorbentes(9) para capturar las emisiones del puntal



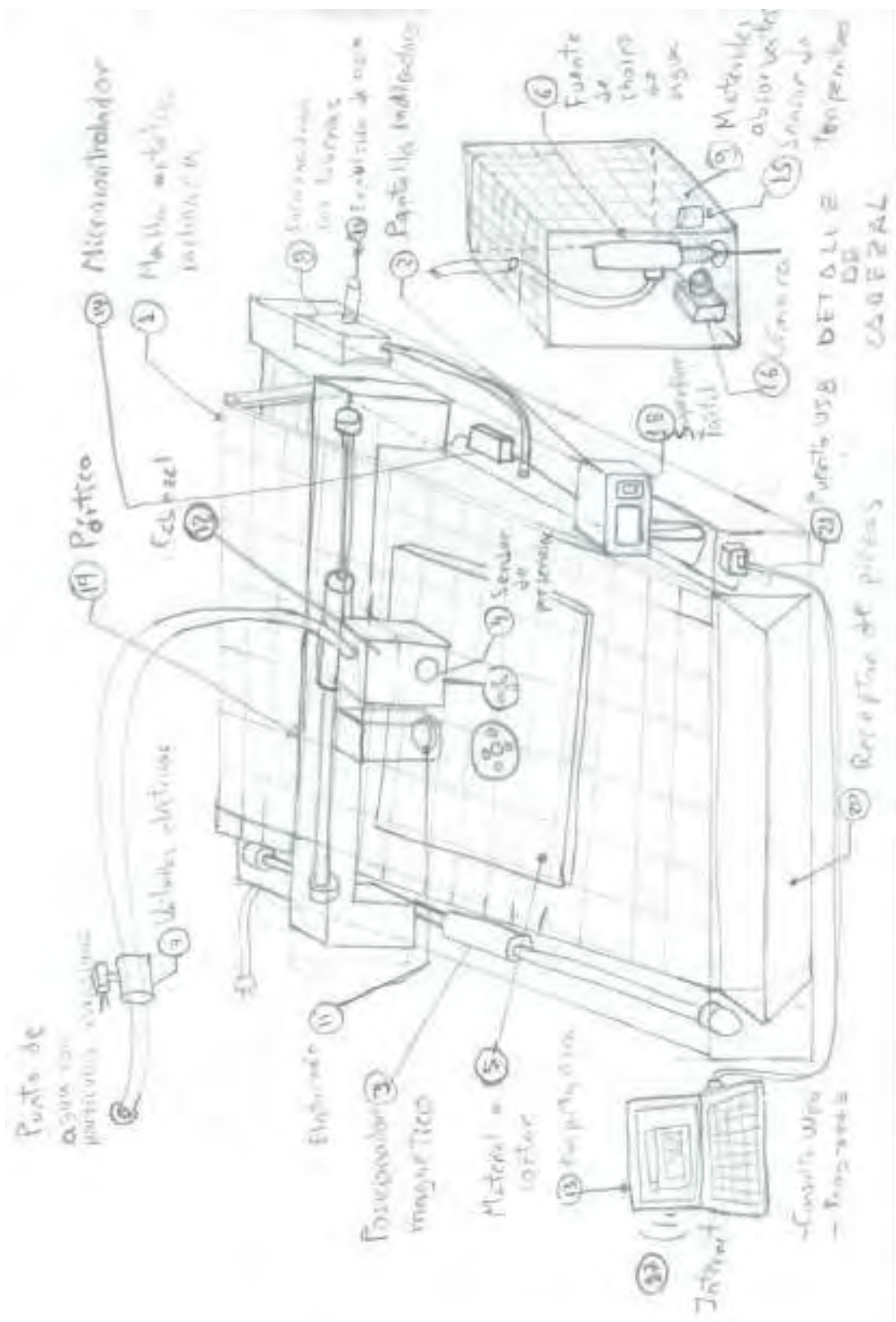


Figura B.8 Esquemas del concepto de solución 5 Fuente: Elaboración propia

## **C.4 Evaluación de conceptos de solución:**

Para conocer cuál de los conceptos de solución conviene se realiza una evaluación técnico-económica. Para realizar la evaluación se definen las características de interés a ser evaluadas según la lista de exigencias y se construye una tabla en la cual se colocan pesos y puntajes a cada característica. Los pesos se asignan según la importancia que se le dé a cada característica puede ser desde 1 hasta 5 y los puntajes desde 0 hasta 4, reservando 5 para el sistema ideal que cumple perfectamente con la característica evaluada.

### **C.4.1 Características técnicas y económicas:**

Se presenta a continuación las características técnicas y económicas a evaluar y sus métricas:

#### **1. Características técnicas:**

- 1) *Función principal:* Logra cortar chapas, tubos, vigas, piezas metálicas u otros elementos metálicos que se requieran.
- 2) *Tamaño:* El área que ocupa es cercano al requerido de  $1.5\text{m}^2 \pm 10\%$  y su altura de  $1.8\text{m} \pm 5\%$ .
- 3) *Velocidad de corte:* La velocidad de corte de los materiales de acero y acero inoxidable alcanza o supera los  $10\text{cm/s} \pm 10\%$  de forma constante durante el proceso.
- 4) *Calidad de corte:* La rugosidad superficial de los costados de las piezas cortadas es de  $1\text{mm}$  como máximo el 90% de las veces y las medidas de las piezas poseen un error menor o igual a  $2\text{mm}$  respecto al solicitado.
- 5) *Peso:* Debe de pesar como máximo  $150\text{Kg} \pm 10\%$
- 6) *Contaminación:* Emite poca cantidad de gases y sustancias al exterior de la máquina a parte de las que absorbe, almacena o expulsa por conductos.

- 7) *Consumo de energía*: Cantidad de energía que requiere para realizar un corte de 1 metro lineal no debe superar los 1 Kw/m.
- 8) *Complejidad de uso*: Dificultad de poder utilizar la máquina para realizar el corte incluye calibración, programación, retiro y colación de piezas. No debe tomar más de 1 minuto sin contar el tiempo de corte.
- 9) *Seguridad*: Asegura que no habrá peligro de explosión, o daño a las personas que la utilizan.
- 10) *Mantenimiento*: El tiempo de mantenimiento no demora más de 5 minutos y el cambio de consumibles toma como máximo un minuto.
- 11) *Variedad de formas*: La cantidad de figuras posibles a cortar incluye formas con radio de curvatura de 3mm o mayores, figuras con esquinas y circunferencias.
- 12) *Variedad de corte de metales*: Puede cortar aceros A30, A60, inoxidable y otros metales como cobre, aluminio y bronce.
- 13) *Transportabilidad*: Puede transportarse la máquina en un vehículo estándar de carga ligera como camioneta, se puede desensamblar en módulo mínimo 3.
- 14) *Duración de insumos*: Los insumos tienen una duración que permite la utilización de la máquina de forma continua sin intervención humana durante 8 horas con trabajo continuo.
- 15) *Robustez a interferencias*: El funcionamiento del equipo no se ve afectado con las interferencias, magnéticas y eléctricas que pudieran suscitarse.

## **2. Características económicas:**

Se considera los factores que influyen en el costo de adquirir la máquina o el costo de producirla, se presentan 8 parámetros a evaluar:

- 1) *Costo de producción:* Se refiere al costo de fabricar la máquina propuesta.
- 2) *Costo de insumos:* Se refiere al costo de los materiales que se requieren para que la máquina pueda realizar su trabajo
- 3) *Costo de energía:* Se refiere a la cantidad de energía que requiere la máquina para trabajar.
- 4) *Costo de mantenimiento:* Se refiere al costo de cambiar las piezas que más se utilizan o de revisar la máquina para evitar posibles problemas
- 5) *Costo de recursos humanos:* Se refiere al costo de contratar y capacitar a las personas que utilizarán la máquina para realizar el proceso de corte.
- 6) *Tiempo de duración:* Se refiere al tiempo que durará la máquina después de haberla utilizado por 8 horas diarias.
- 7) *Costo de la máquina:* Costo que se pagaría si se comprara la máquina ya fabricada.

### **C.4.2 Tabla de evaluación**

Se procede a llenar la tabla **C.2** la cual es una tabla de evaluación donde están escritas las características técnico-económicas y se colocan los valores en las casillas correspondientes a cada solución preliminar.

Tabla C.2 Evaluación técnico-económica de los proyectos

Variantes de concepto		Concepto 1 S1			Concepto 2 S2			Concepto 3 S3			Concepto 4 S4		Concepto 5 S5		Concepto ideal Si	
<b>Evaluación técnica (Xi)</b>																
N°	Característica	Peso	Puntaje	Peso. Puntaje	Puntaje	Peso. Puntaje	Puntaje	Peso. Puntaje	Puntaje	Peso. Puntaje	Puntaje	Peso. Puntaje	Puntaje	Peso. Puntaje		
1	<i>Función principal</i>	3	2	6	3	9	3	9	2	6	2	6	4	12		
2	<i>Tamaño</i>	1	3	3	2	2	3	3	3	3	2	2	4	4		
3	<i>Velocidad de corte</i>	2	2	4	3	6	2	4	2	4	2	4	4	8		
4	<i>Calidad de corte</i>	2	3	6	2	4	1	2	3	6	3	6	4	8		
5	<i>Peso</i>	1	3	3	2	2	3	3	2	2	2	2	4	4		
6	<i>Contaminación</i>	2	2	4	3	6	3	6	3	6	2	4	4	8		
7	<i>Consumo de energía</i>	1	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	4	4		
8	<i>Complejidad de uso</i>	1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	4	4		
9	<i>Seguridad</i>	3	2	6	2	6	3	9	3	9	3	9	4	12		
10	<i>Mantenimiento</i>	2	2	4	3	6	2	4	2	4	2	4	4	8		
11	<i>Variedad de formas</i>	3	3	9	2	6	1	3	3	9	3	9	4	12		
12	<i>Variedad de corte de metales</i>	1	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	4	4		
13	<i>Transportabilidad</i>	1	3	3	3	3	2	2	3	3	2	2	4	4		
14	<i>Duración de insumos</i>	1	2	2	3	3	3	3	3	3	1	1	4	4		
15	<i>Robustez a interferencias</i>	1	3	3	1	1	2	2	2	2	3	3	4	4		
<b>Puntaje máximo</b>		25	38	61	37	62	36	58	39	65	35	60	60	100		
<b>Valor técnico Xi</b>		<b>0.62</b>			<b>0.61</b>			<b>0.58</b>			<b>0.65</b>		<b>0.6</b>		<b>1</b>	
<b>Orden</b>		3			2			5			1		4			
<b>Evaluación económica (Yi)</b>																
1	<i>Costo de producción</i>	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	4	4		
2	<i>Costo de insumos</i>	2	3	6	3	6	2	4	2	4	2	4	4	8		
3	<i>Costo de energía</i>	1	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	4	4		
4	<i>Costo de mantenimiento</i>	2	2	4	2	4	3	6	2	4	2	4	4	8		
5	<i>Costo de recurso humanos</i>	1	2	2	1	1	3	3	2	2	2	2	4	4		
6	<i>Tiempo de duración</i>	2	3	6	2	4	2	4	2	4	3	6	4	8		
7	<i>Costo de la máquina</i>	2	3	6	3	6	2	4	3	6	2	4	4	8		
<b>Puntaje máximo</b>		11	11	29	11	26	11	27	15	24	15	24	28	44		
<b>Valor técnico</b>		<b>0.66</b>		<b>0.59</b>			<b>0.61</b>			<b>0.55</b>		<b>0.55</b>		<b>1</b>		
<b>Orden</b>		1		3			2			4		4				

Fuente: Elaboración propia

**Nota:**

Evaluación de proyecto - Valor técnico (Xi) y valor económico (Yi)

P: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)

0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)

Q: Es el peso ponderado según la importancia de los criterios de evaluación

#### C.4.4 Gráfico de relación entre aspectos técnicos y aspectos económicos:

Después de tener los valores índices de cada concepto de solución se realiza un gráfico en el cual se comparan su cercanía al valor ideal y se escoge el que más se acerque a la línea central y que este más cercano a la solución ideal. En la figura C.9 Se observa los resultados obtenidos, la solución óptima es el número 1

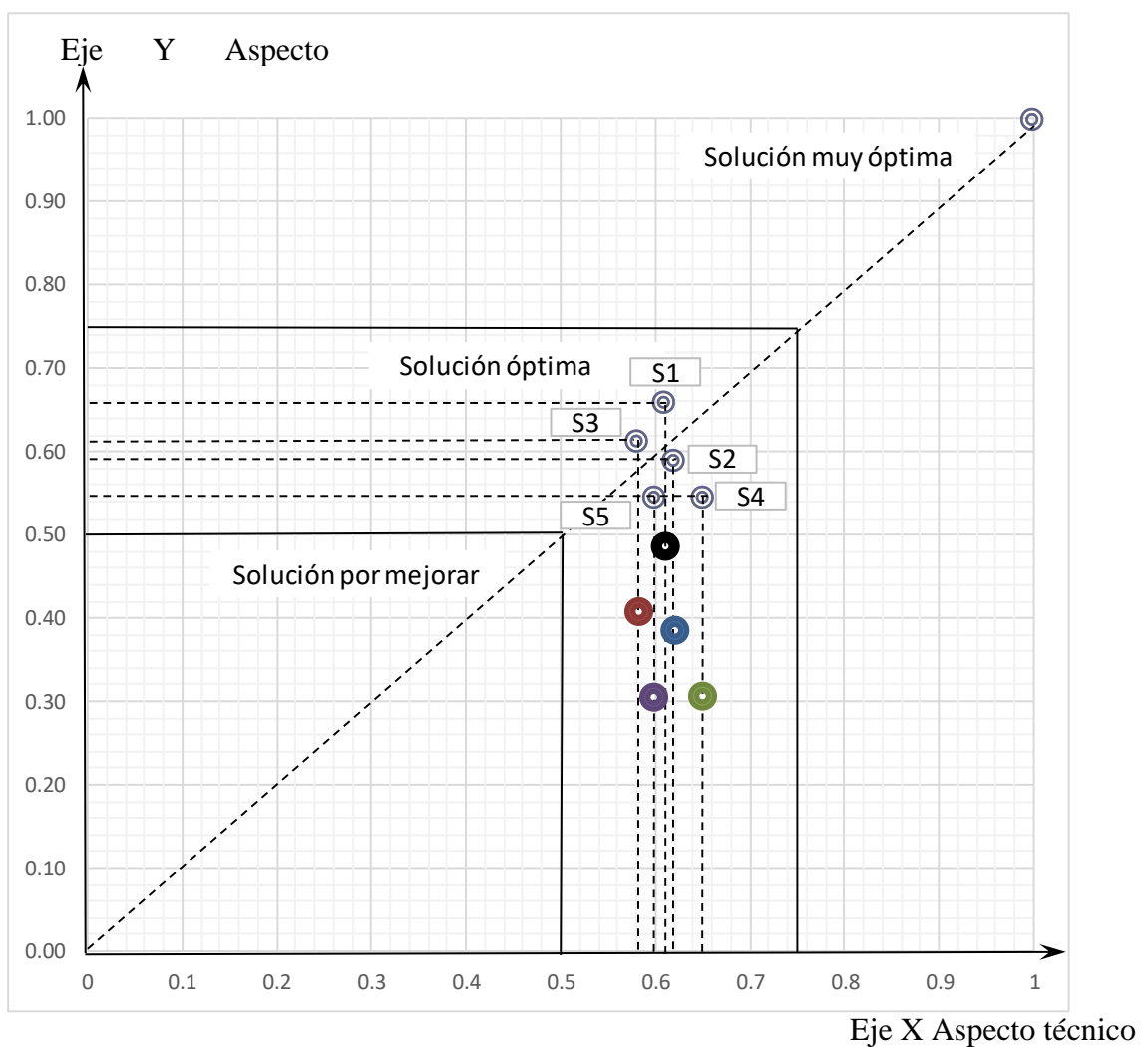


Figura C.9 Gráfico de evaluación técnico-económica Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla C.3 la calificación que se le a cada propuesta de solución según el coeficiente obtenido en la evaluación técnico-económica.

Tabla C.3 Detalles complementarios sobre las soluciones propuestas

<b>Coeficiente</b>	<b>Tipo de solución</b>	<b>Soluciones propuestas</b>
<b>0.5-0.6</b>	Solución por mejorar	
<b>0.6-0.75</b>	Solución óptima	1.2.3.4 y 5
<b>0.75-1</b>	Solución muy óptima	-

Fuente: Elaboración propia

Soluciones entre 0 y 0.5 se consideran soluciones no eficientes.

Se observa que la solución óptima 1 es técnicamente muy semejante a la solución 2 y 5 pero económicamente es más efectiva, el concepto 3 presenta menor valoración técnica pero es una solución aceptable. Se selecciona la **solución 1** como más óptima.

### **Anexo C: Ciclo de vida del producto:**

Se analiza la contaminación del medio ambiente desde la extracción de los insumos hasta su lugar de depósito final tanto de los insumos para fabricar la máquina como de los insumos de los insumo hasta llegar a la extracción de la materia prima. Se añade a este trabajo un análisis de aspectos e impactos ambientales como de las medidas a tomar para disminuir considerablemente sus efectos. Se observa en la tabla **C.1** el análisis desarrollado en cuatro etapas: Insumos, producción, consumo y fin.

Se concluye después de realizar el análisis por cada etapa que la parte más contaminante es la extracción de los minerales y la fabricación de los componentes de los polímeros. El proceso de construcción contamina levemente ya que sus componente son metálicos y plásticos reciclables en su totalidad excepto las tarjetas electrónicas que han de ser llevadas a una planta de tratamiento de componentes electrónicos. Sobre el proceso de uso o consumo los gases generados son absorbidos y limpiados por la propia máquina y en el proceso desecho es posible reutilizar los componentes en otras máquinas o sino reciclarlos.

Por esto motivo nos esforzamos por no utilizar componentes electrónicos ni plásticos sino cuando es la alternativa necesaria o más económica, el corte plasma es un proceso que contamina más es posible controlar sus emisiones y evitar los daños al ambiente. Se debe tener en cuenta a que terceros se venderá la máquina utilizadas o sus componentes para garantizar que cuidarán y controlarán los efectos ambientales de sus proceso.

Tabla D.1 Estudio del ciclo de vida, impacto ambiental y medidas aplicadas

CICLO DE VIDA						
ETAPA	MATERIALES	TRABAJOS INVOLUCRADOS	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDA o SOLUCIÓN	
1 INSUMOS	ACEROS	Hierro	Producción del acero	Emisión de gases	C. del aire	Mangas filtros y ciclones
		Carbono	Extracción de metales	Desecho de escorias del horno	C. del suelo	Reutilización en horno, Utilización en pistas
		Mg, Mo, Sn, Cr, Ni, S		Desecho de metales no metálicos	C. del suelo	Basurero municipal
	EQUIPOS ELECTRICOS	Termoplásticos	Producción del plástico	Desechos plásticos no reciclables	C. del suelo	Fabricación de otros componentes plásticos
		Imanes	Fabricación de productos plásticos	D. de arena con partículas metálicas	C. del suelo	Extracción minerosa del metal con imanes
		Cobre, acero	Producción de imanes Producción y extracción del cobre	Emisión de reactivos al agua y tierra	C. del agua C. del suelo	Fabricación de pozos con concreto y polímeros Utilizar hornos eléctricos con generados propios
	EQUIPOS ELECTRÓNICOS	PVC	Producción de productos con PVC	Versión de químicos al agua o suelo	C. del agua	Extracción de químicos del agua y fabricación de otros materiales
		Si, Ge, Pí	Extracción de Si y Ge y otros	Desecho de moldes de fundición	C. del suelo	Molido de arena y fabricación de ladrillos
		Hg, Cd, Cr	Fabricación de componentes electrónicos	Descafe de integrados con defectos Consumo de agua	C. del suelo Falta de agua	Uso como circuitos de menor capacidad Reutilización del agua, extracción de contaminantes.
	LATONES	alpha (hasta 36% Zn)	Producción del latón	Emisión de gases contaminantes	C. del aire	Extractor de mangas y ciclón para separar las partículas metálicas
		alpha+beta (38 a 46% Zn)	Extracción de Zn y Cu	Materiales rocosos sobrante	C. del suelo	Fabricación de represas y contenedores de tierra
	POLÍMEROS	Polietileno PE	Producción de productos	Retazos de plásticos no utilizados	C. del suelo	Fabricación de productos de otra función o calidad
		Poliestireno PS	Extracción y producción de	Ensimas y resinas expulsadas al sumidero	C. del agua	Extracción de químicos con hornos y filtros
		Poliacetileno con AsF3	insumos	Piezas defectuosas no reciclables	C. del agua	Molido y reciclaje
		Polivinilocarburo PVC			C. del suelo	

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.1 Continuación

ETAPA	MATERIALES	TRABAJOS INVOLUCRADOS	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDA o SOLUCIÓN
1 INSUMOS	BRONCES	Cu-Si	Cavenas en el fondo de la tierra	C. del subsuelo	Colocar una capa protectora en los contornos del agujero
		Cu-Sn,PI	Producción de bronce y cuproníqueles	Emisión de humos y gases	C. del aire
	CUPRONÍQUELES	Cu-Ni	Extracción de Cu, Sn, Pl y Ni	Version de químicos en aguas subterráneas	C. del subsuelo
ETAPA	PROCESO	DESCRIPCIÓN	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDA o SOLUCIÓN
2 PRODUCCIÓN	CONFORMADO DE METALES	Metálico: Embutido, doblado, punzonado, troquelado, grabado y corte	Producción de escorias, restos metálicos	C. del suelo	Uso de componentes de reciclaje: Se venden residuos o reutilizan de forma que se disminuye el porcentaje de desecho a la tierra
		Plástico: cajas de plástico, sujetadores, palancas, empaques, cubiertas.			
	PINTURA	Granallado, pintura, lijado, acabado	Emisión de gases con pintura en polvo	C. aire	Extracción y filtro de aire, hornos de pintura
MONTAJE Y ARMADO	Cajas eléctricas, tablero de control, conexiones eléctricas	Pinturas esmaltes o epóxicas, disolventes, trapos.	Trapos y objetos con químicos combustibles	C. suelo	Trapos reutilizables, vertedero separado para limpieza posterior, uso de pintura no combustible
	Revisión, montaje, emperado, ajuste, calibración y ajuste final Programación y pruebas de corte plasma	EPP, Herramientas de mano: llaves de ajuste, torquímetro, herramientas de calibración: nivel de mano, escuadras.	Desecho de piezas restantes o defectuosas del emperado	C. del suelo	Envasado de piezas defectuosas y reciclaje

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.1 continuación

ETAPA	PROCESO	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTAS	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDA o SOLUCIÓN
2 PRODUCCIÓN	FUNCIÓN Y HORNEADO	Con molde de arena, cerámica	Arena, aire a presión, carbono, combustible, electricidad	Emisión de gases tóxicos	C. del aire	Extracción y limpieza de gases emitidos
		Negra, gris, blanca .				
	MECANIZADO	Tomeado , fresado y rectificando.	Electricidad, refrigerante, sujetadores, cuchillas, brocas, limas, Equipos de protección personal. Computadora personal, manuales	Deesecho de arenas con metales y aditivos	C. del suelo	Reciclaje de viruta y desprendimiento metálicos.
		Trazado, taladrado inicial, agrandado de agujero, escariado, roscado.				
		Máquinas CNC: programación y control				
SOLDADURA SMAG, MIG, GTAW Y DE PUNTO.	Medición, corte, desbarbado, soldadura , desbaste	Soldadura, discos abrasivos Cortadoras y limadoras.	Producción de escorias	C. del aire	Colocación de extractor de aire y partículas	
	Armado y medición					
3 CONSUMO	CORTE PLASMA	Corte de planchas de 0 a 50 mm de espesor	Gases: CO2, aire, H2, N2, O2 Electricidad y agua Accesorios: sujetadores de tubos, sujetadores de planchas	Liberación de gases contaminantes	C. del aire	Sistema de absorción y limpieza del aire para posterior expulsión de forma limpia (ciclones, y mangas extractoras)
		Corte de tubos de hasta 150mm de diámetro				
		Corte de piezas mecánicas				
		Corte de perfiles metálicos hasta 50mm de espesor				
				Generación de escorias	C. del suelo	Abstrción de escorias o barrido para reciclaje
				Tintes en los lugares cercanos	C. del suelo	Limpieza con trapos del ambiente cromatizado.
				Daño en los ojos y nariz del operario	Daño a la s personas	Uso de gafas claras u opacas y filtro de aire en el rostro.

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.1 continuación

ETAPA		PROCESO	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTAS	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDA o SOLUCIÓN
3 CONSUMO	MECANIZADORA y OTROS		Taladrado	Herramientas: Brocas, fresas, modelos, punzones Insumos: electricidad, refrigerante y agua Insumos: CO2, CO, aire Insumos: Acetileno, oxígeno	Generación de virutas y desprendimiento metálicos Desecho de líquido refrigerante Liberación CO2 Producción de gases tóxicos	C, de l suelo, aire y agua Daño a las personas	Reciclaje de elementos metálicos clasificados según se requiera. Reuso de líquido refrigerante después de tratamiento Absorción de CO2 y conversión a C y O2. Absorción y limpieza de gases generados Cabinas de protección alrededor de la máquina, uso de careta facial y mangas cortas.
			Troquelado				
			Fresado				
			Troquelado				
			Trazado				
			Dibujo				
			Calibrado				
			Corte láser				
			Corte con oxigas				
			4 FIN				
Clasificación para venta o fundición propia para fabricar otros cuerpo metálico o plásticos	Desechos de fundiciones o metalurgías	C. del suelo		Construcción de pistas, paredes, muebles u otros elementos que demandan gran cantidad de material			
					Piezas fabricadas por dobles		
					Ejes		
Partes metálicas							
2) RECICLAJE	Volver los insumos a su estado inicial y fabricar un nuevo producto	Partes plásticas					

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.1 Continuación

ETAPA	PROCESO	DESCRIPCIÓN		HERRAMIENTAS	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDA o SOLUCIÓN
		Motores	Sistema de control CNC				
4 FIN	3) VENTA	Entrega de los componentes a un tercero para que le de un buen uso. Inician un ciclo adicional de producción, consumo y fin del producto. Produce una etapa de fin adicional cuando el producto es dado de baja nuevamente.	Máquina entera	Entrega de la totalidad o parte de la máquina a desechar a otra persona para que esta la utilice. Venta de los motores y controles a personas que realizan máquinas CNC	Contaminación semejante a las que se generan con el uso productivo de la máquina incrementadas por el desgaste de la misma.	C. del aire, agua y suelo	Conocer el uso que le va a dar la persona que reciba la máquina y si es muy contaminante abstenerse de venderlo
	4) DESECHO	Componentes electrónicos inoperativos	Componentes reemplazados por mantenimiento preventivo	Colocación en un vedadero o recipiente seguro los componentes a los caules no se les encuentra utilidad hasta encontrarla Uso para la fabricación de bloques para la construcción de pistas, paredes o sillas.	Desecho de materiales metálicos y plásticos no reciclables	C. del suelo	Fabricar o construir un lugar donde almacenar los elementos a desechos para que estos no contaminen ni afecten la seguridad de las personas.
	Dar de baja de forma definitiva y guardarlo en un lugar por largo tiempo hasta conocer como darle uso.	Plásticos no reciclables					

Fuente: Elaboración propia

### Anexo D: Accesorios y elementos adicionales

Se listan los componentes a diseñar recomendados que constituyen la máquina y los accesorios disponibles para su instalación, el cliente indica que accesorios requiere según su necesidad antes de la venta.

Tabla D.1 Componentes y accesorios

Código	Descripción	Función
010	Mordaza	Sujeción de planchas
020	Cobertor de módulos	Protección contra impactos
030	Centradores de planchas	Dirigir el material hacia el área de trabajo
040	Rejilla CP-50	Soporte del material a cortar
050	Tina CP-50	Recipiente para el agua refrigerante
060	Soporte para mesa 1250 mm	Elevar la altura de los posicionadores
070	Sistema de limpieza y absorción	Retiro de partículas y humo
081	Conector de succión	Longitud: 946 mm
082		Longitud: 530 mm
090	Cable de energía	Transmisión de energía eléctrica
101		Longitud: 764 mm
102	Conector de señales	Longitud: 514 mm
103		Longitud: 264 mm
110	Rodillo deslizante	Traslado de perfiles
120	Soporte tipo pórtico	Aumentar la altura del sistema de corte
130	Rodillos motores	Avance de perfiles
140	Soporte de panel de control CP-50	Sujeción del panel de control
150	Cobertor hermético CP-50	Protección y aislamiento
160	Rotor de tubos	Giro de tubos
170	Soporte de tubos	Sujeción de tubos
180	Pasador	Giro del panel de control
190	Sistema posicionador	Carrera: 1250mm
200	Sistema guía	Carrera: 1250mm
210	Panel de control CP-50	Introducción de órdenes de corte
220	Tablero eléctrico CP-50	Mando de motores y sub-sistemas
230	Cabezal de corte plasma CP-50	Soporte de electrodo de corte

Fuente: elaboración propia

Se muestra los componentes básicos en la figura D.1

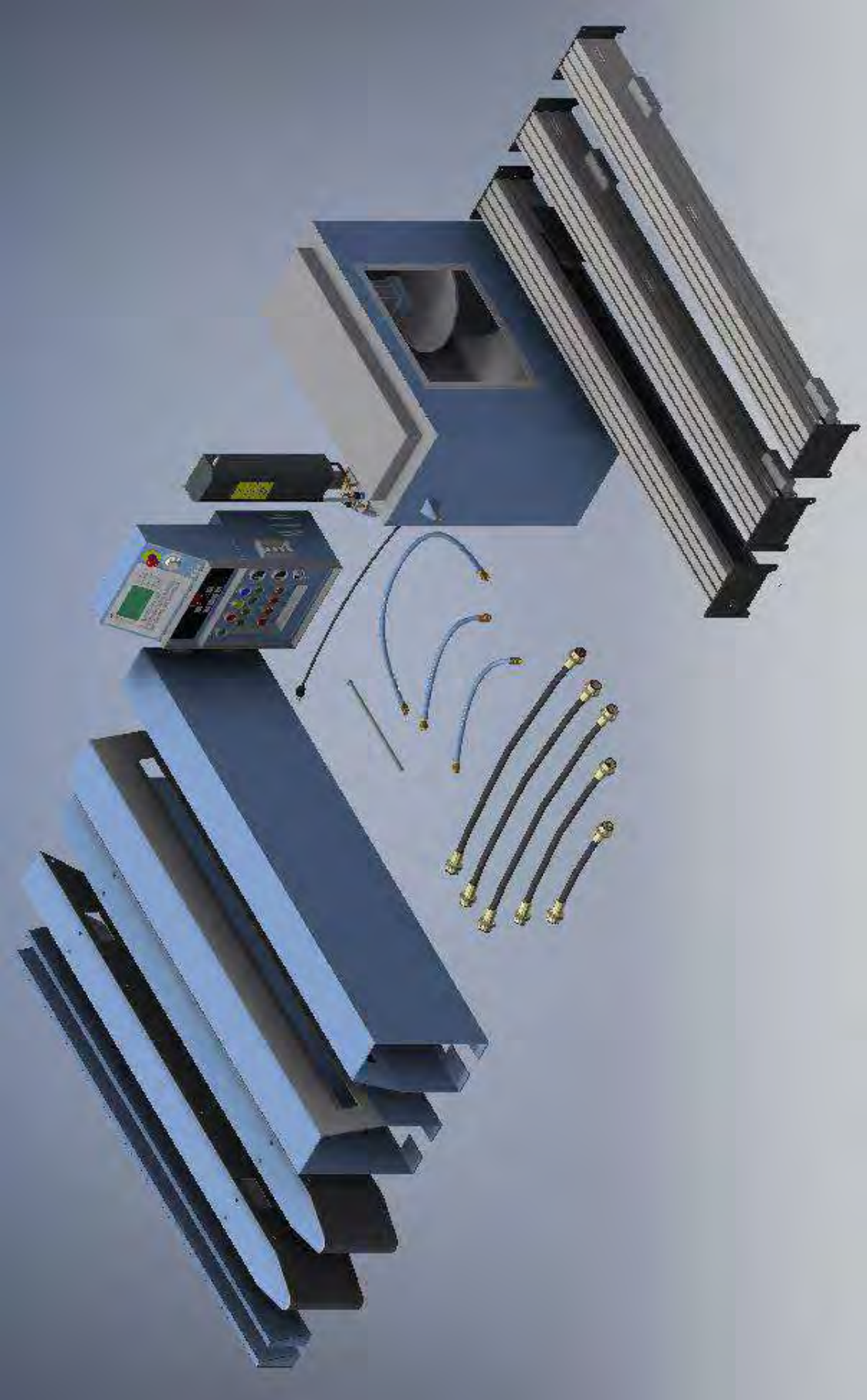


Figura E.1 Transporte modular de la máquina CP-50 Fuente: Elaboración propia

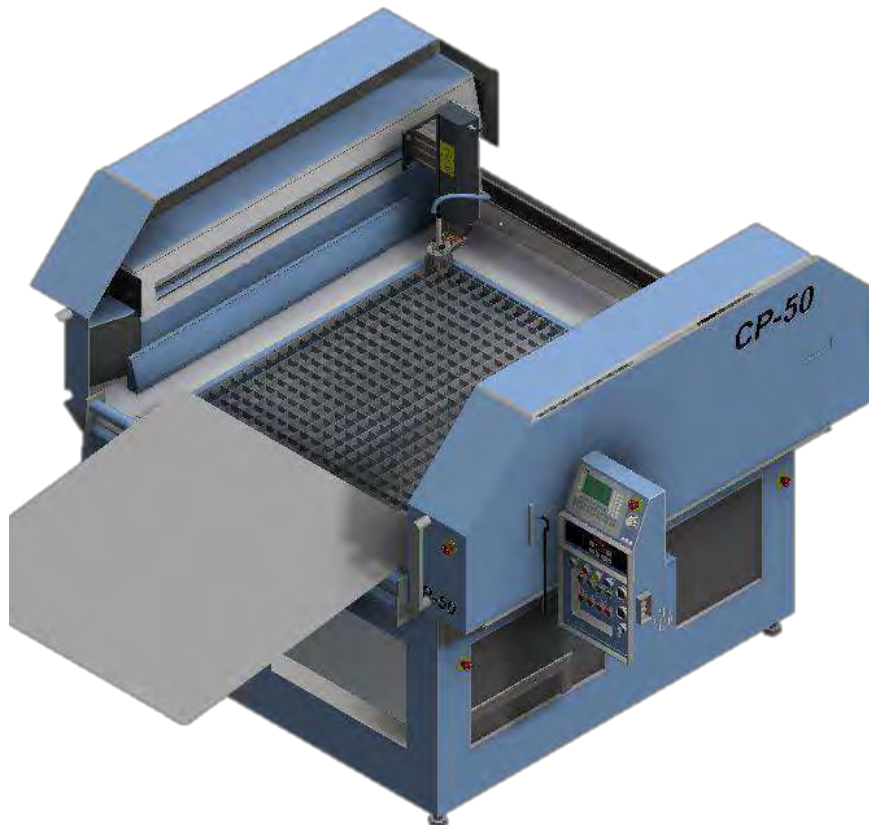
### Anexo E: Posicionamiento de materiales a cortar

Para el corte de planchas de acero entre 3 y 50mm primero se debe desplazado el cabezal de corte al área de resguardo y tener las puertas del protector abiertas y luego se recomienda utilizar una grúa y 4 sujetadores de para elevarla y posicionarla en el área de trabajo



(a)

Para el corte de planchas de acero menores a 3mm después de posicionar en home el cabezal móvil y tener la abertura necesaria del protector externo se recomienda entre dos personas levantar la plancha y colocarla sobre la máquina



(b)

Figura E.1 Posicionamiento de corte planchas de acero (a) Para espesor menores a 3mm mediante rodillos deslizantes y dos operarios (b) Para espesores desde 3 mm hasta 50mm elevar con montacargas o grúas Fuente: Elaboración propia

**Accesorios para corte de perfiles estructurales:** Para el corte de perfiles de acero de longitudes mayores a 1.5 m se recomienda utilizar rodillos de soporte, y si se requiere utilice varios.

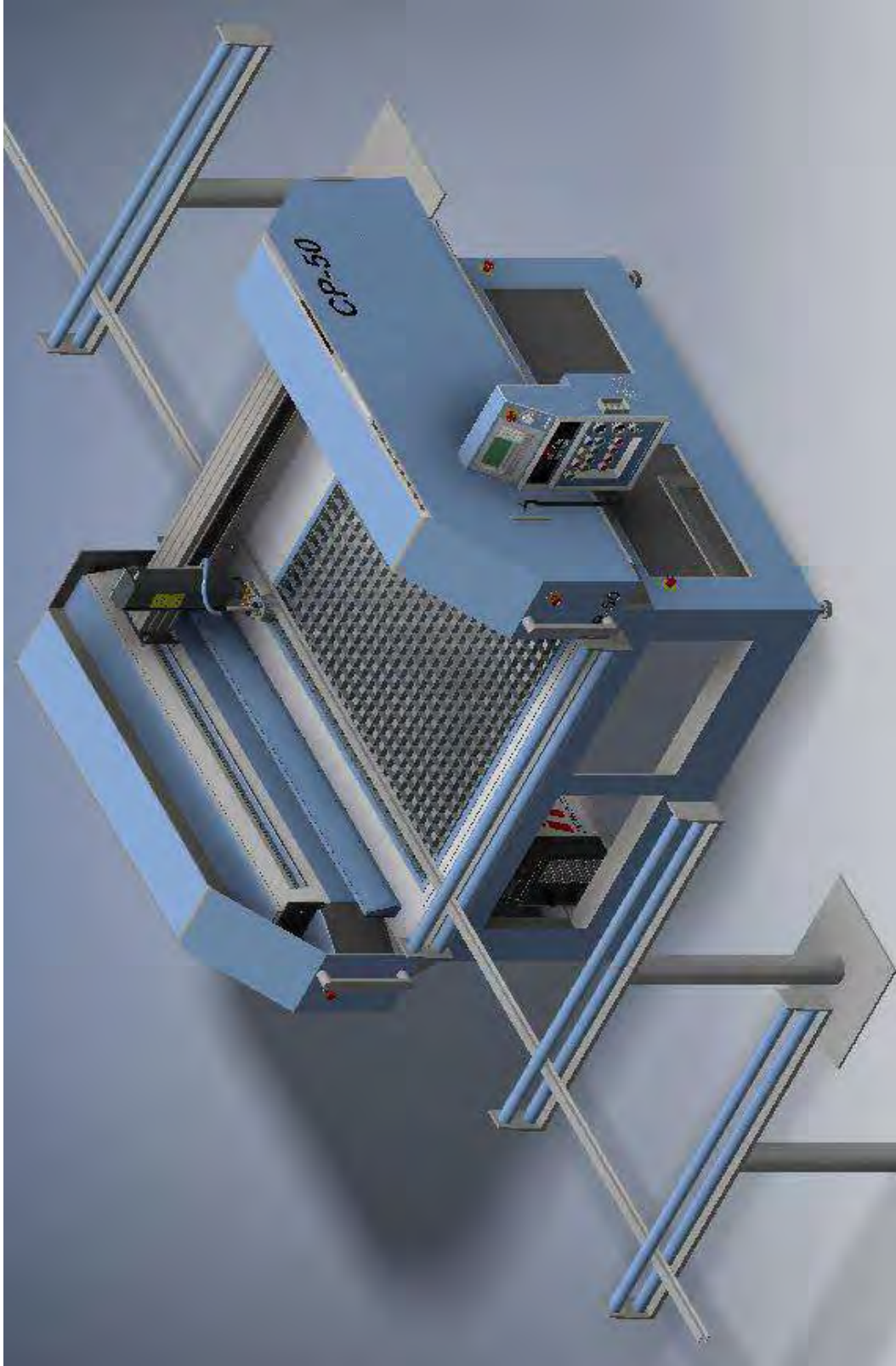
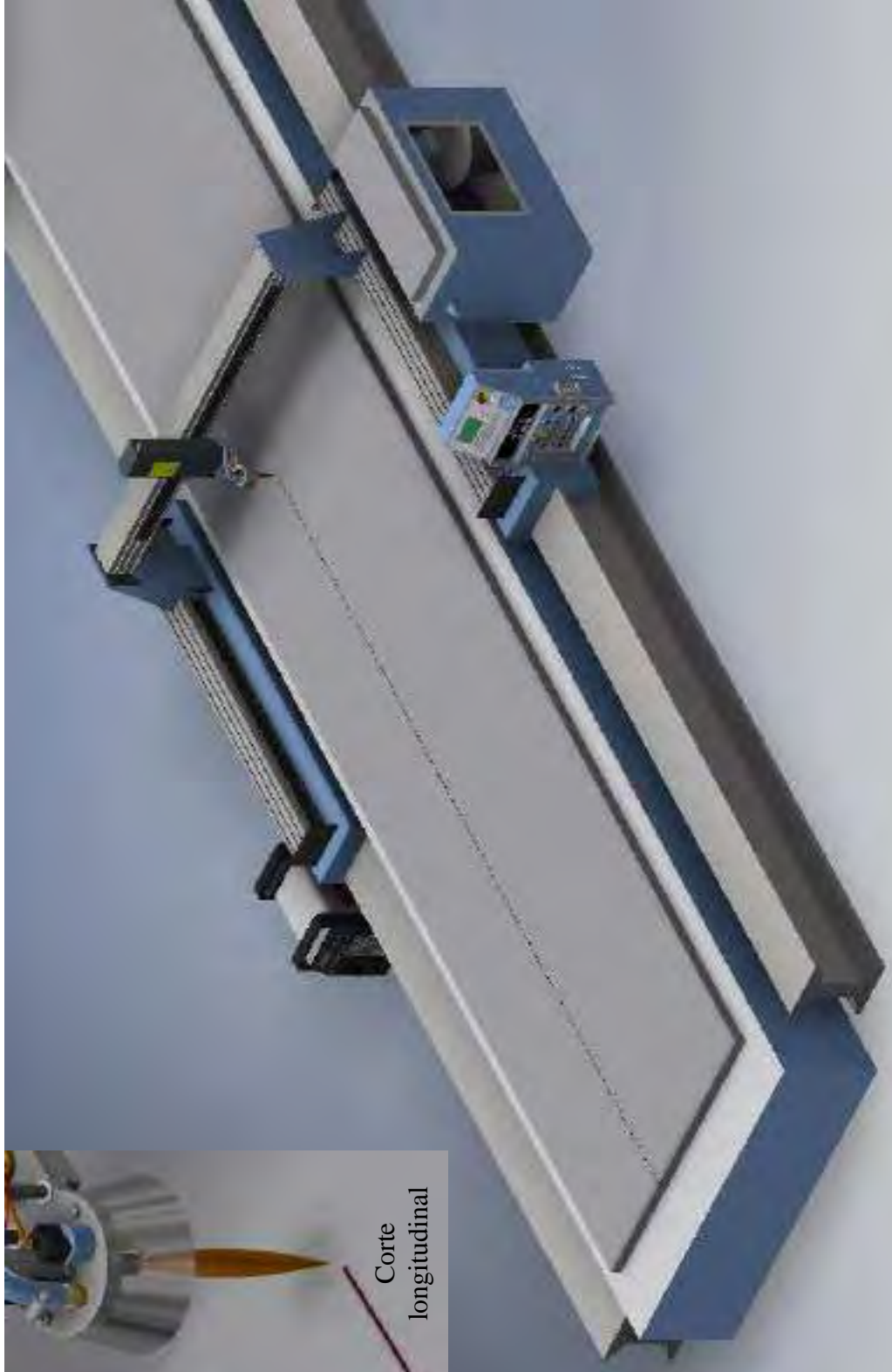


Figura E.2 Posicionamiento para corte de perfiles Corte de viga H de 6m de longitud mediante rodillos simples y motorizados con control de avance (Elaboración propia)

**Accesorios para corte de planchas de mayores longitudes:** Para el corte de planchas de acero de longitud mayor a 1.5m y espesor mayores a 3 mm se aconseja utilizar una mesa propia de mayor longitud y añadirle una base móvil que desplace el cabezal de corte a lo largo de toda la plancha.



**Figura E.3** Posicionamiento para corte de perfiles (a) Corte de viga H de 6m de longitud mediante rodillos simples y motorizados con control de avance (b) Corte de planchas de más de 1200mm de longitud con sistema de desplazamiento sobre perfiles H y soporte tipo pórtico (Elaboración propia)

**Accesorios para corte de tubos:** Algunos accesorios poseen servomotores que al acoplarse al sistema CNC permiten el control del avance y giro de tubos, de esta forma se pueden realizar cortes de calderería o para realizar las uniones en estructuras a base de tubos redondos.

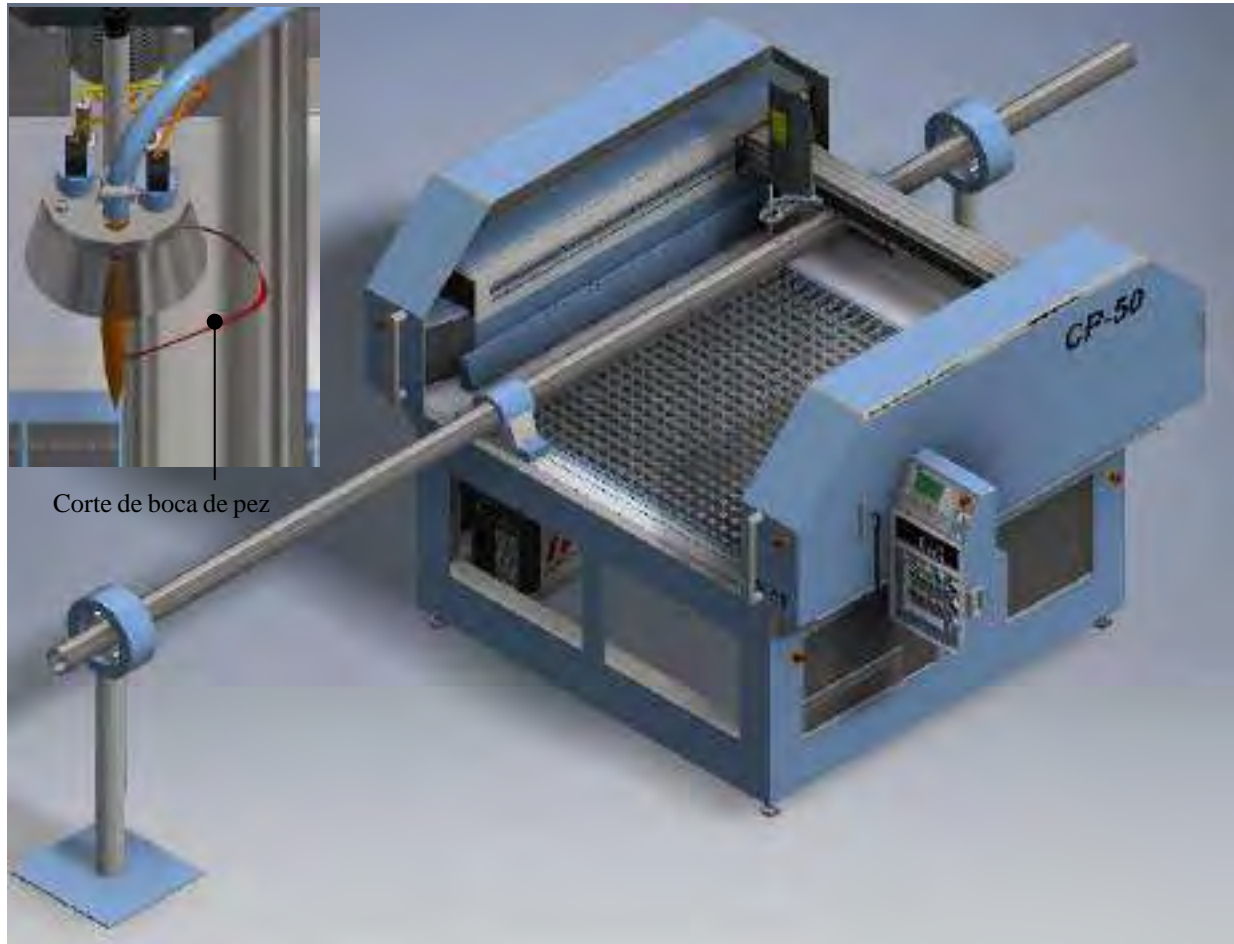


Figura E.4 Corte de tubo redondo de 10mm de diámetro mediante sujetadores simples y motorizados que permiten el avance y giro controlado por servomotores que se acopan al sistema CNC  
(Elaboración propia)

Nota: Para el corte de tubos colocar dos soportes que permitan el giro en su propio eje según los grados que se requiere.

## Anexo F: Planos de ensamble y fabricación

**F.1 Lista de planos:** Se presenta en la tabla F.1 la lista de planos de la máquina, los resaltados en negrita son los que se presentan en el siguiente informe.

Tabla F.1 Lista de planos (elaboración propia)

LISTA DE PLANOS					
Tipo	Título	Código	Escala	N°	
<b>ENSAMBLE</b>	<b>Cortadora plasma automática</b>	<b>E0-A0</b>	<b>1:5</b>	<b>1</b>	
	<b>Mesa soporte</b>	<b>E1-A0</b>	<b>1:5</b>	2	
	Sistema de limpieza	E10		3	
	Sistema de bombeo	E11		4	
	Sujetador magnético	E12		5	
	<b>Sistema de movimiento</b>	<b>E2-A0</b>	<b>1:1</b>	6	
	Carro móvil	E20		7	
	Soporte de rodamientos	E21		8	
	Soporte de cabezal	E22		9	
	<b>Sistema guía</b>	<b>E3-A1</b>	<b>1:1</b>	10	
	Carro guía	E30		11	
	<b>Cabezal de corte</b>	<b>E4-A2</b>	<b>1:1</b>	12	
	Caja eléctrica	E5-A2	1:2	13	
	Accesorios	E6-A2	1:1	14	
	<b>SUB-ENSAMBLE</b>	Tablero de control	E7		15
	<b>Fijador a mesa de corte</b>	<b>E70-A4</b>	<b>1:2</b>	16	
	Sujetador de tubos	E71		17	
	Resguardo de 1200mm	E72		18	
	Sujetadores de piezas	E73		19	
	Conectores neumáticos	F74		20	
	Otros: Cobertor exterior	E8		21	
<b>FABRICACIÓN</b>	<b>Estructura base</b>	<b>F10-A2</b>	<b>1:10</b>	22	
	<b>Lámina de soporte</b>	<b>F11-A4</b>	<b>1:10</b>	23	
	<b>Rejilla cuadrada</b>	<b>F12-A3</b>	<b>1:10</b>	24	
	<b>Campana a cuatro aguas</b>	<b>F13-A3</b>	<b>1:10</b>	25	
	Soporte de bombas	F14		26	
	<b>Soporte lateral</b>	<b>F15-A3</b>	<b>1:10</b>	27	
	<b>Soporte superior</b>	<b>F16-A3</b>	<b>1:10</b>	28	
	<b>Soporte de bisagra</b>	<b>F17-A4</b>	<b>2:1</b>	29	
	<b>Otros: Hoja de bisagra</b>	<b>F18-A4</b>		30	
	<b>Cobertor 1600x210x148</b>	<b>F20-A1</b>	<b>1:2</b>	31	
	Placa durmiente	F21-A4	1:2	32	
	Rigidizador interior	F22		33	

Tabla F.1 Lista de planos (elaboración propia)

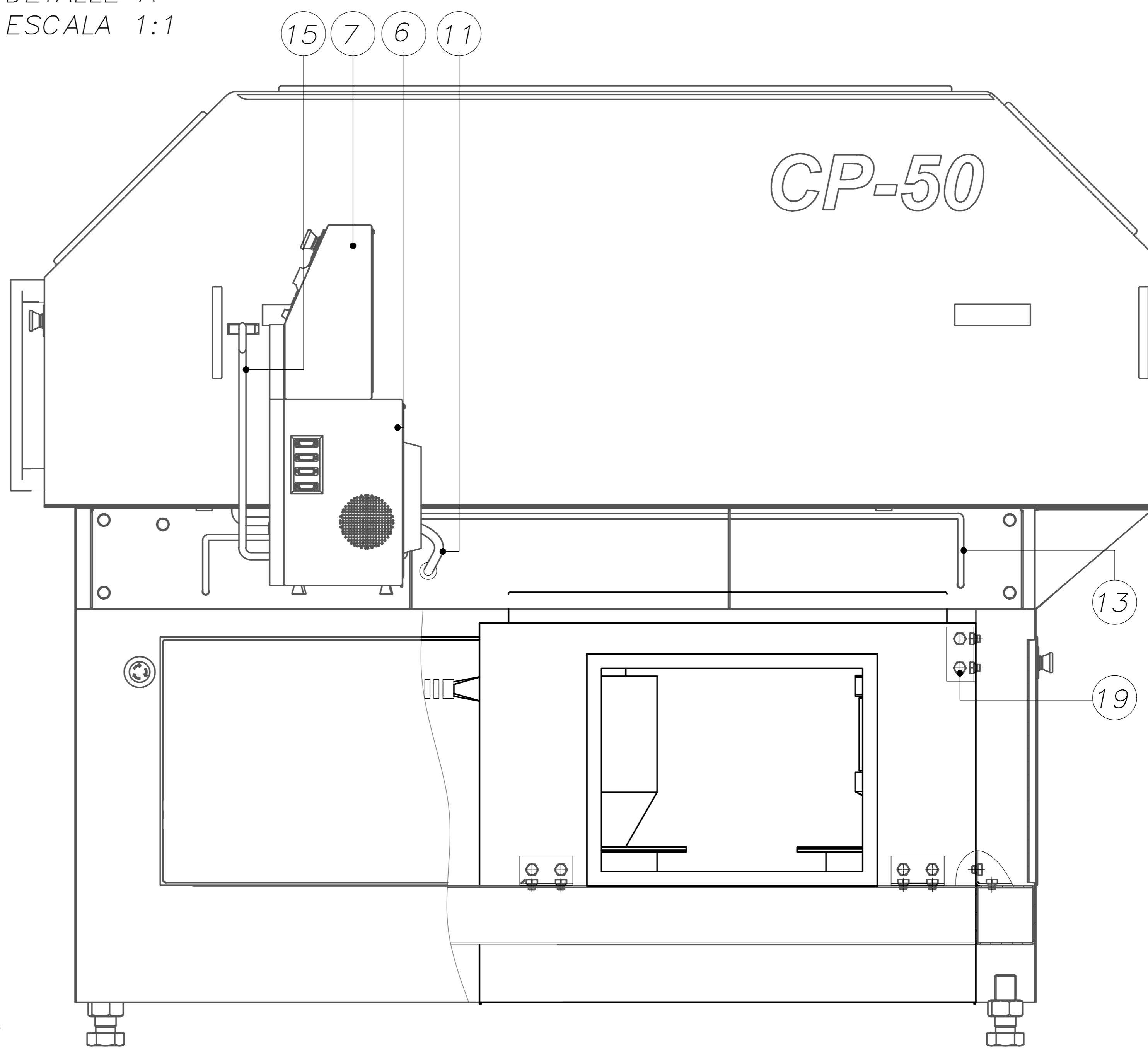
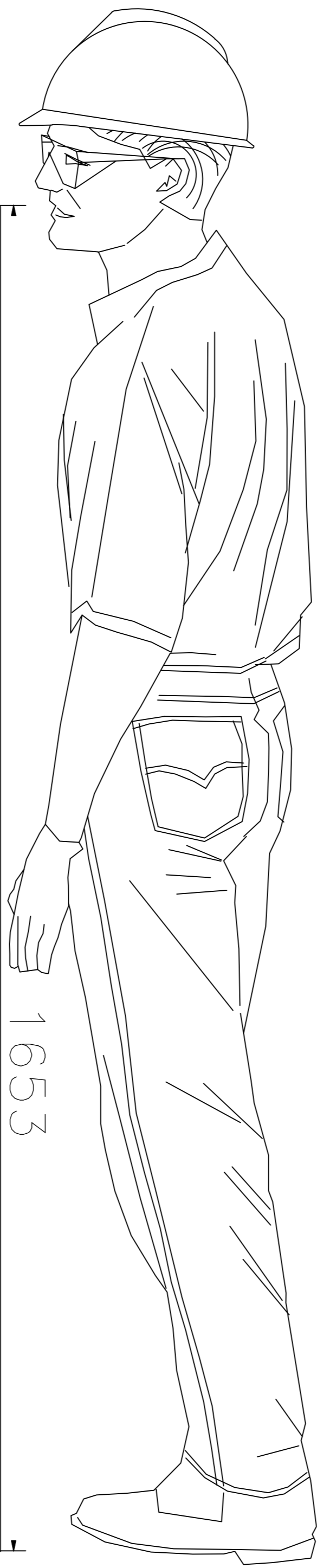
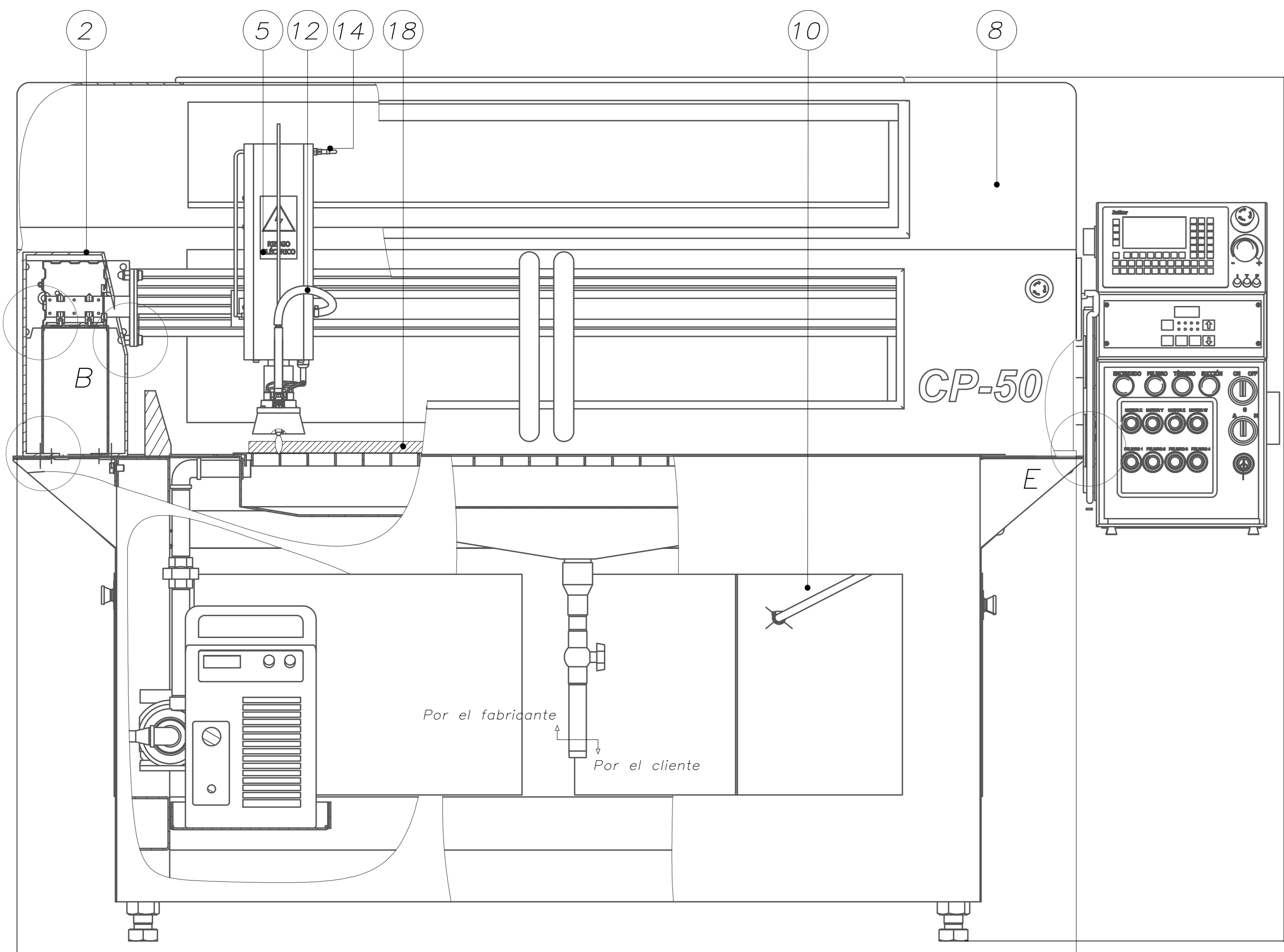
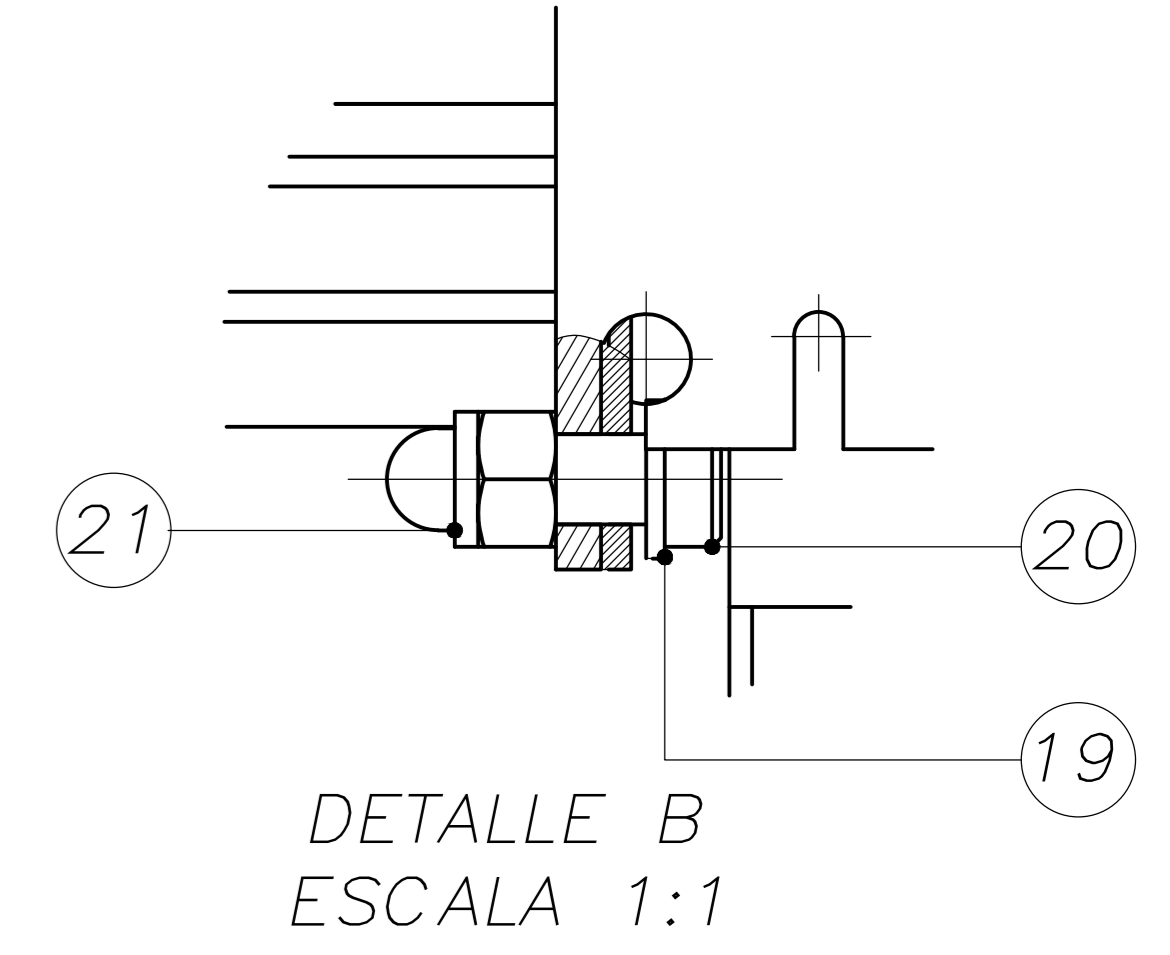
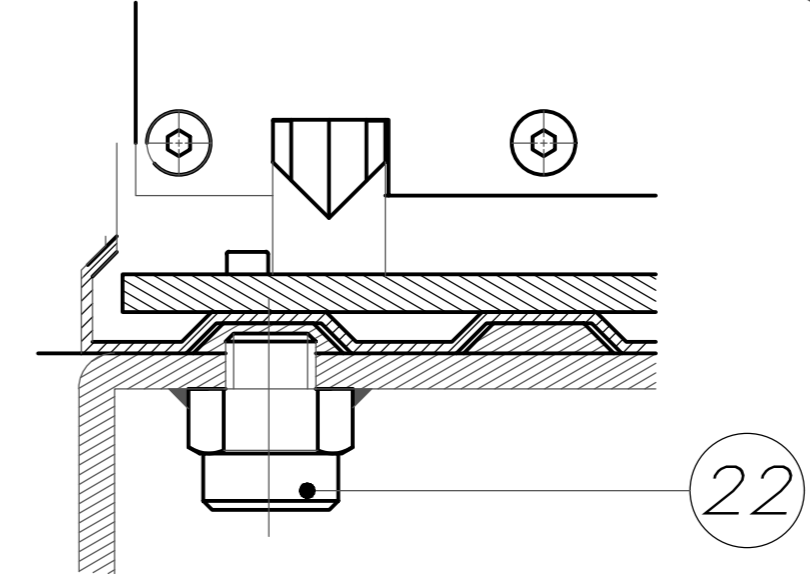
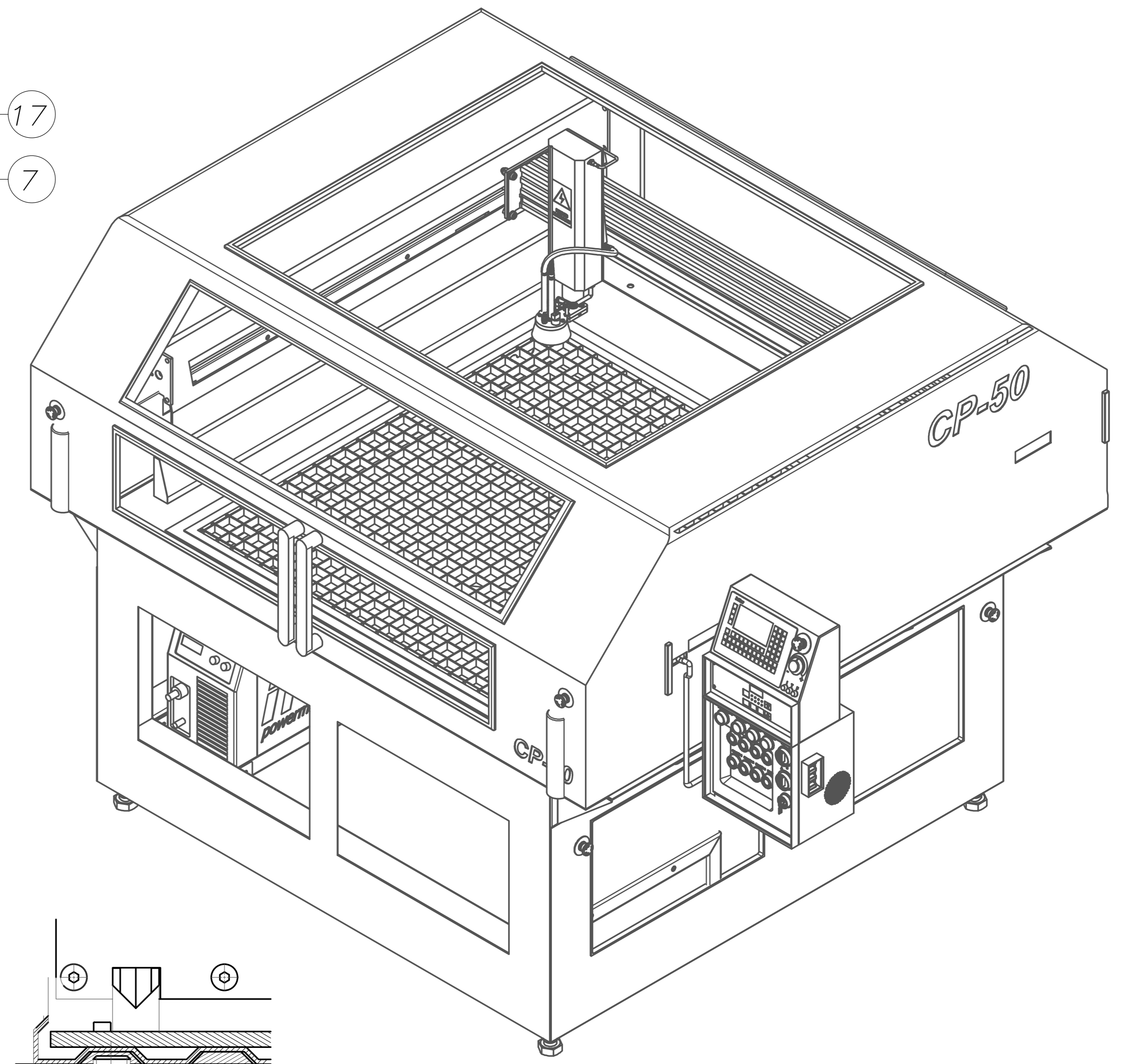
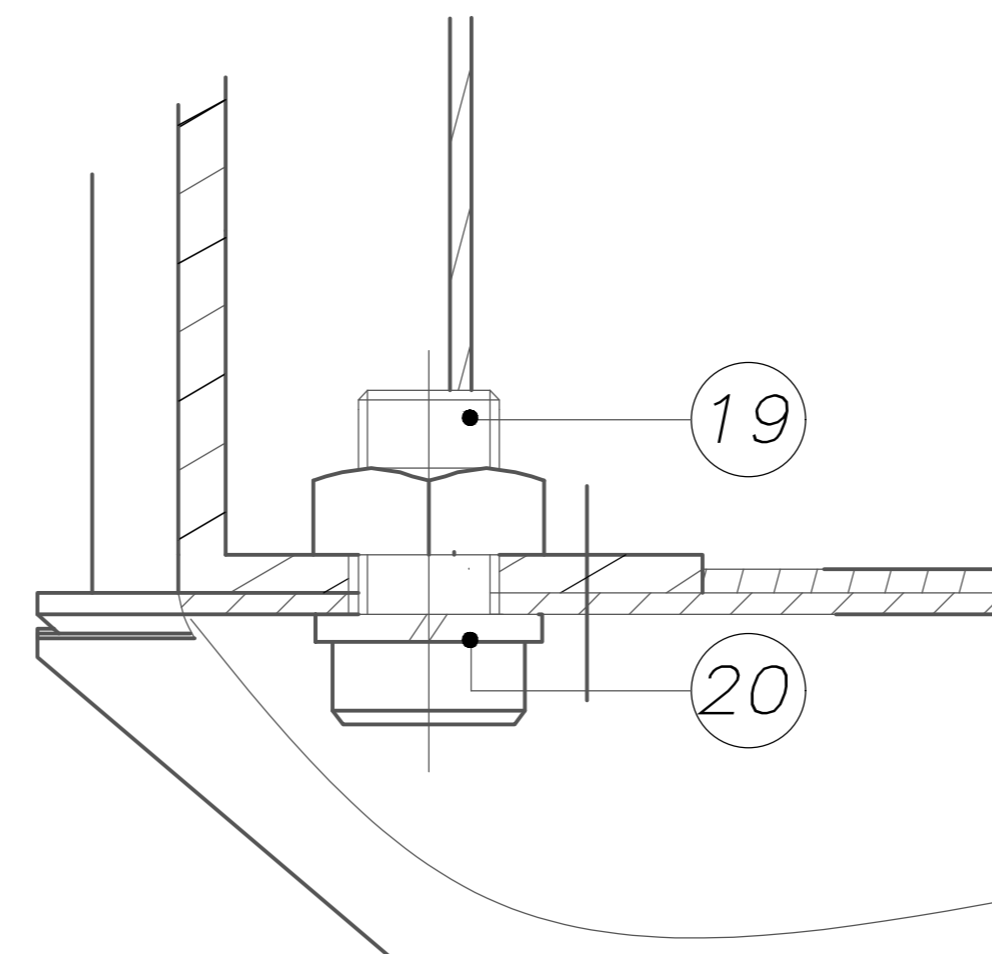
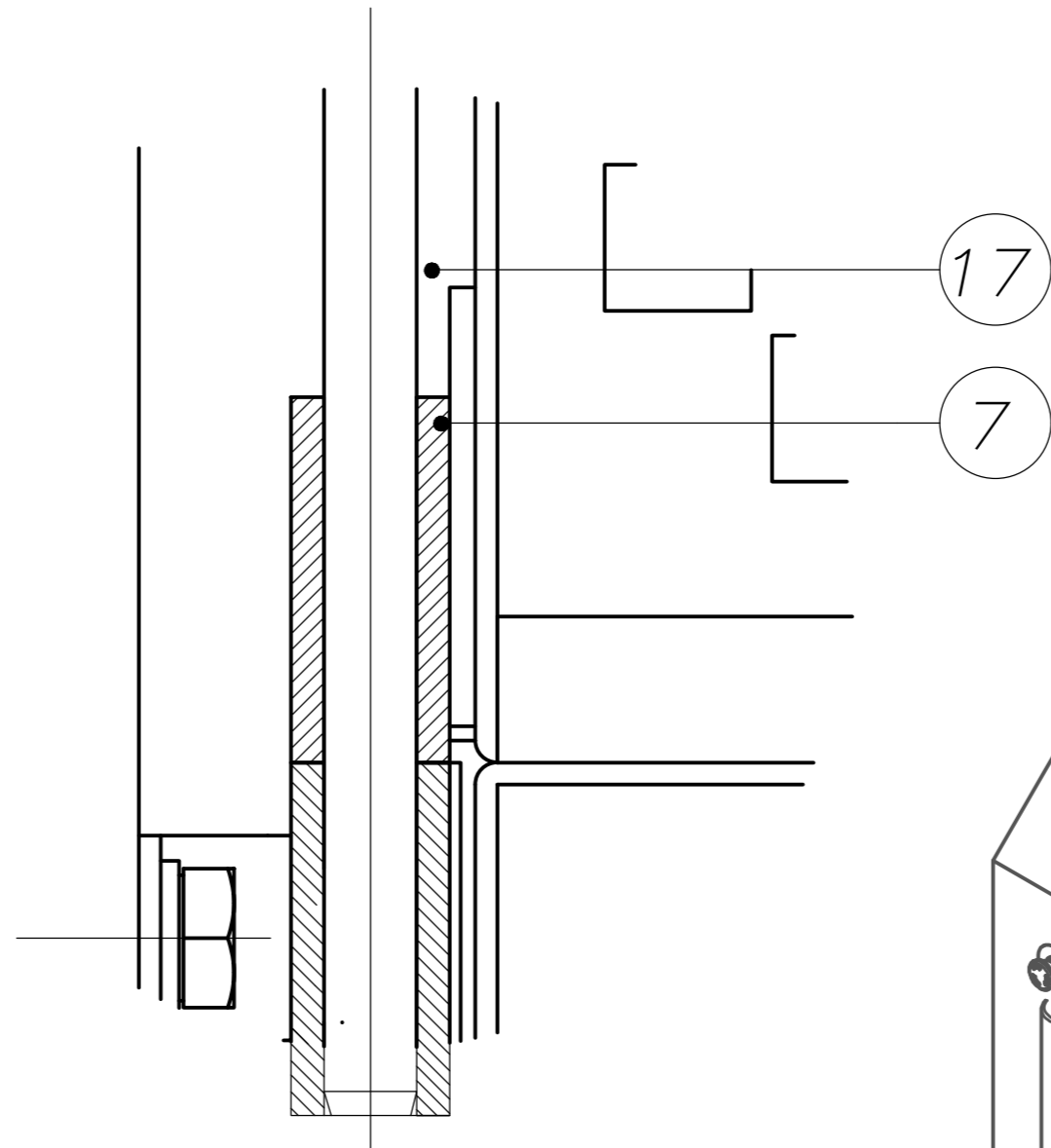
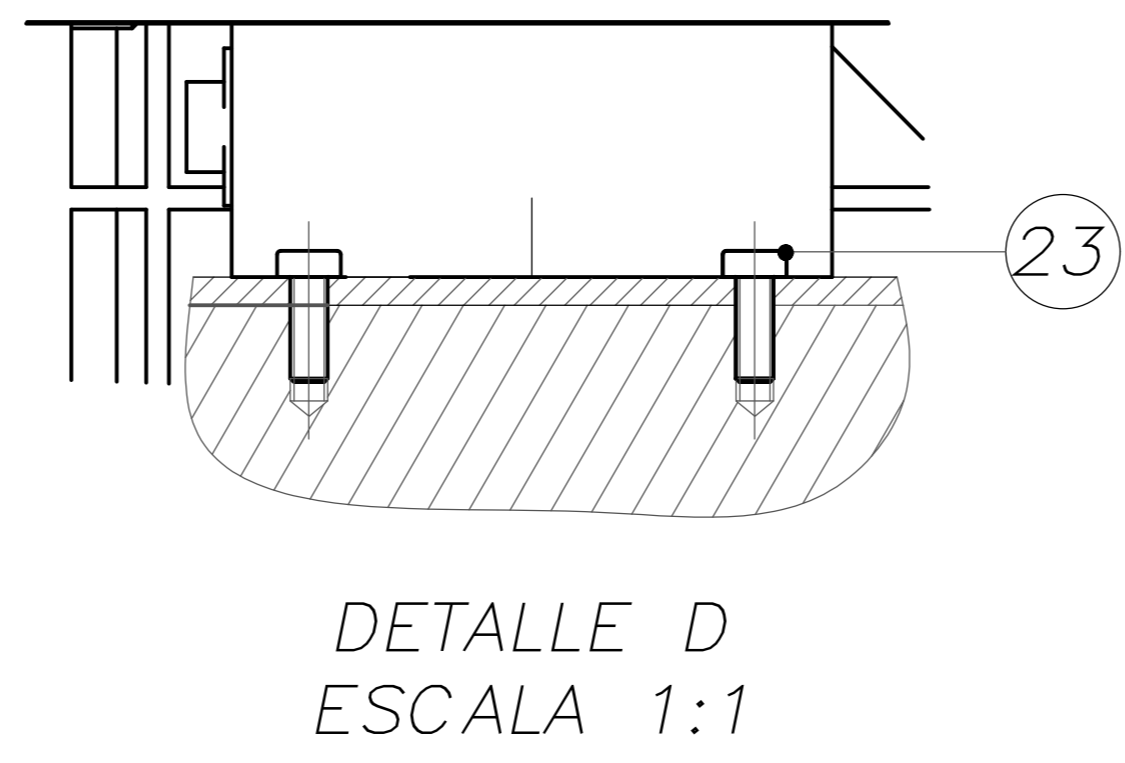
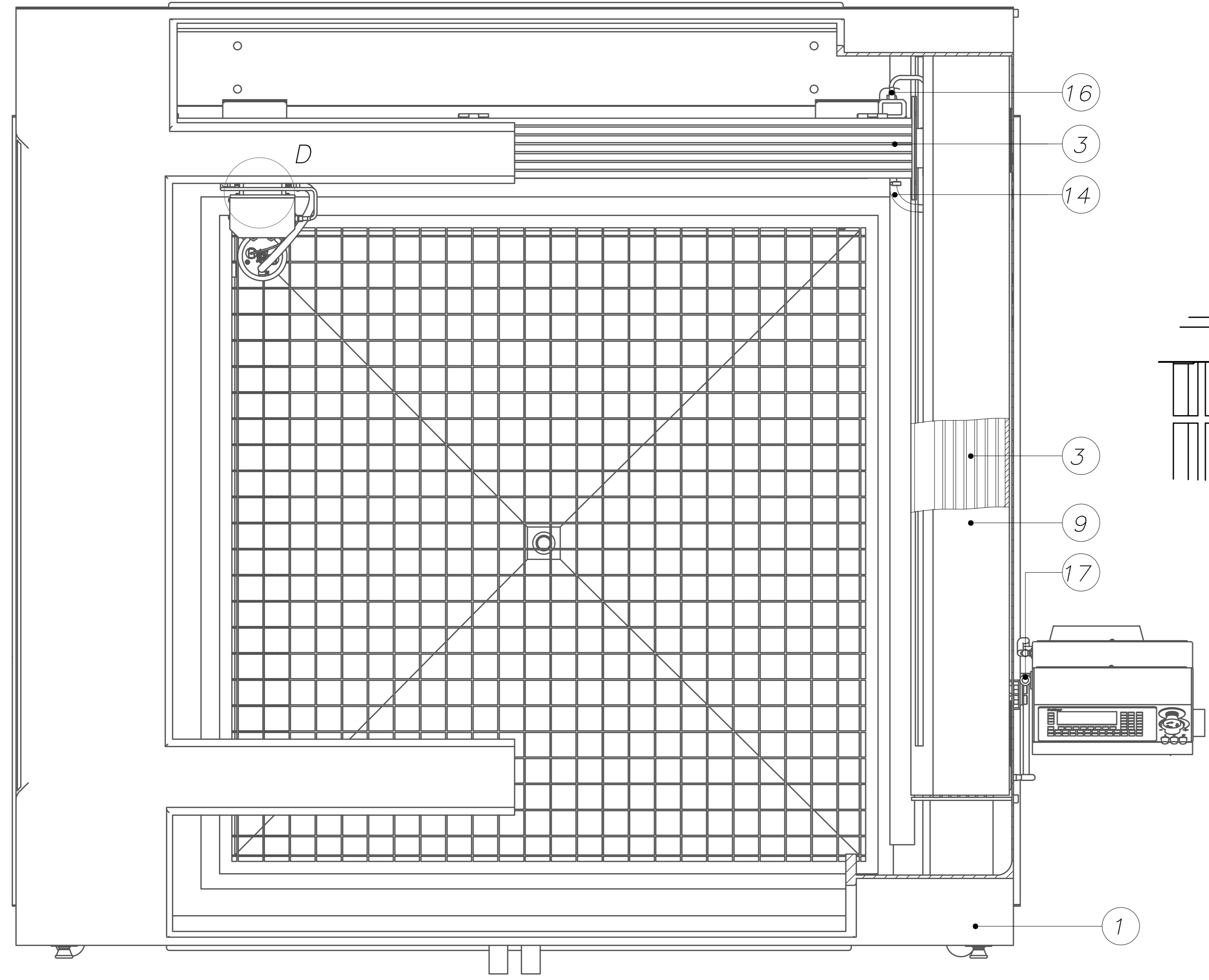
LISTA DE PLANOS				
Tipo	Título	Código	Escala	Nº
	Guía trapecial	F23-A4	2:1	34
	<b>Eje roscado Tr26</b>	<b>F24-A4</b>	<b>2:1</b>	35
	Cortina de seguridad	F25		36
	Caja de seguridad	F26		37
	Empaque 130x36x6	F27		38
	<b>Base de carro móvil</b>	<b>F28-A3</b>	<b>1:1</b>	39
	Bloque de unión	F29-A4	1:1	40
	<b>Base de chumacera</b>	<b>F2A-A4</b>	<b>2:1</b>	41
	<b>Soporte de motor</b>	<b>F2B-A4</b>	<b>1:1</b>	42
	Soporte de sensor	F2C		43
	<b>Tapa de chumacera</b>	<b>F2D-A3</b>	<b>2:1</b>	44
	Tapa lateral de cobertor	F2E-A4	2:1	45
	Soporte base de GLL	F2F	2:1	46
	<b>Tapa de carro móvil</b>	<b>F2G-A4</b>	<b>1:1</b>	47
	Pasador 5h11x60	F2H		48
	Otros:	F2I		49
FABRICACIÓN	Cobertor 1476x208x146	F30		50
	Guía de movimiento	F31		51
	Rigidizador	F32		52
	Placa durmiente	F33		53
	Cortina de seguridad	F34		54
	Placa 105x210x12	F35		55
	cuerpo central 210x40x40	F36		56
	Soporte de ejes 210x40x20	F37		57
	tapa lateral 110x40x5	F38		58
	bloque unión 50x150x40	F39		59
	eje escalonado 20x40	F3A		60
	Ruedas 50x10	F3B		61
	Otros:	F3C		62
	Placa unión Z 463x131x6	F40		63
	tobera	F41		64
	Soporte de terminal	F42		65
	Soporte guía	F43		66
	Resortes contra el impacto	F44		67

Tabla F.1 Lista de planos (elaboración propia)

<b>LISTA DE PLANOS</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Escala</b>	<b>Código</b>	<b>Escala</b>	<b>N°</b>
<b>FABRICACIÓN</b>	Soporte de receptor	F45		68
	Otros:	F46		69
	Cubierta principal	F50-A2	1:1	70
	Soporte de tarjetas	F51		71
	Tapa	F52		72
	Otros:	F53		73
	Caja de protección	F60		74
	Soporte de THC	F61		75
	Soporte de componentes	F62		76
	Tapa posterior	F63		77
	Otros:	F64		78
	Cuerpo central	F70		79
	Platinas	F71		80
	Sujetador	F72		81
	Soporte C	F73		82
	Tapa superior	F74		83
	Base	F75		84
	Ruedas	F76		85
	Sujetador de ruedas	F77		86
	Anillo soporte	F78		87
Soporte de punta láser	F79		88	
Otros:	F7A		89	
<b>CONEXIONES ELÉCTRICAS</b>	<b>Plano esquemático de conexiones</b>	<b>CE1-A2</b>	-	90
	Fabricación de cables	CE2		91
	Lista de componentes eléctricos	CE3-A3	-	92
	<b>Plano eléctrico potencia y control</b>	<b>CE4-A2</b>	-	93
	Conexiones en vista real	CE5	-	94
<b>TARJETAS ELECTRÓNICAS</b>	<b>Circuitos electrónicos</b>	<b>TE1-A2</b>	-	95
	Tarjetas PCB	TE2		96
<b>CONTROL</b>	Vista de tableros y controles	C1		97
	Diagrama de lazos de control	C2	-	98
<b>PROGRAMACIÓN</b>	Diagrama de flujo de software	P1	-	99
	Programa	P2	-	100
<b>TOTAL</b>	100 planos			

**F.2 Planos de ensamble y fabricación:**

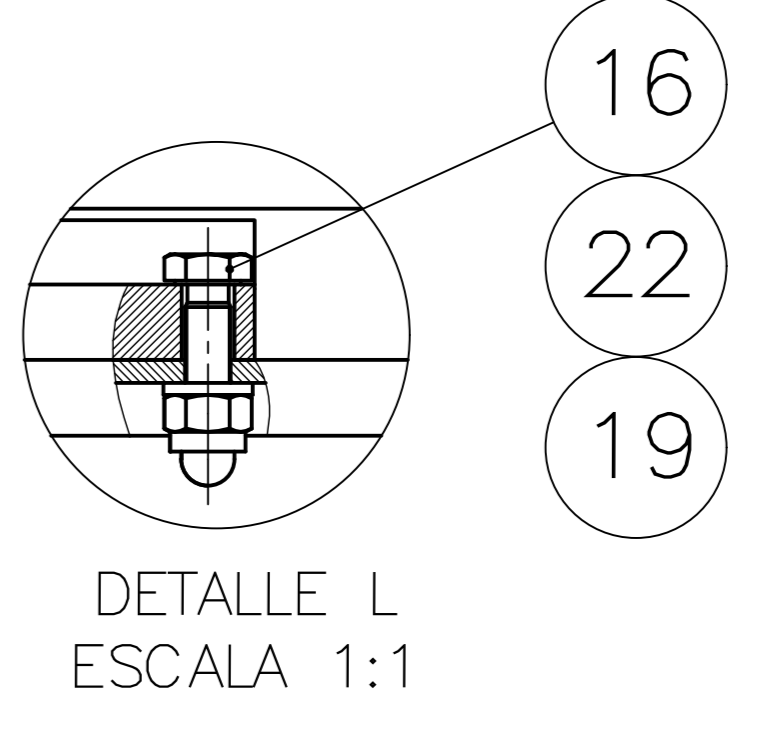
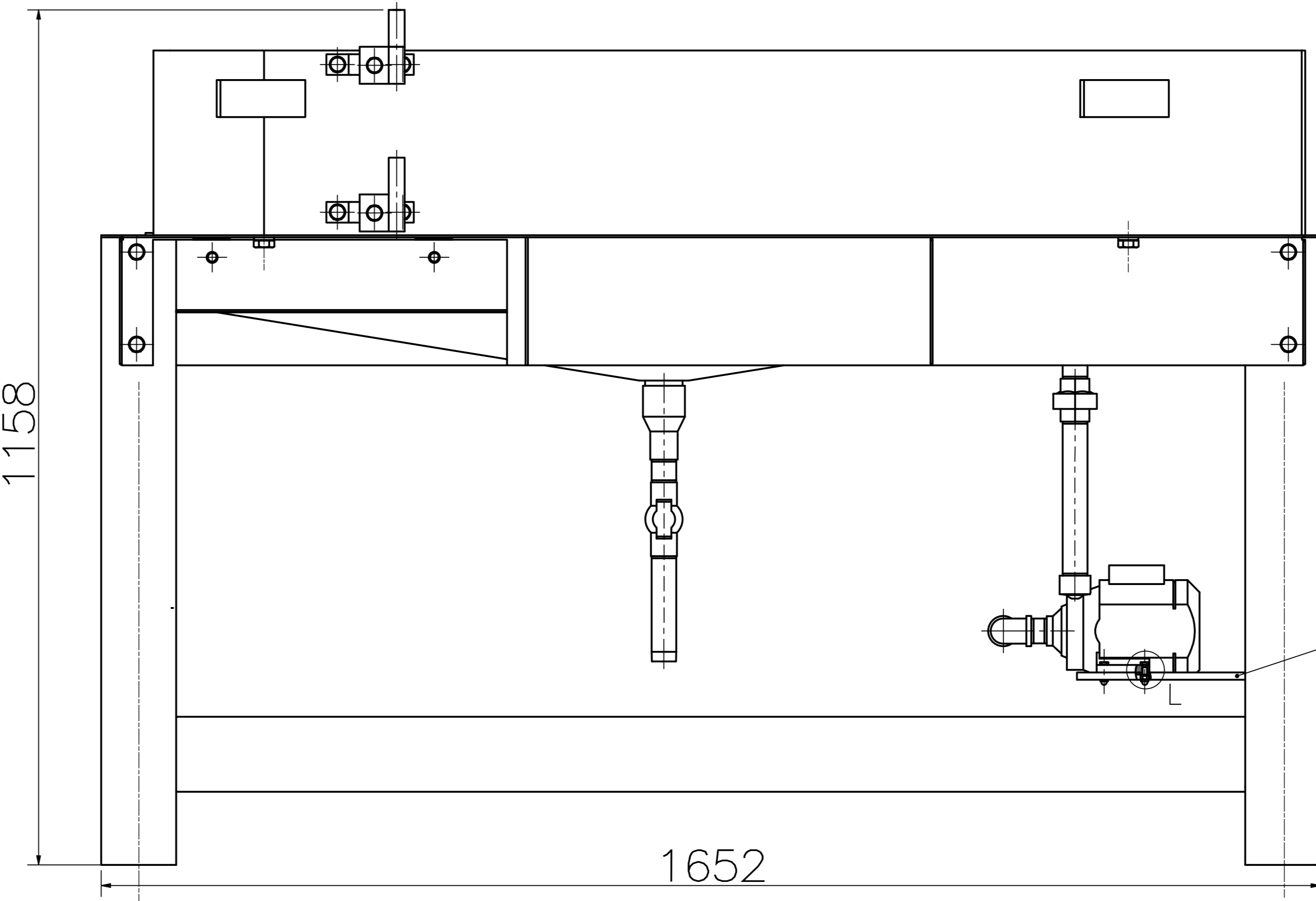
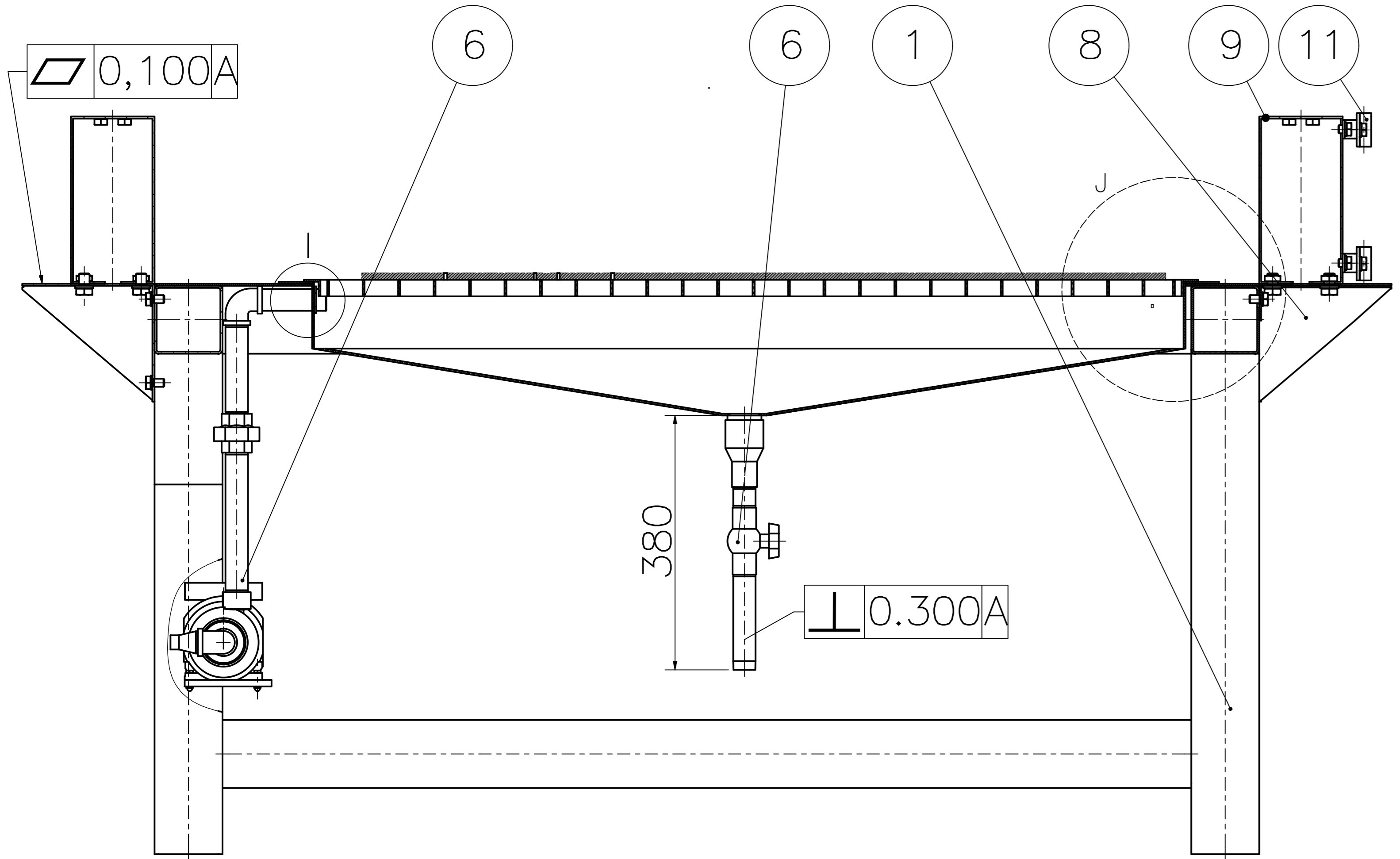
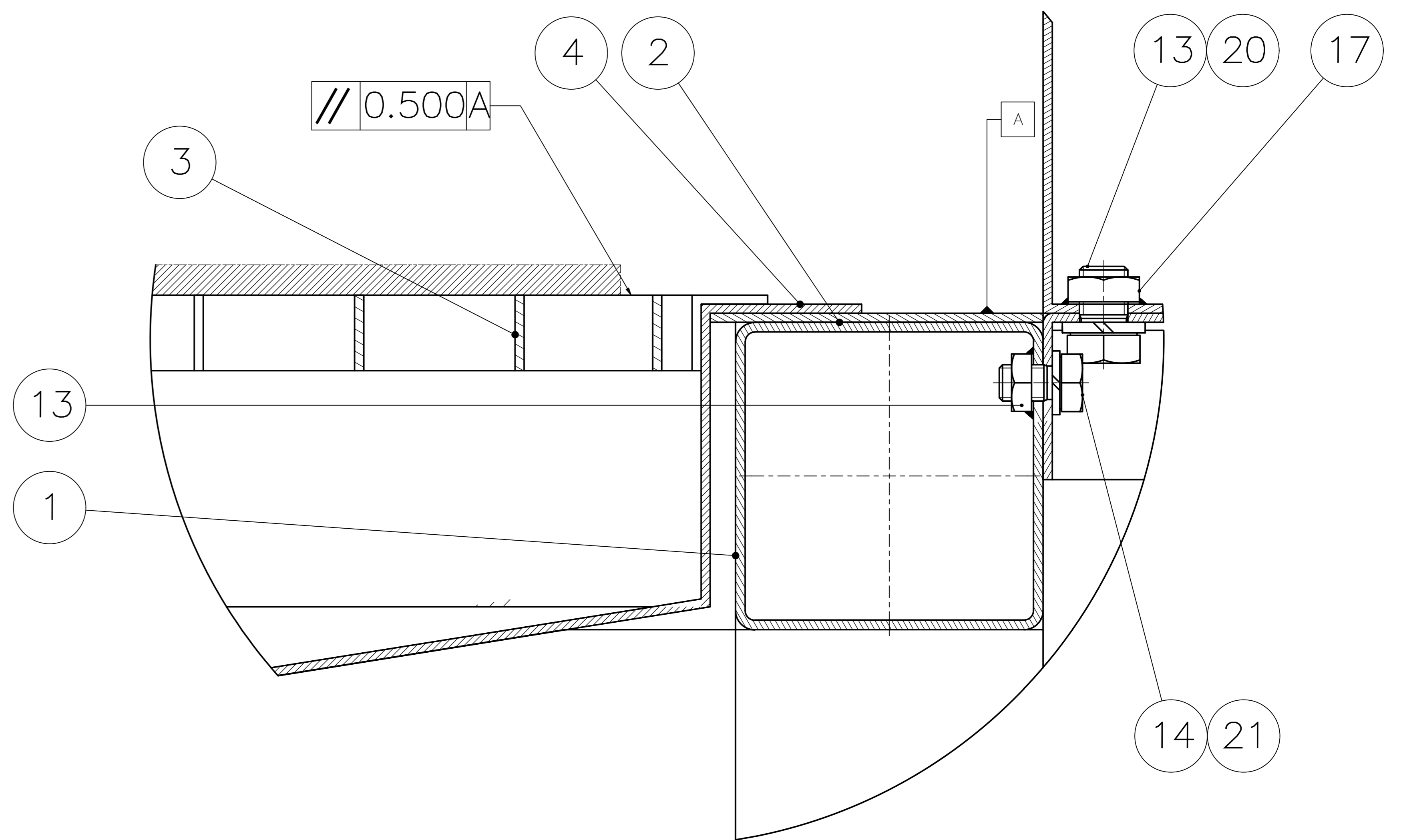
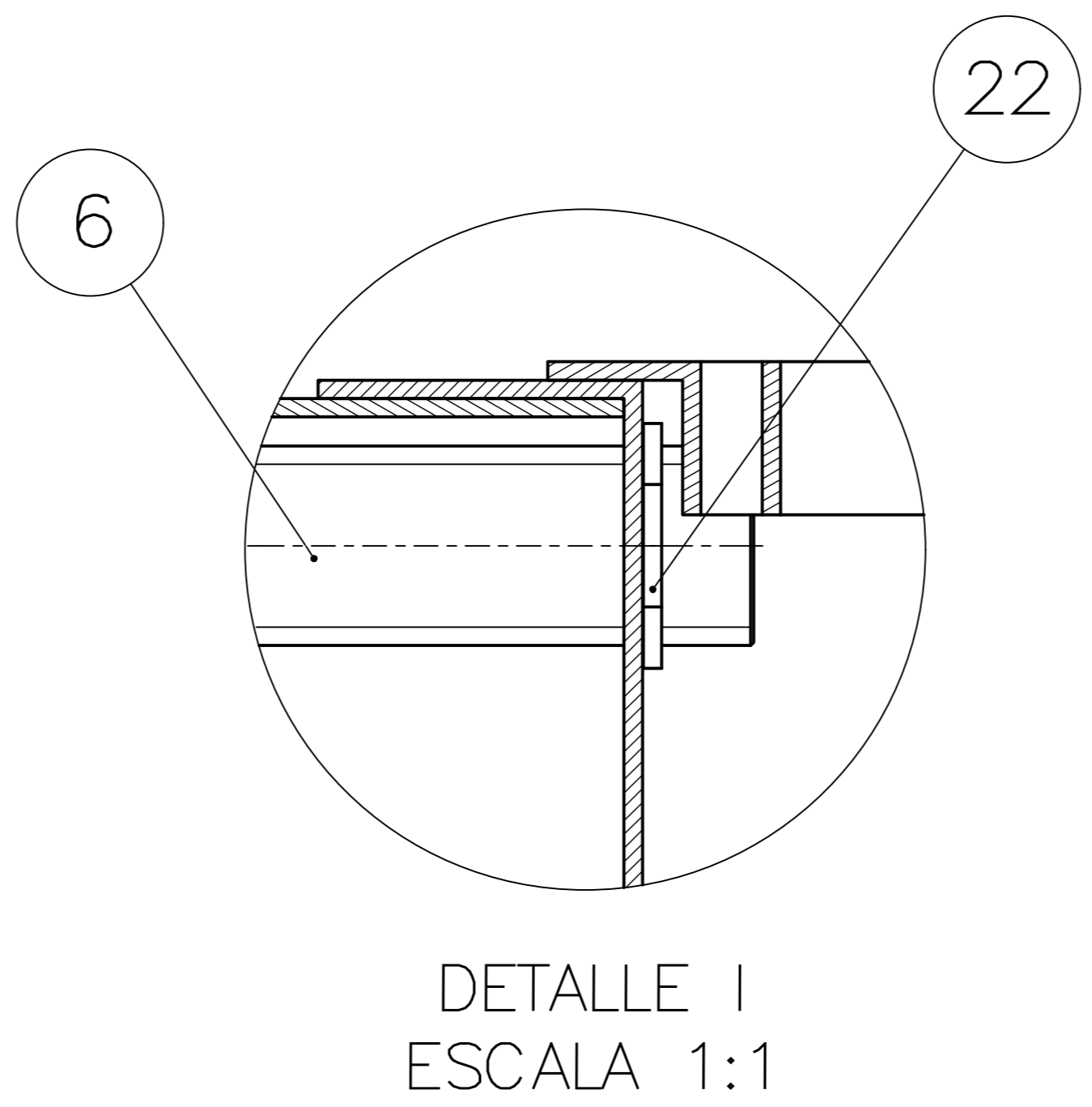
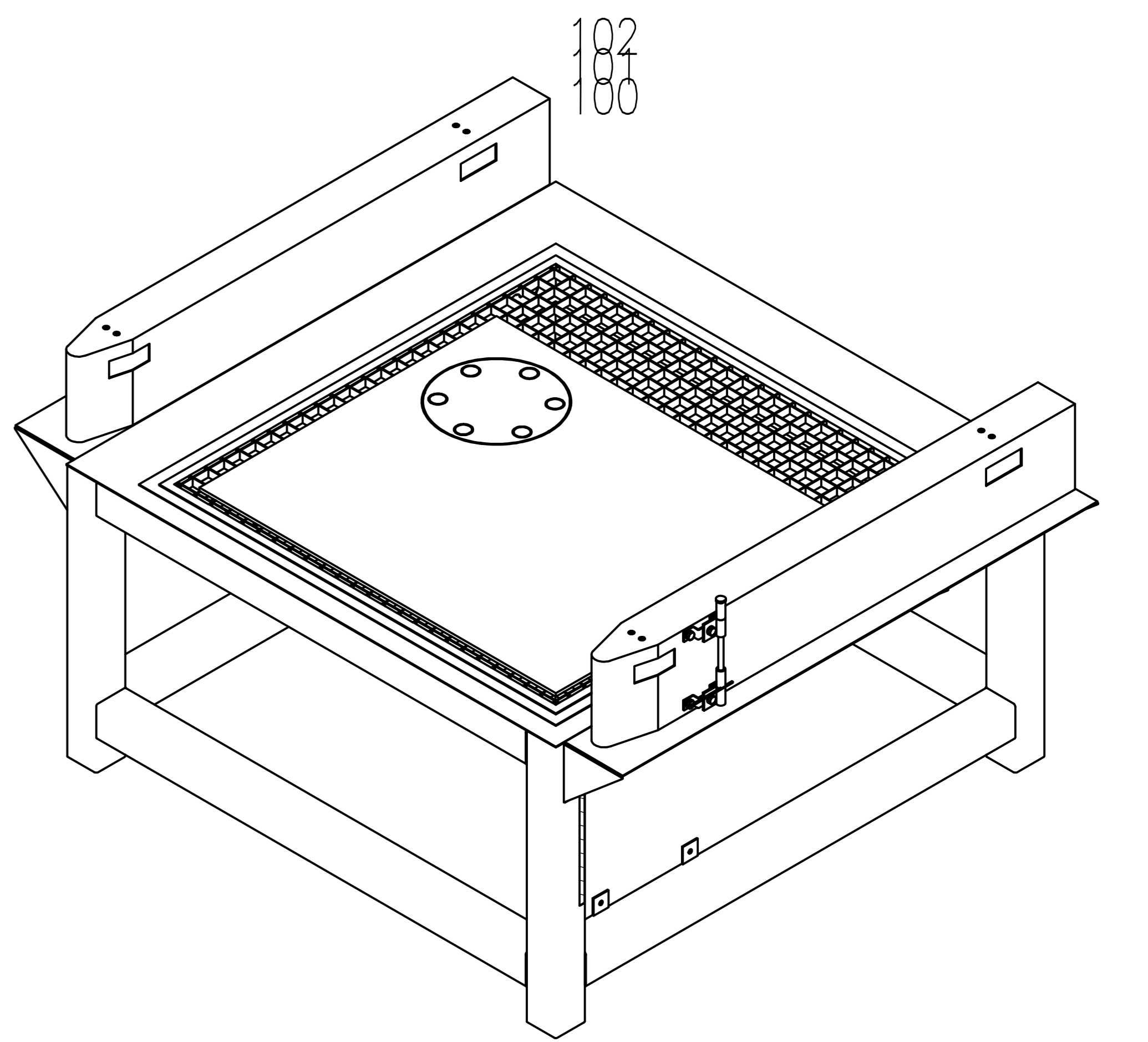
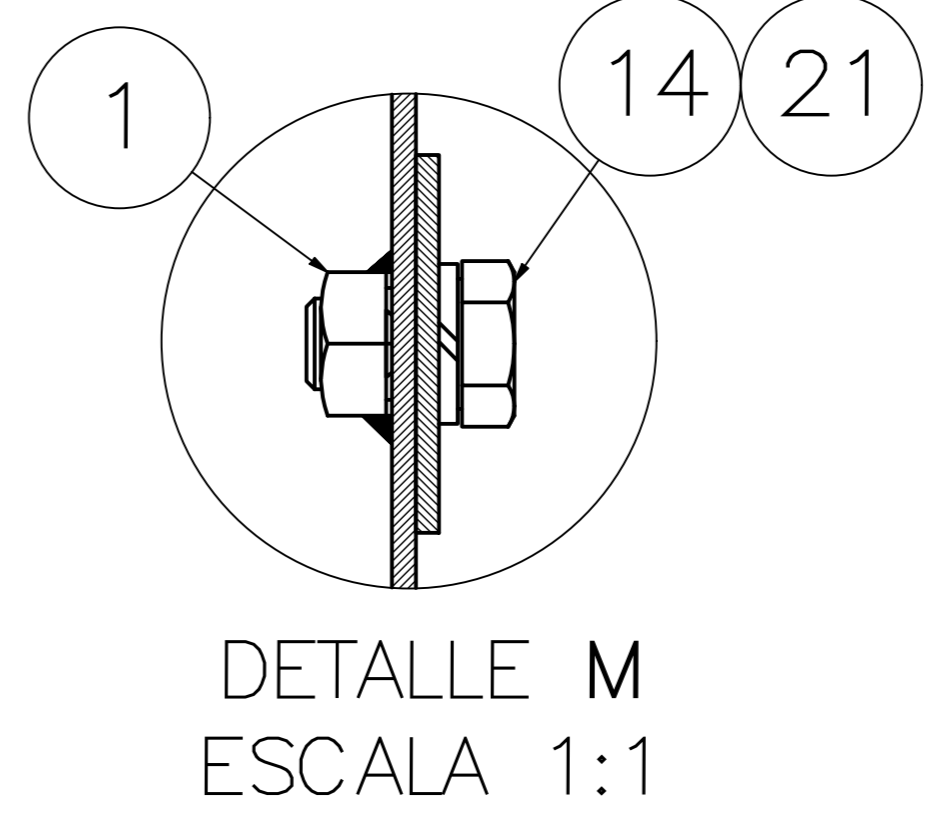
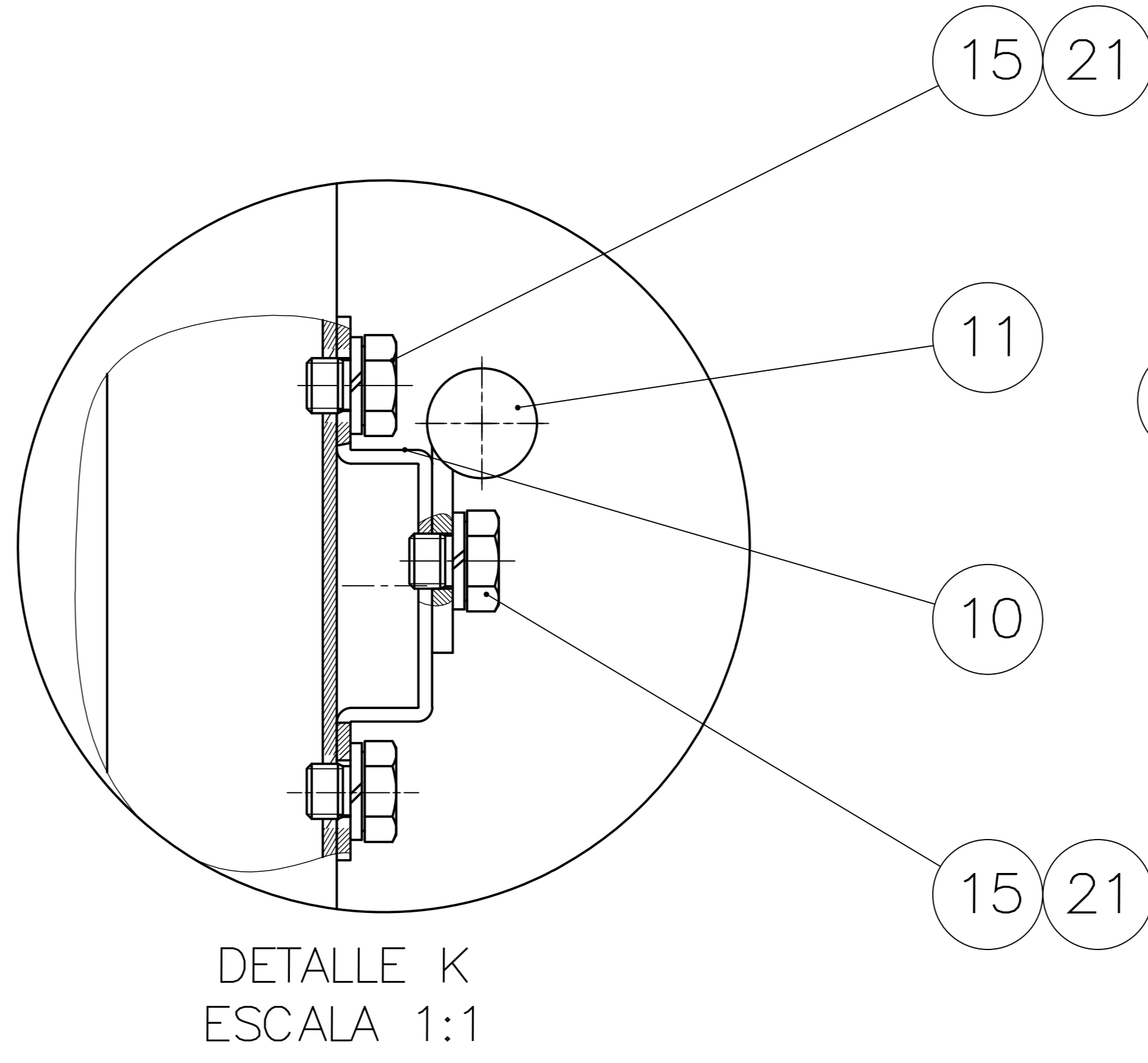
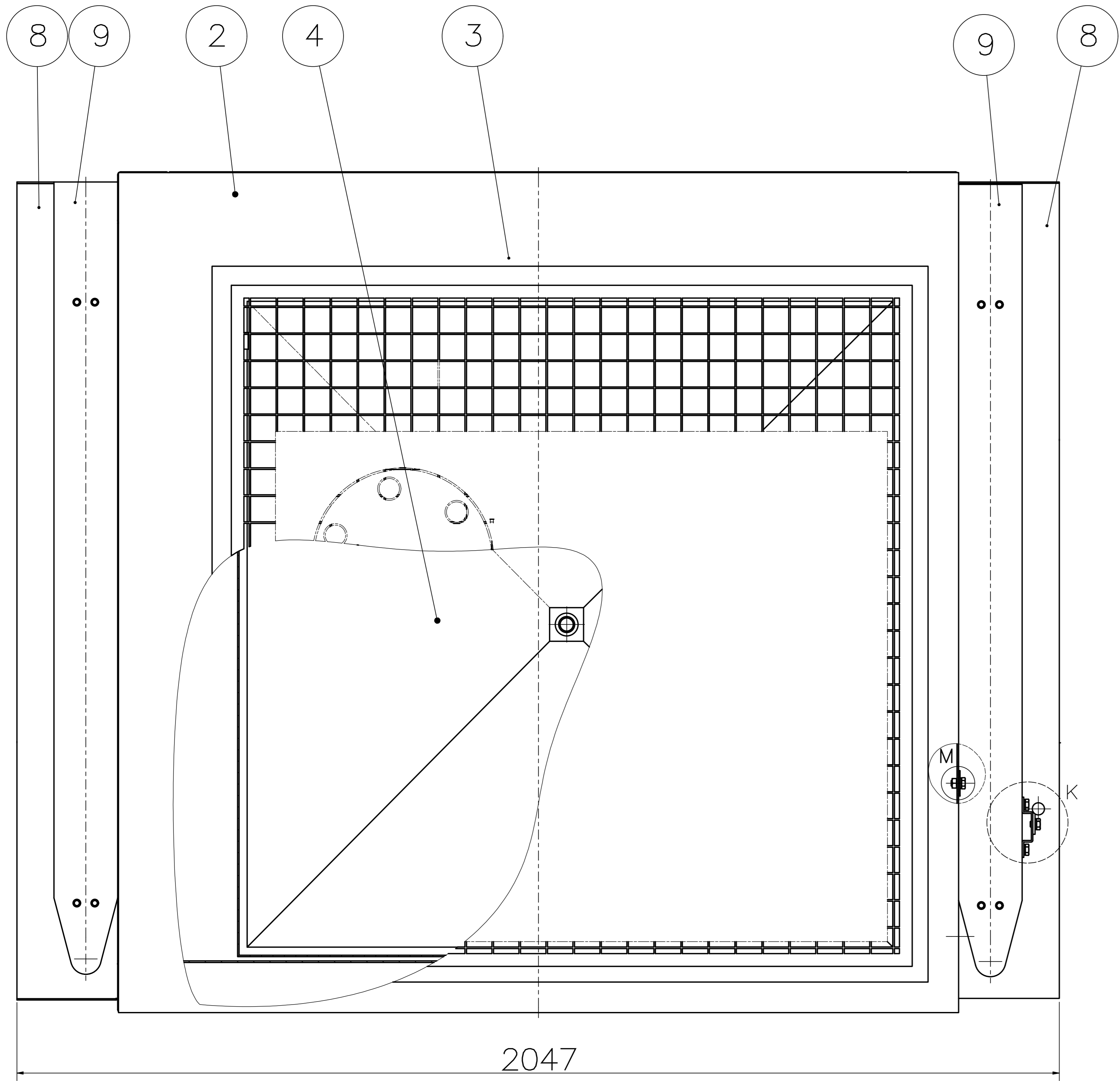
Se presentan los planos que han sido resaltados con negrita en la lista de planos, se seleccionó estos por ser los principales para la fabricación y el ensamble de la máquina.



POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORM.	MATERIAL	OBSERVACIONES
26	2	Perno hexagonal M12 x 22	DIN 933	8.8	
25	1	Pasador 12 x11 x 300	DIN 1434	St 50.11	
24	2	Perno hexagonal M 5 x 20	DIN 933	8.8	
23	6	Perno cilíndrico M 5 x 16	DIN 6912	8.8	
22	8	Perno cilíndrico M 12 x 16	DIN 6912	8.8	
21	8	Tuerca de soplete M 12	DIN 986	5 S	
20	10	Aro de muelle A12	DIN 127	CuSn8	
19	36	Perno cilíndrico M12 x 25	DIN 6912	8.8	
18	1	Pieza a cortar PL 1200x1000x30			
17	1	Pasador 12x11x300	DIN 1434	St50.11	
16	1	Conector se señal 764mm			Plano C22
15	1	Conector se señal 264mm			Plano C22
14	1	Conector se señal 514mm			Plano C22
13	1	Cable de succión 946mm - Eje Y			Plano F74
12	2	Cable de succión 530mm			Plano C22
11	1	Cable de potencia			Plano C22
10	1	Sistema de limpieza			Plano E10
9	2	Resguarda de 1200mm			Plano E72
8	1	Cobertor exterior			Plano E8
7	1	Tablero de control			Plano E7
6	1	Caja eléctrica			Plano E5
5	1	Cabezal de corte			Plano E4-A2
4	1	Sistema de movimiento - Eje Y			Plano E2-A0
3	1	Sistema de movimiento - Eje X			Plano E2-A0
2	1	Sistema guía - Eje X			Plano E3-A1
1	1	Mesa base de corte			Plano E1-A0

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORM.	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU					
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESP. DE INGENIERIA MECATRONICA					
Tesis para optar al título de Ingeniero Mecatrónico					
ENSAMBLE DE CORTADORA AUTOMÁTICA					ESCALA 1:10
20111051	PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL				FECHA 2019.06.20
CRISTO VIVE ESTRUCTURAS METÁLICAS					AUTORA EPT. JAS

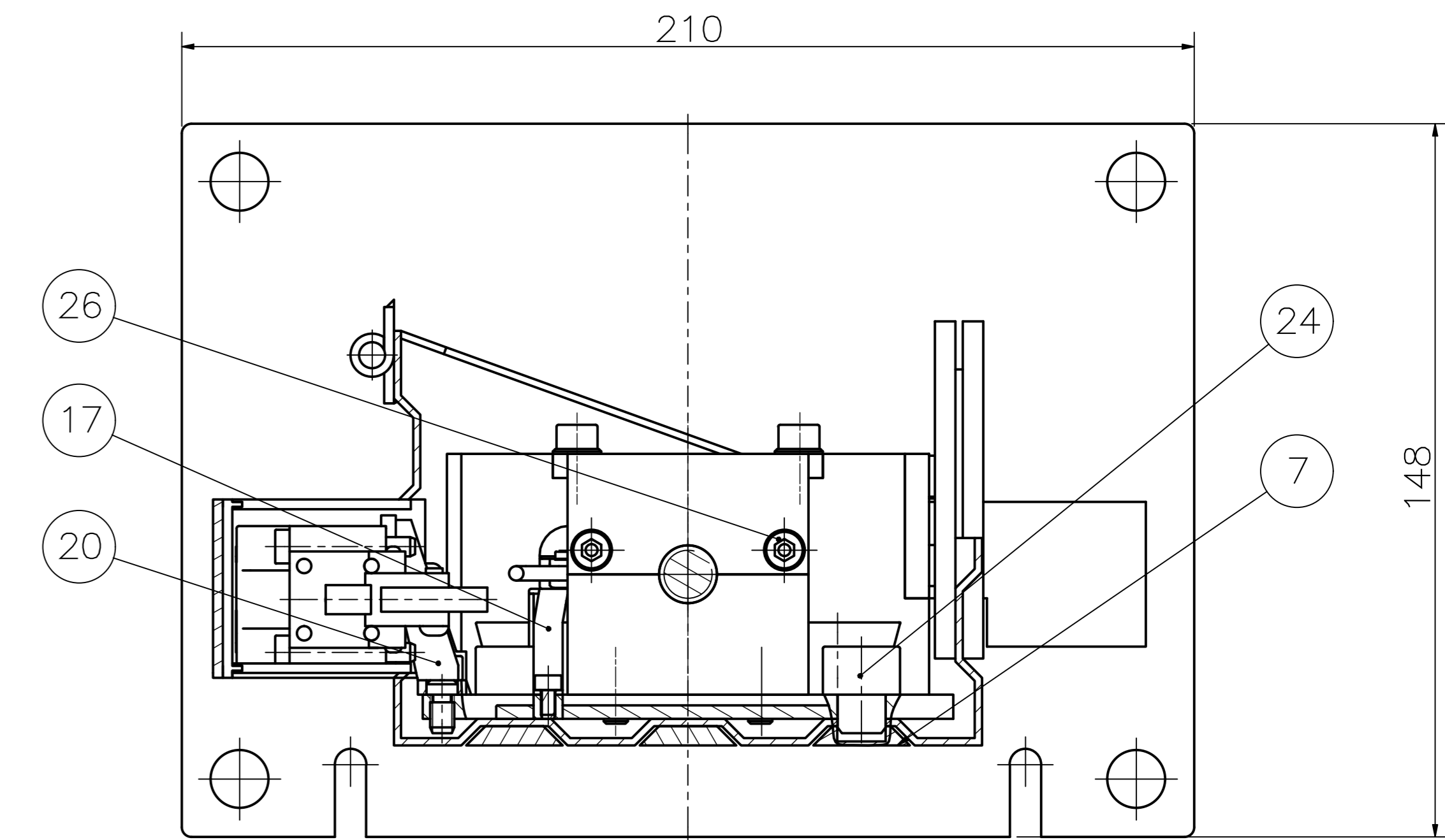
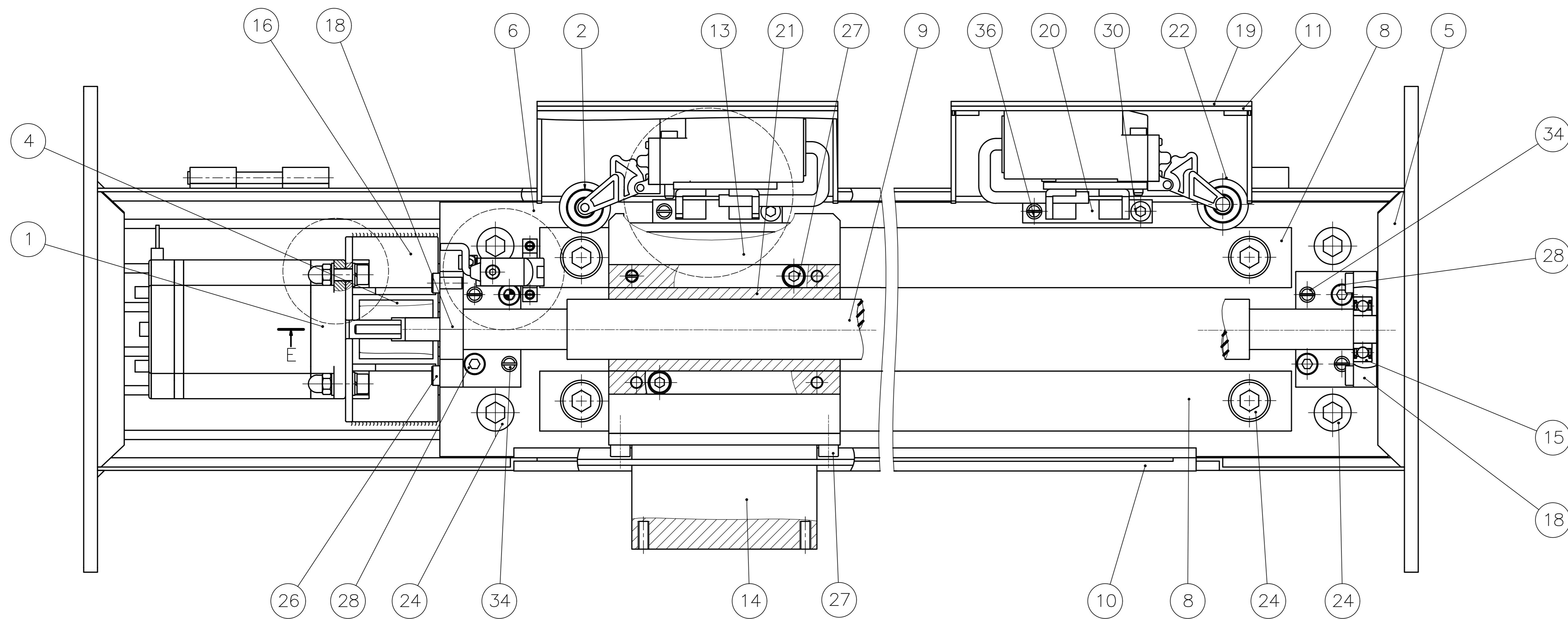
2026



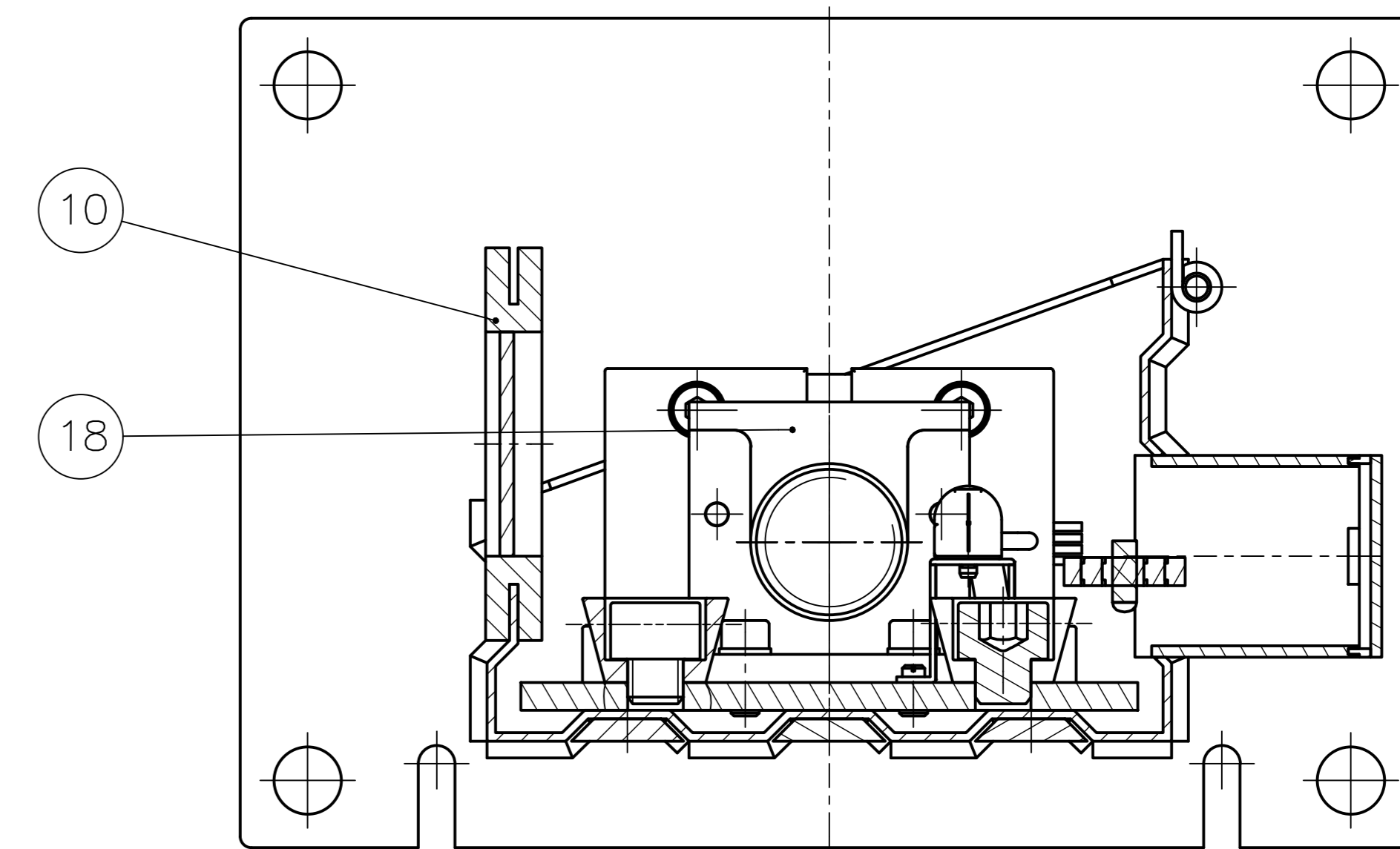
22	4	Arandela de muelle A 6	DIN 127	CuSn8	
21	18	Arandela de muelle A 12	DIN 127	CuSn8	
20	8	Arandela de muelle A 16	DIN 127	CuSn8	
19	4	Tuerca de sombrerete M6	DIN 986	8	
18	16	Tuerca para soldar M 12	DIN 929	8	
17	8	Tuerca para soldar M 16	DIN 929	8	
16	4	Tornillo exagonal M6 x 16	DIN 933	8,8	
15	6	Tornillo exagonal M 12 x 12	DIN 933	8,8	
14	10	Tornillo exagonal M 12 x 20	DIN 933	8,8	
13	8	Tornillo exagonal M 16 x 22	DIN 933	8,8	
12	1	Tuerca exagonal			Plano F1-A1
11	2	Bisagra 1/8" x 6"x3	hojas	ASTM A-36	
10	2	Soporte de bisagra 128x21x28		ASTM A 1008	Plano F1-A1
9	2	Soporte superior 1556x125x250		ASTM A-36	Plano F1-A1
8	2	Soporte lateral 1606x198x171		ASTM A-36	Plano F1-A1
7	1	Soporte de bomba 130x228 x10		ASTM A-36	Plano F1-A1
6	1	Sistema de bombeo de agua			Plano S1-01
5	1	Pieza a cortar			
4	1	Campana a 4 aguas		ASTM A 1008	Plano F1-A1
3	1	Rejilla cuadrada 1337x1337x25		ASTM A-36	Plano F1-A1
2	1	Lamina de soporte 1652x1652x3		ASTM A 1008	Plano F1-A1
1	1	Estructura base 1652x1652 x850		ASTM A500	Plano F1-A1
POSICION	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES	

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA - ESP. DE INGENIERIA MECATRONICA		
Metodo de Proyección: Tercera Angulo		
METODO DE PROYECCION	SUB-ENSAMBLE DE MESA BASE DE CORTE	ESCALA 1:5
20111051	PEREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.10
		LAMINA: ET-AD

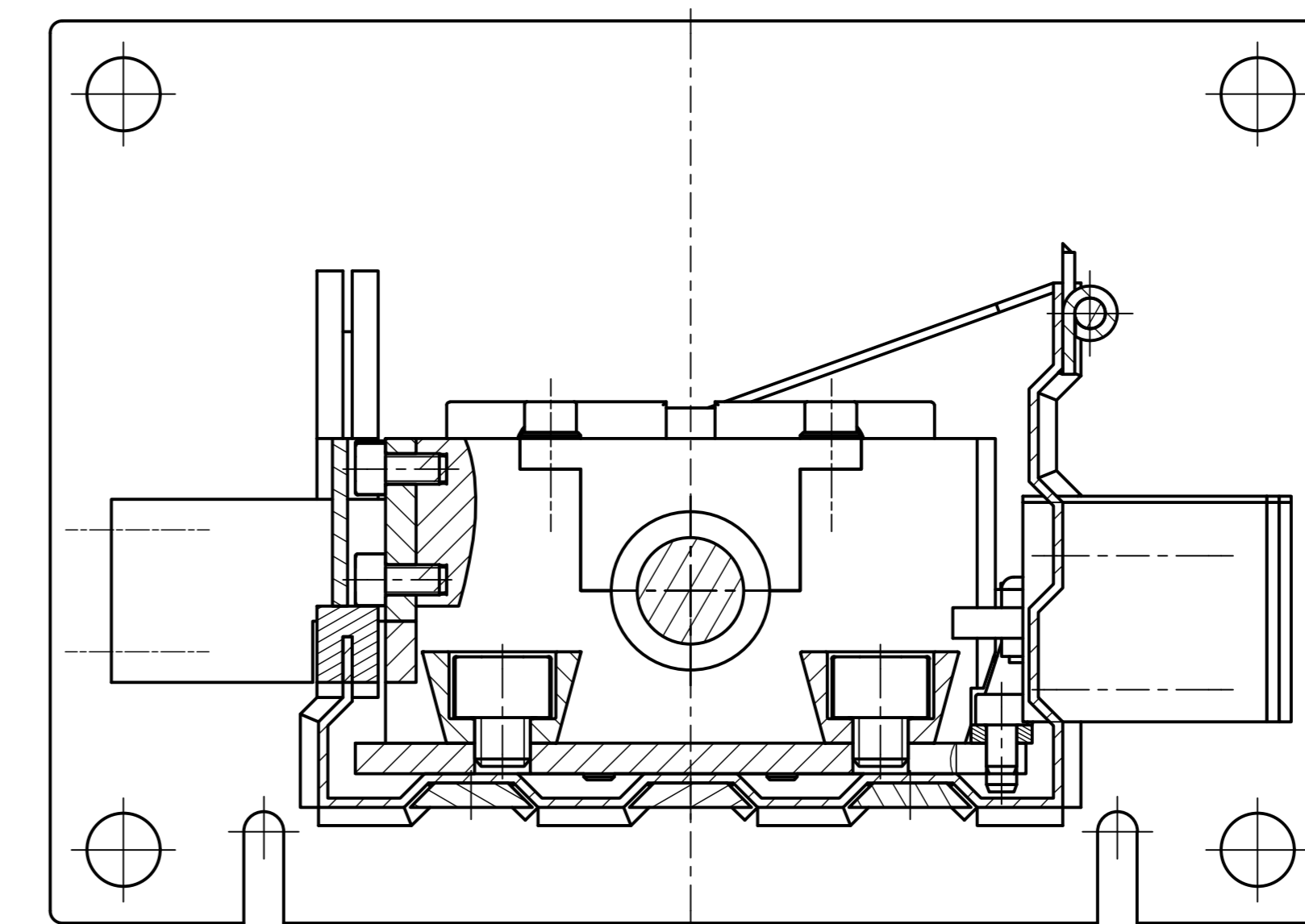
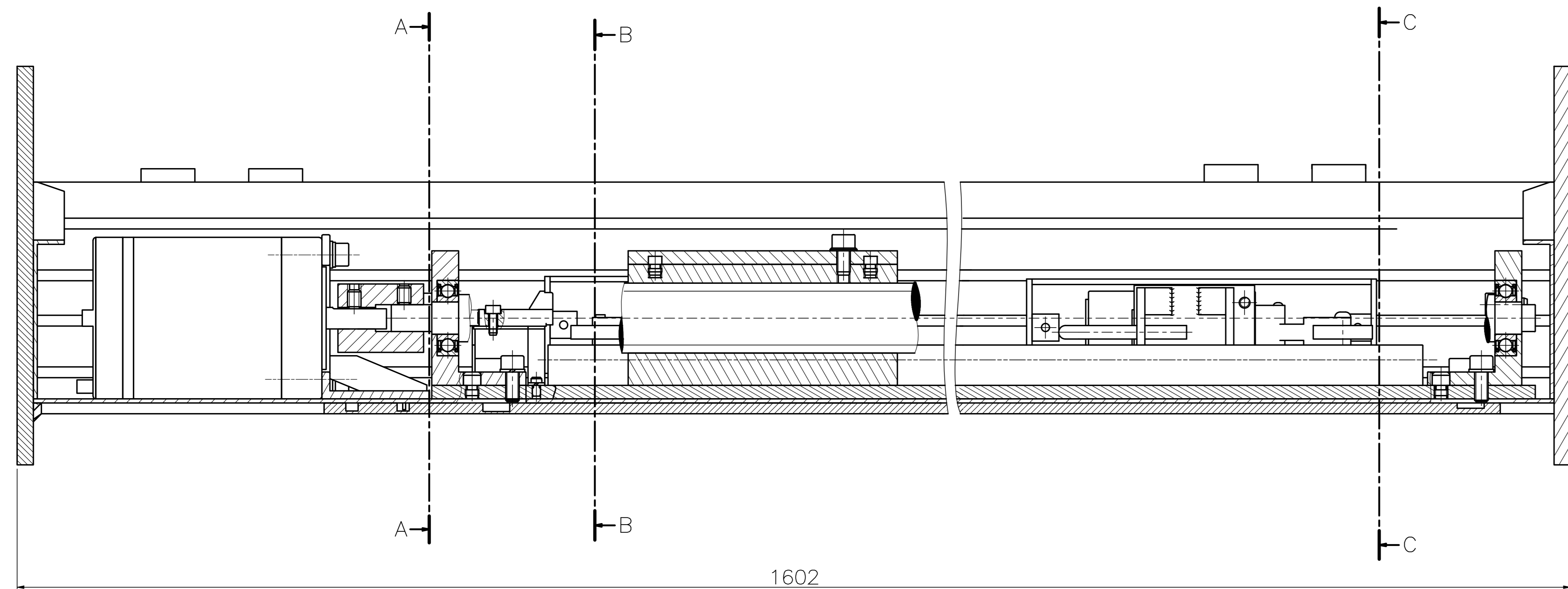
COTA NOMINAL COTA MAXIMA COTA MINIMA



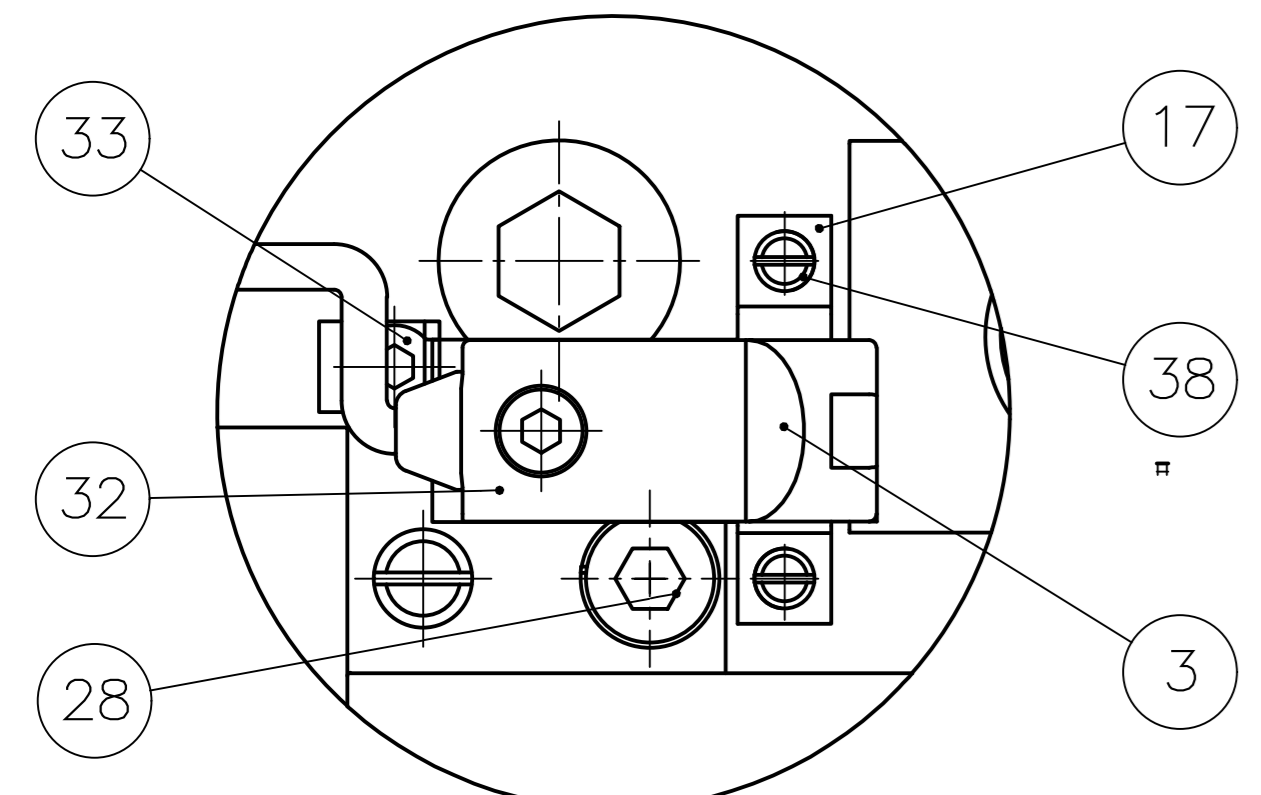
SECCIÓN A-A



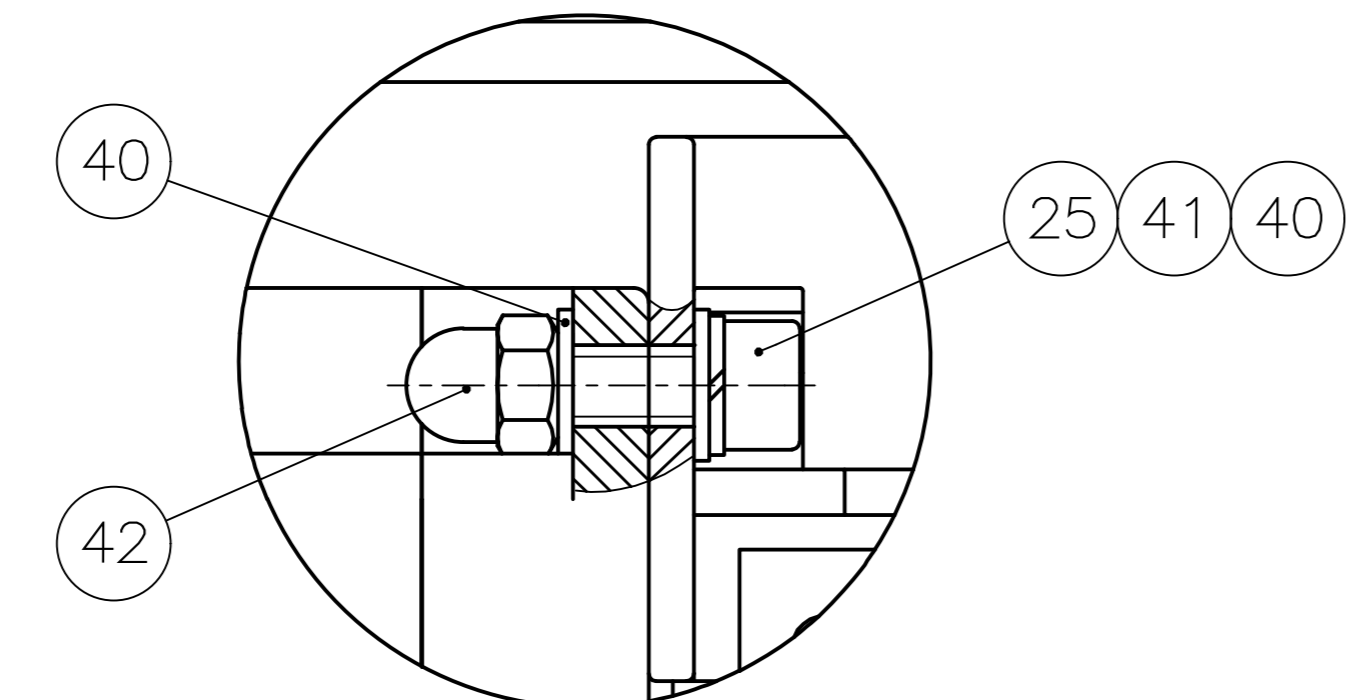
SECCIÓN C-C



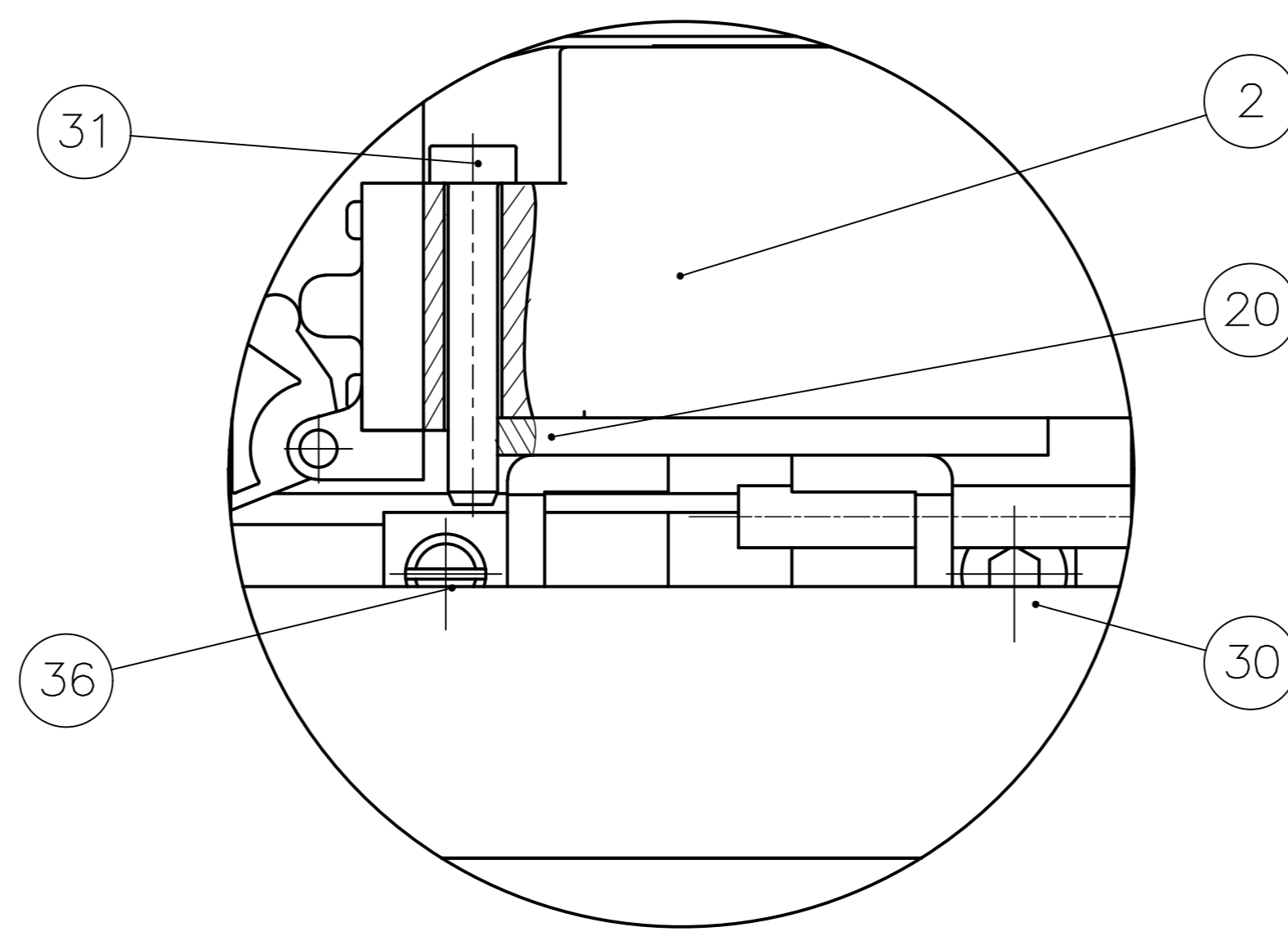
SECCIÓN B-B



DETALLE O  
ESCALA 2:1



DETALLE N  
ESCALA 2:1

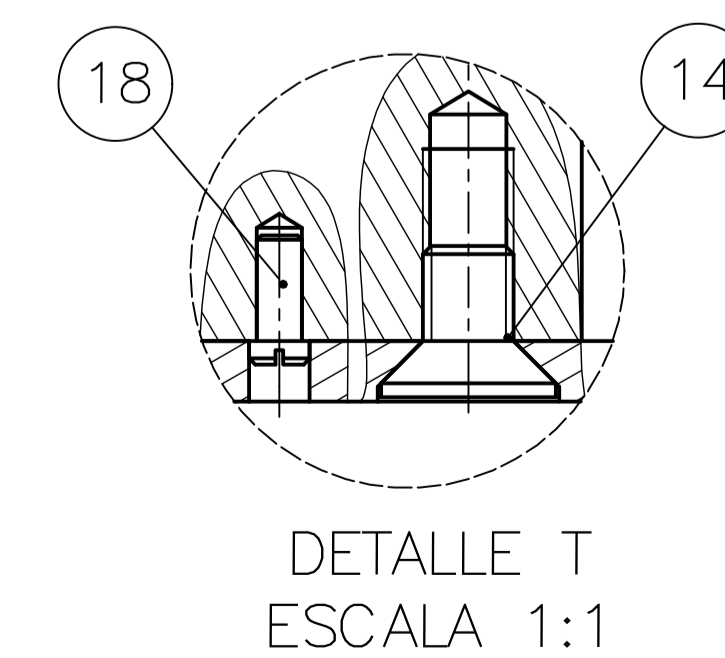
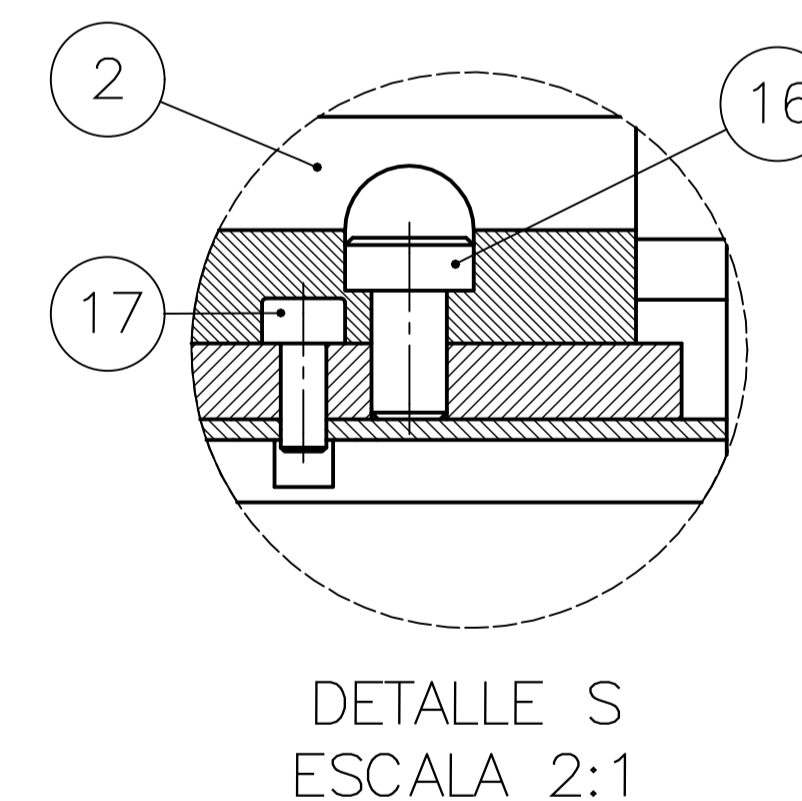
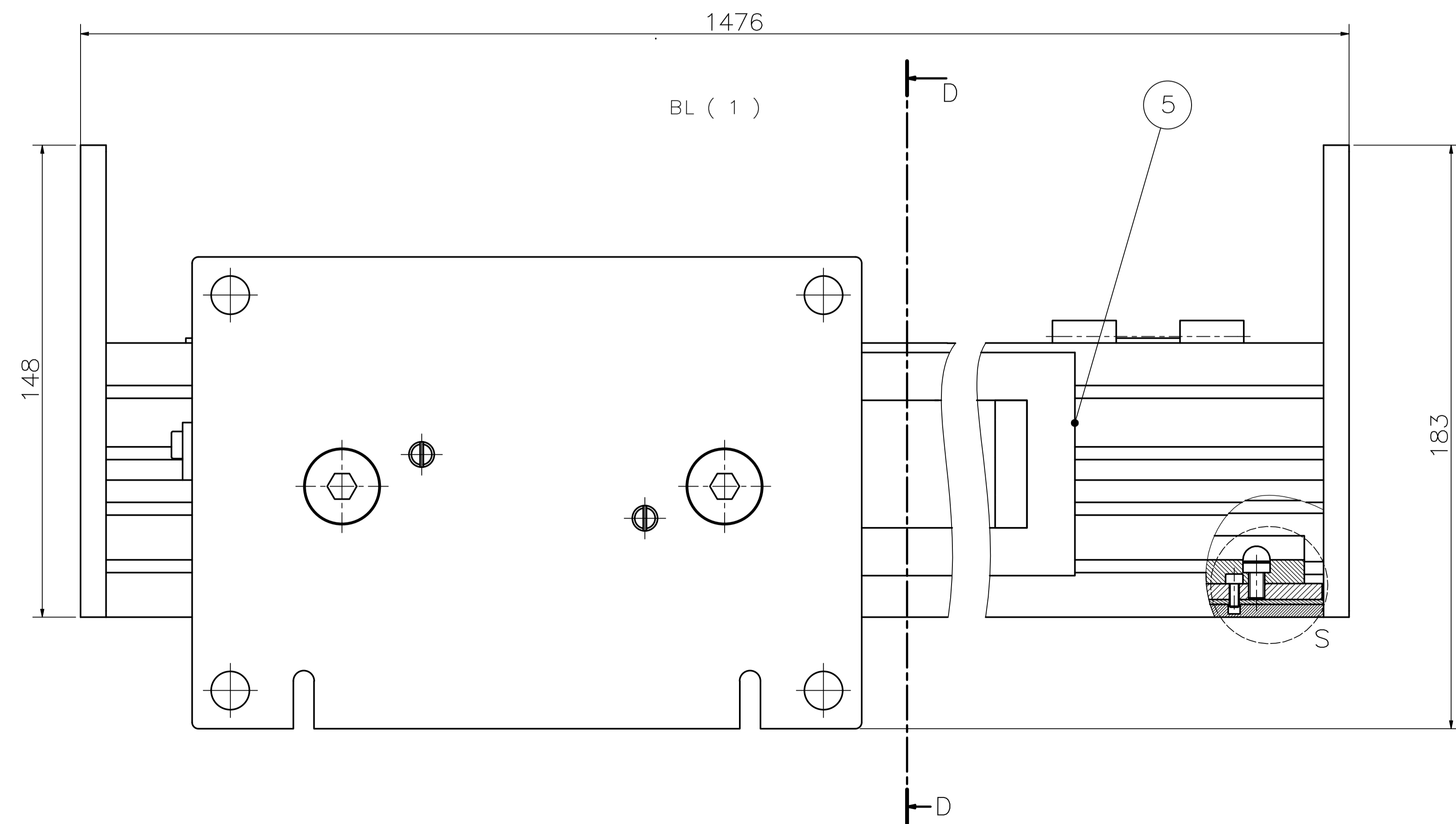
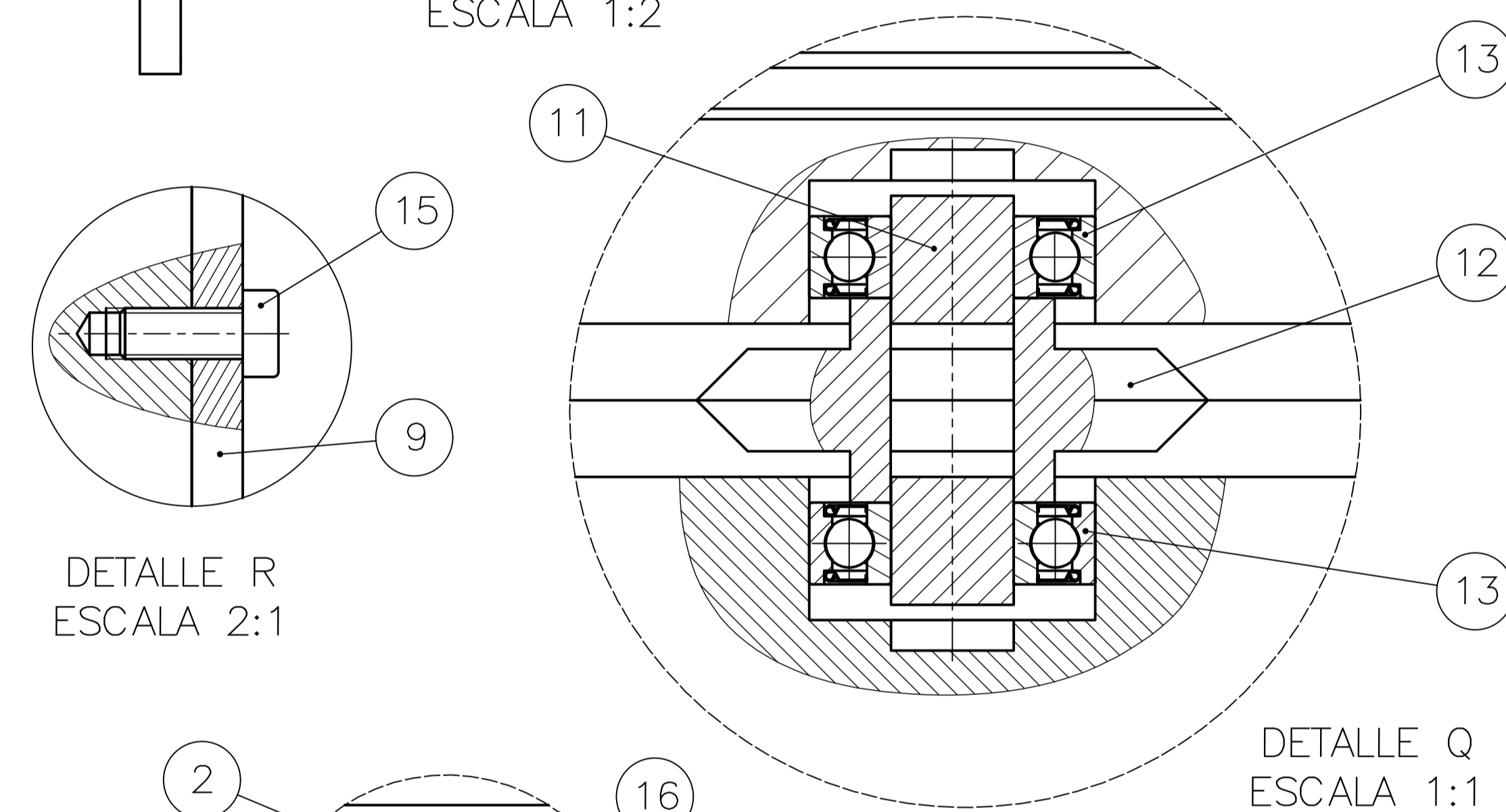
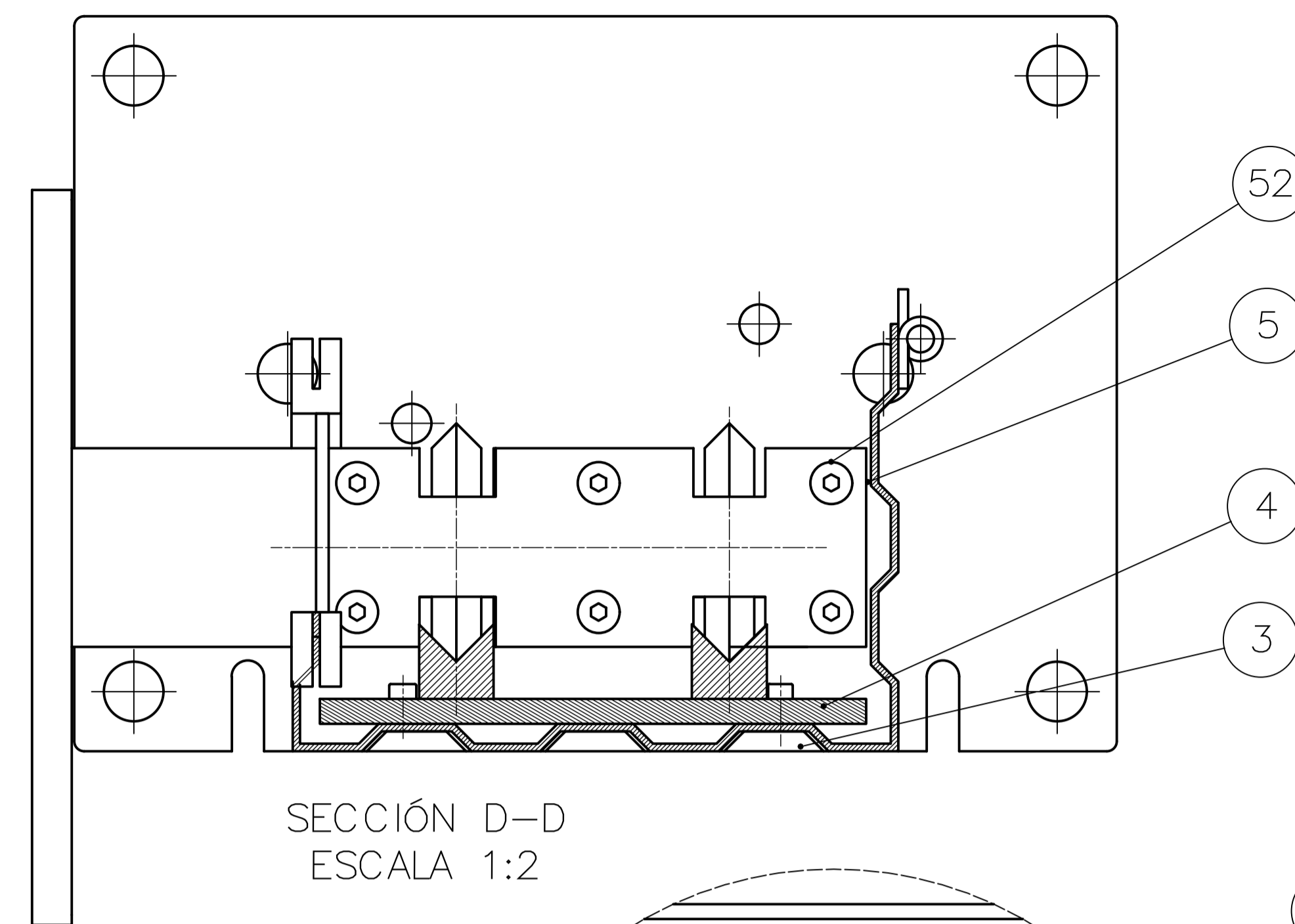
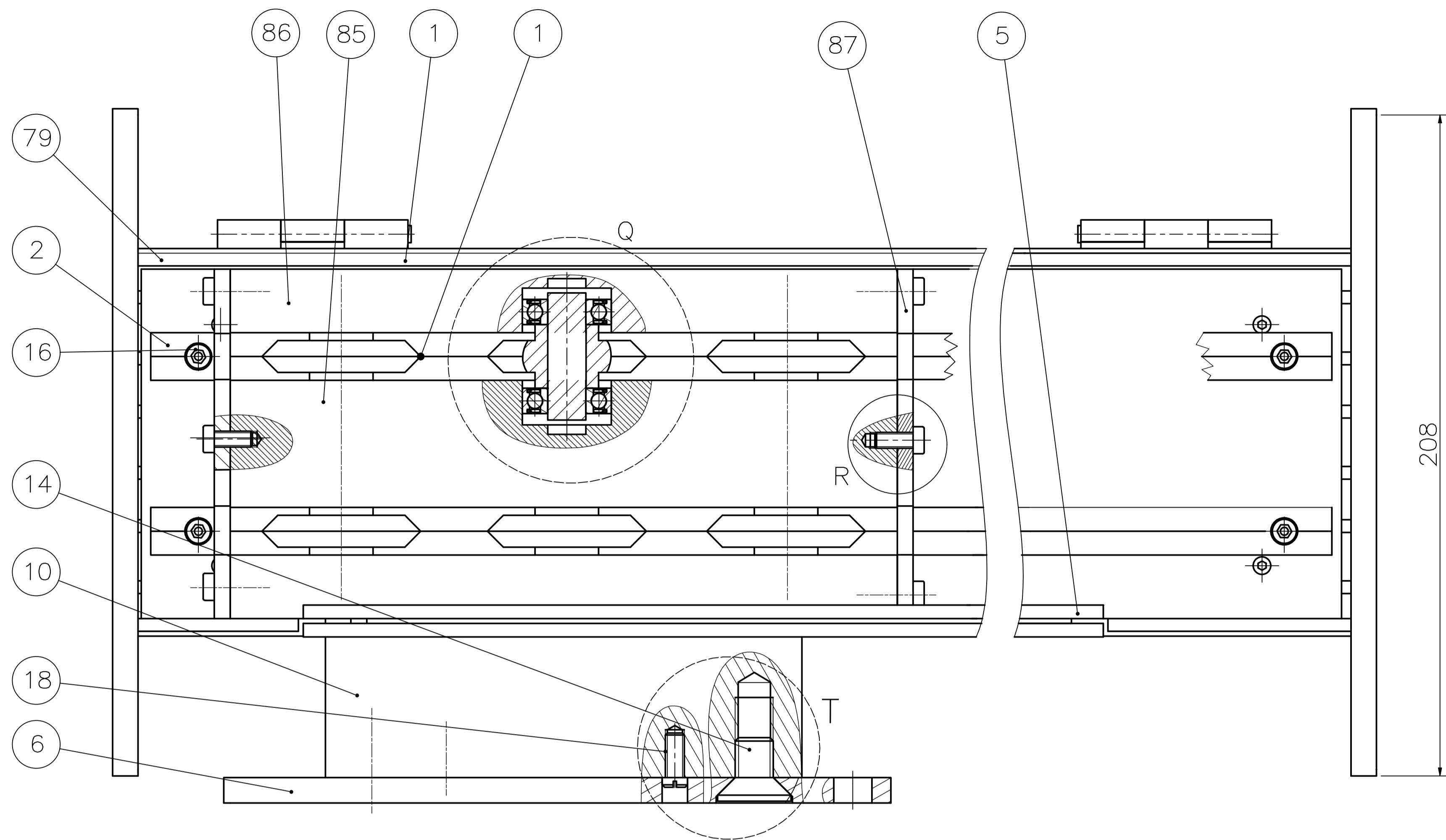


DETALLE P  
ESCALA 2:1

42	8	Tuerca de sombrerete M 5	DIN 986	5 S	
41	16	Arandela de muelle A5	DIN 128	CuSn5	
40	16	Arandela plana B 5,3	DIN125-2	St	
39	4	Arandela plana B 5,3	DIN125	St	
38	4	Garrón M3x3/4	DIN927	5.8	
37	8	Garrón M5x3/4	DIN927	5.8	
36	4	Garrón M5x3/8	DIN 927	5.8	
35	8	Garrón M 5x3/10	DIN927	5.8	
34	8	Garrón M 5x5/5	DIN 927	5.8	
33	10	Tornillo cilíndrico M 3x 6	DIN 912	8.8	
32	2	Tornillo cilíndrico M 3x 8	DIN 912	8.8	
31	8	Tornillo cilíndrico M 4x 30	DIN6912	8.8	
30	4	Tornillo cilíndrico M5 x 8	DIN 912	8.8	
29	10	Tornillo cilíndrico M5 x 12	DIN 6912	8.8	
28	8	Tornillo cilíndrico M5 x 12	DIN 912	CuSn8	
27	12	Tornillo cilíndrico M 5 x 10	DIN 912	8.8	
26	4	Tornillo cilíndrico M5 x 10	DIN 6912	8.8	
25	10	Tornillo cilíndrico M5 x 16	DIN 912	8.8	
24	24	Tornillo cilíndrico M10 x 8	DIN 912	8.8	
23	10	Rodamiento 6001-2Z	DIN625-1	SS	SKF
22	6	Pasador 5 h11 x 60	DIN 1434	St 50.11	Plano F2-A1
21	2	Contralapa de carro móvil	18CrNi8		Plano F2-A1
20	4	Soporte base de GLL	ASTM A-1008		Plano F2-A1
19	4	Tapa lateral de cobertor	ASTM A-1008		Plano F2-A1
18	4	Tapa superior de chumacera	16MnCr5		Plano F2-A1
17	2	Soporte de sensor capacitivo	ASTM A-36		Plano F2-A1
16	2	Soporte de motor 40x60x81	ASTM A 1008		Plano F2-A1
15	4	Base de chumacera 50x35x45	16MnCr5		Plano F2-A1
14	2	Bloque de unión 100x50x40	Ck15		Plano F2-A1
13	2	Base de carro móvil 100x100x50	18CrNi8		Plano F2-A1
12	4	Empaque 130x35x6	PU		Plano F2-A1
11	4	Gaja de resguardo 130 x35x40	ASTM A-1008		Plano F2-A1
10	2	Carriño de seguridad	34CrNi4		Plano F2-A1
9	2	Eje roscado 26x1400	16MnCr5		Plano F2-A1
8	8	Guía de milano trapecial 146x20x4	34CrNiMo6		Plano F2-A1
7	9	Rigidizador inferior 146x10x4	Ck15		Plano F2-A1
6	2	Placa durmiente 1435x110x5	X20CrNi17 2		Plano F2-A1
5	2	Cobertor 1602x210x148	X6CrTi7		Plano F2-A1
4	2	Acople de fuelle FSRM25-10-8-SS			
3	2	Sensor capacitivo GX-F12			Panasonic
2	4	Limitador de carrera QLA01F			Honeywell
1	2	Motor PD60-3-1161, 2.1 Nm 24V			TMC
POS./AVT		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESP. DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		
Tesis para optar el título de Ingeniero mecatrónico		
METODO DE PROYECCIÓN	SUB-ENSAMBLE DE SISTEMA DE MOVIMIENTO	ESCALA 1:1
20111051	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.10 LAMINA: E2-AD

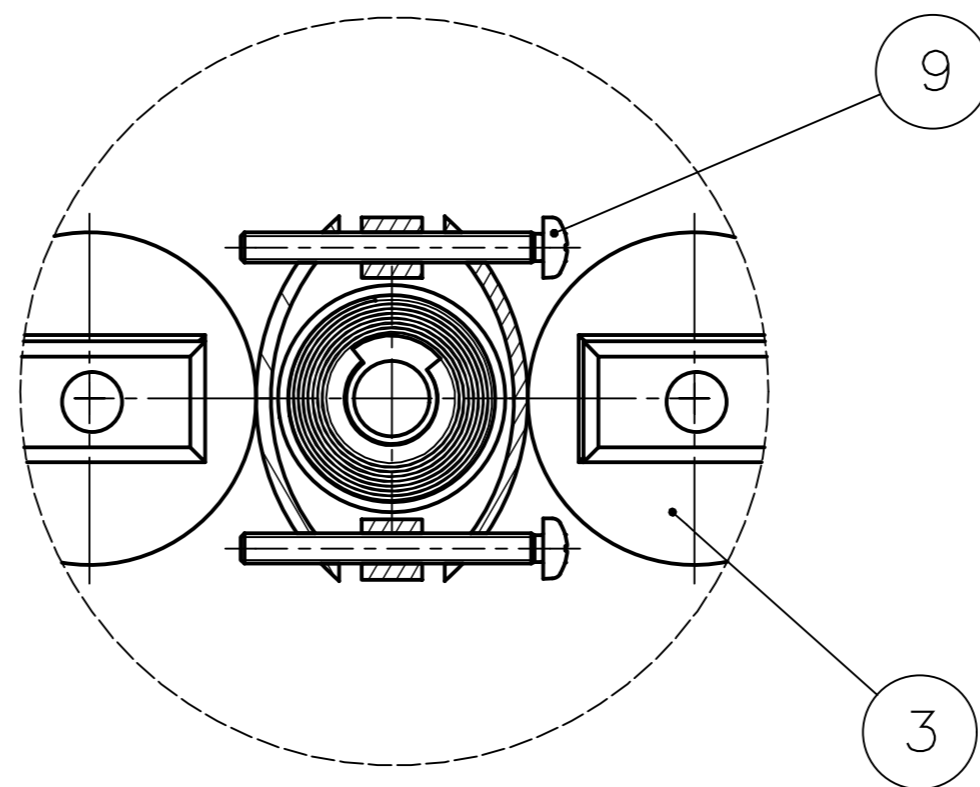
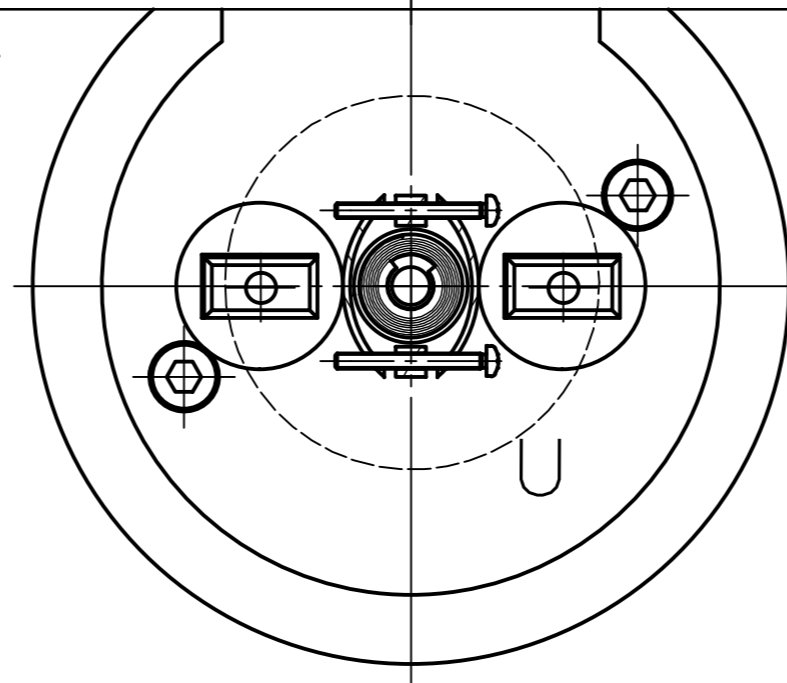
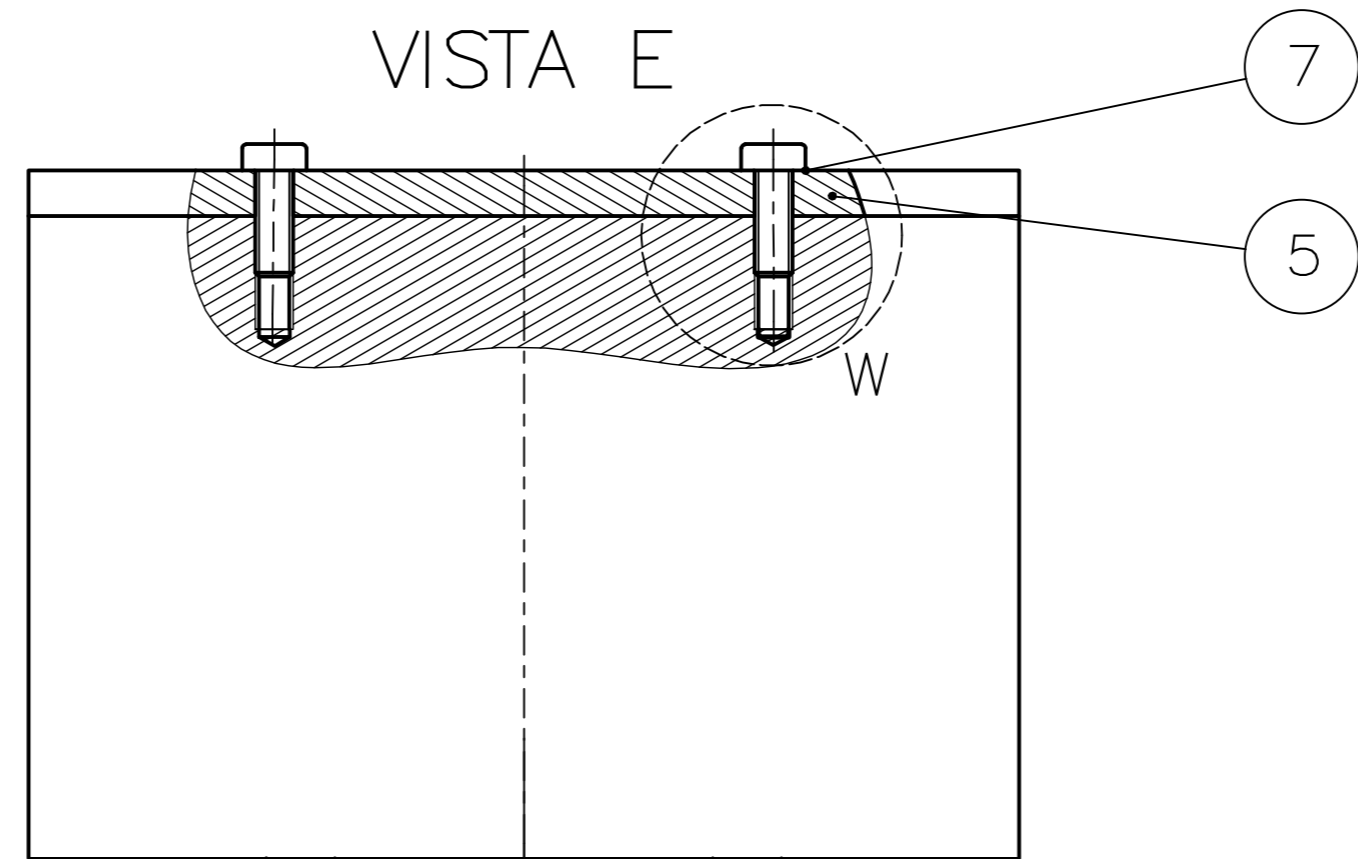
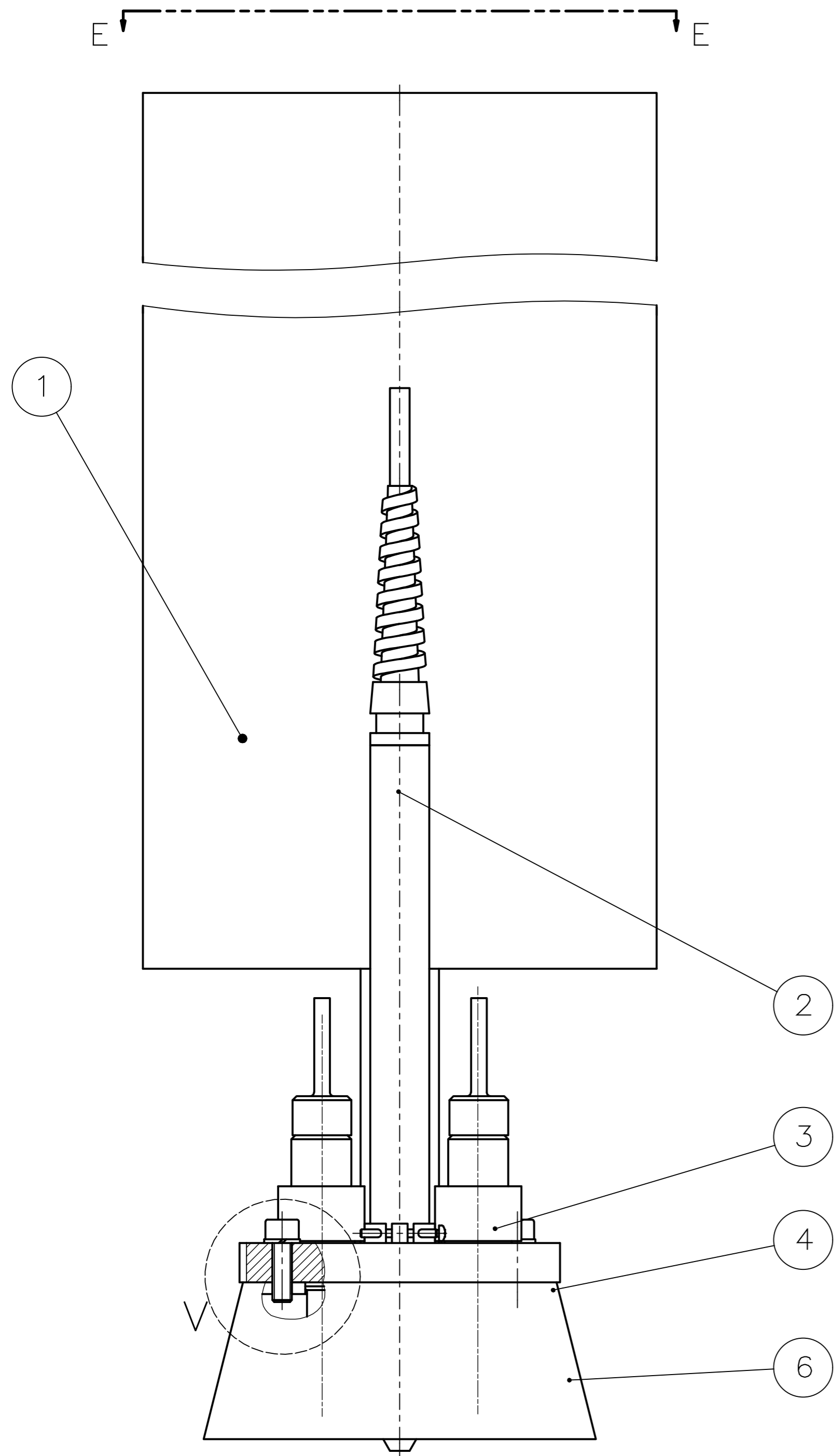
COTA NOMINAL COTA MÁXIMA COTA MÍNIMA



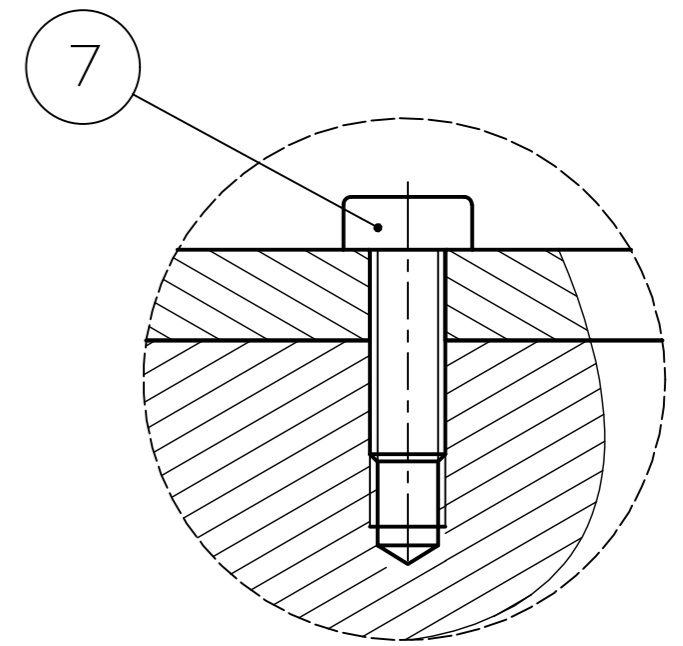
18	2	Gorrón M6 x 3 x 14	DIN 927	5,8	
17	8	Tornillo cilíndrico M3 x 6	DIN 912	8,8	
16	12	Tornillo cilíndrico M5 x 10	DIN 6912	8,8	
15	12	Tornillo cilíndrico M5 x 12	DIN 6912	8,8	
14	2	Tornillo avellanado M12 x 20	DIN 7991	5,8	
13	6	Rodamiento 6001-2Z	DIN601-1		SKF
12	6	Ruedas 50x10		SoMs75	Plano F3-A1
11	3	Eje escalonado 20x40		Ck45	Plano F3-A1
10	1	Bloque union 50x150x40		Ck15	Plano F3-A1
9	2	Tapa lateral 110x40x5		Ck15	Plano F3-A1
8	2	Soporte de ejes210x40x20		Ck15	Plano F3-A1
7	1	Cuerpo central 210x40x40		Ck15	Plano F3-A1
6	3	Placa 105x210x12		ASTM A-36	Plano F3-A1
5	1	Cortina se seguridad 1330x10x70		24CrMo4	Plano F3-A1
4	1	Placa durmiente 210x148x8		X20CrNi17.2	Plano F3-A1
3	3	Rigidizador 1500x18x4			Plano F3-A1
2	1	Guía de movimiento 1450x15x17		34CrNiMo6	Plano F3-A1
1	1	Cobertor 1476x208x146		X6Cr17	Plano F3-A1
POSICIÓN		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESP. DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA
	SUB-ENSAMBLE DE SISTEMA GUÍA	1:10
20111051	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.03.18
		LÁMINA: E3-A1

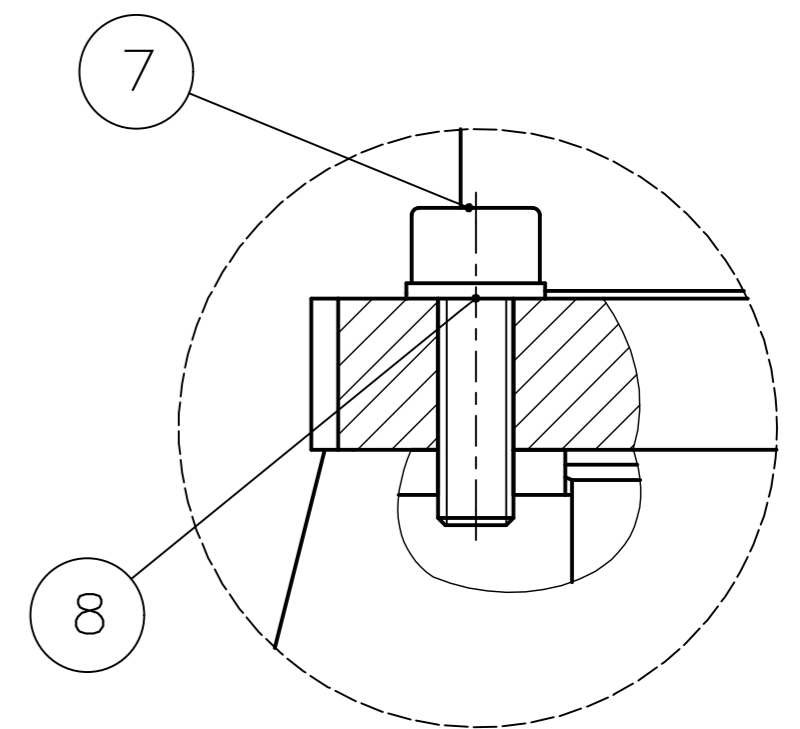
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



DETALLE U  
ESCALA 2:1



DETALLE W  
ESCALA 2:1

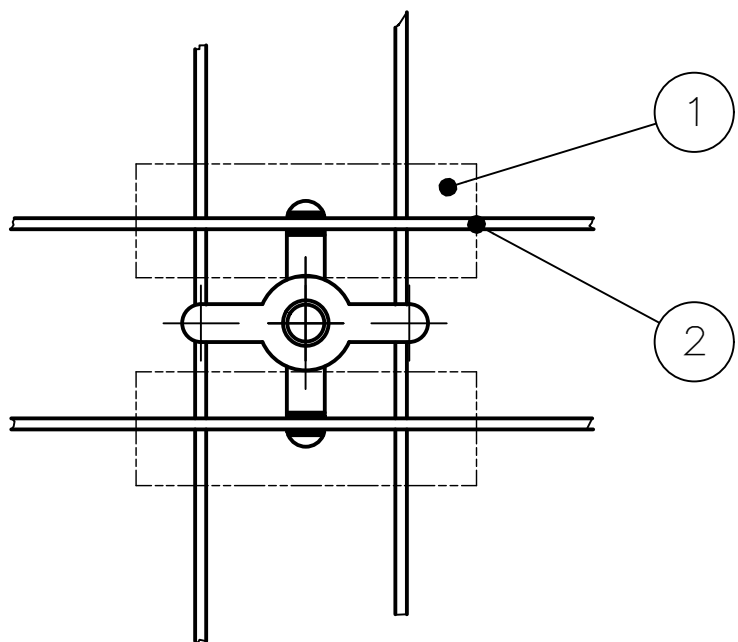
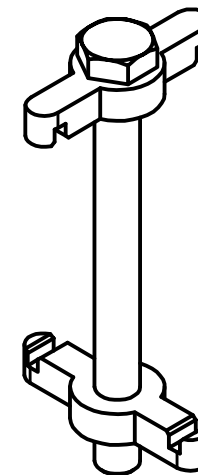
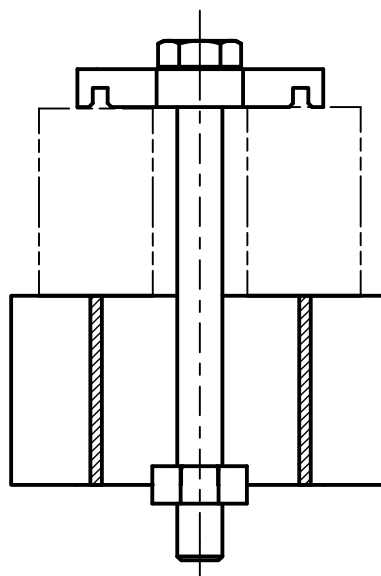
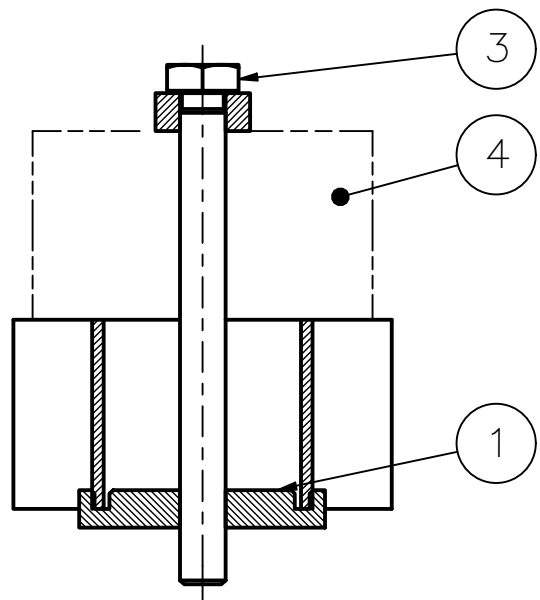


DETALLE V  
ESCALA 2:1

POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
9	2	Tornillo para chapa H M2 x 20	DIN 7985	4.8	
8	2	Arandela de fuelle A5	DIN 128	CuSn8	
7	6	Tornillo cilíndrico M 5 x 14	DIN 7984	8.8	
6	1	Tobera %100x%80x40		ASYM A-1008	Plano F4-A1
5	1	Placa de union Z 463x131x6		ASTM A-36	Plano F4-A1
4	1	Soporte de antorcha XPTHC-4			HDY
3	2	Termistor ES120-0024			Honeywell
2	1	Antorcha plasma 59672			Hypertherm
1	1	Cabezal de corte XPTHC-4			HDY

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESP. DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA
	ENSAMBLE DE CABEZAL DE CORTE	1:1
20111051	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.11.23
		LÁMINA: E4-A2

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



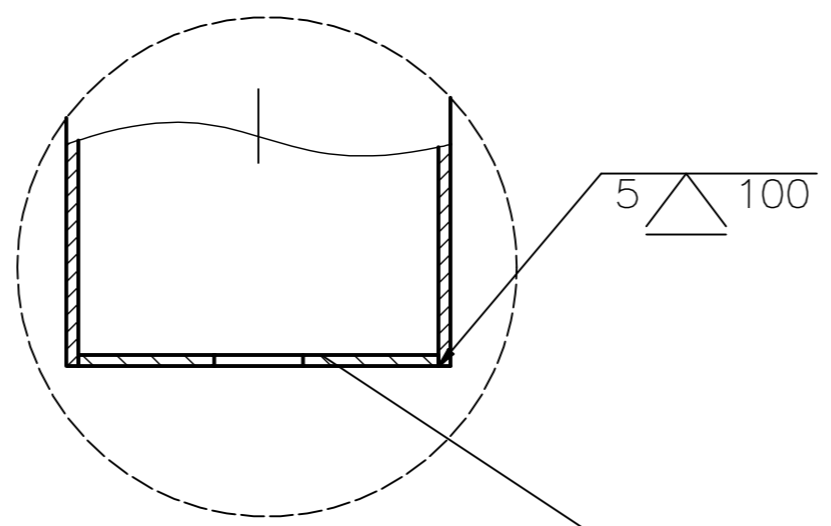
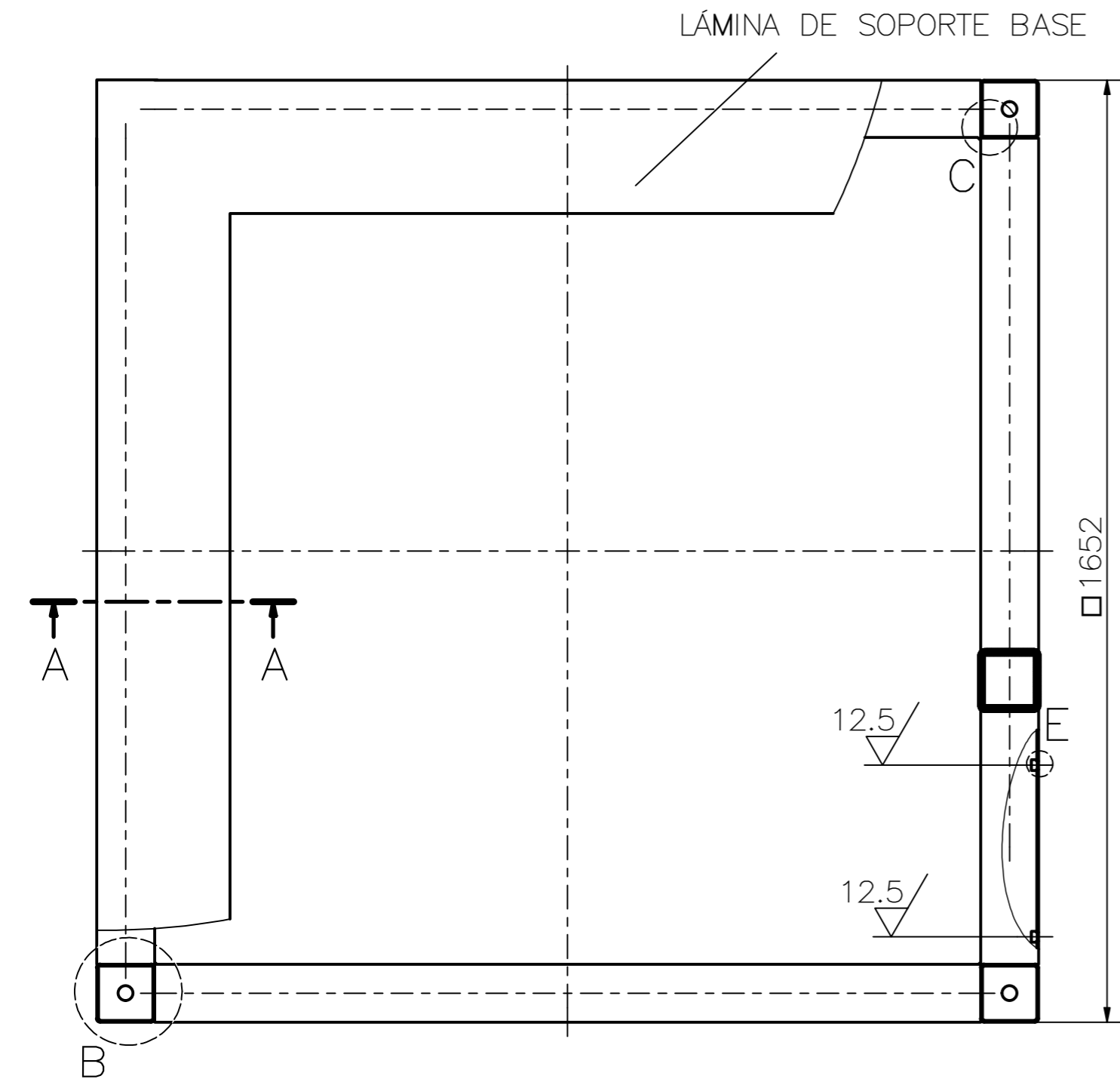
4	4	Bloque de 90x30x50			
3	2	Parte de malla 13 x 3mm			
2	1	Tornillo exagonal M12 x 130	DIN 933	8.8	
1	2	Sujetador		St 52	
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA—ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

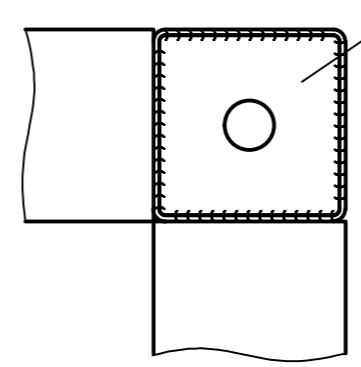
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO	ESCALA
	FIJADOR A MESA DE CORTE	1:2
20111051	PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.15

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

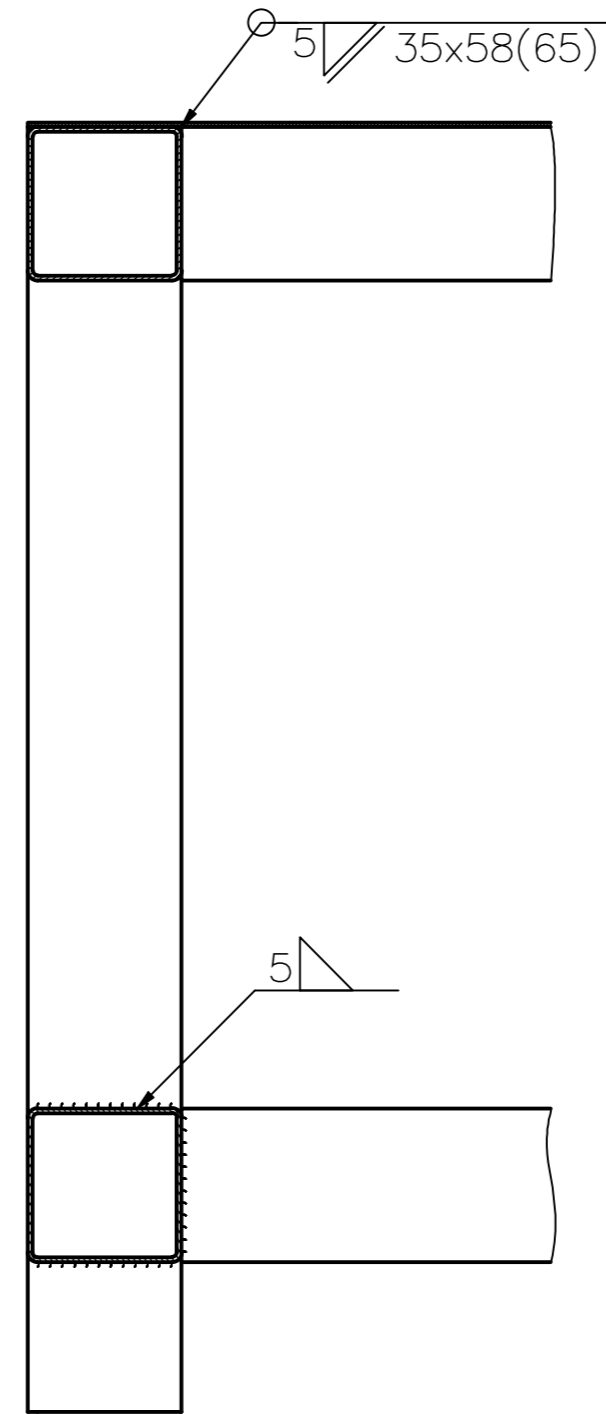
LÁMINA:  
E7-A4



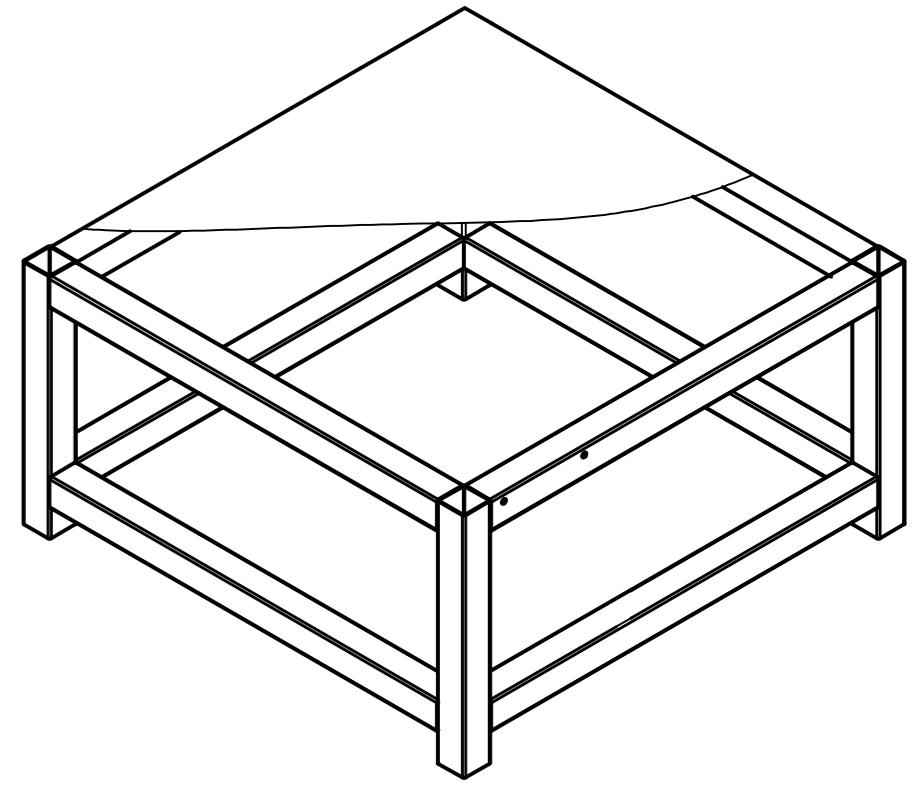
DETALLE F  
ESCALA 1:5  
MATERIAL PL 3 ASTM A-36  
4 unidades



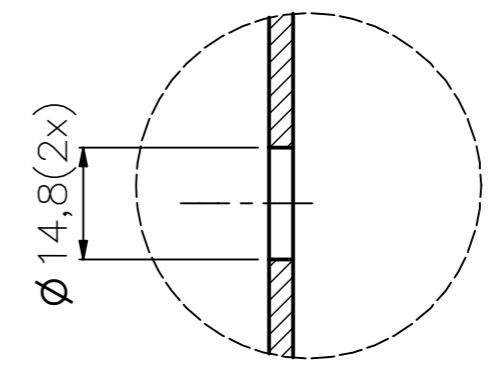
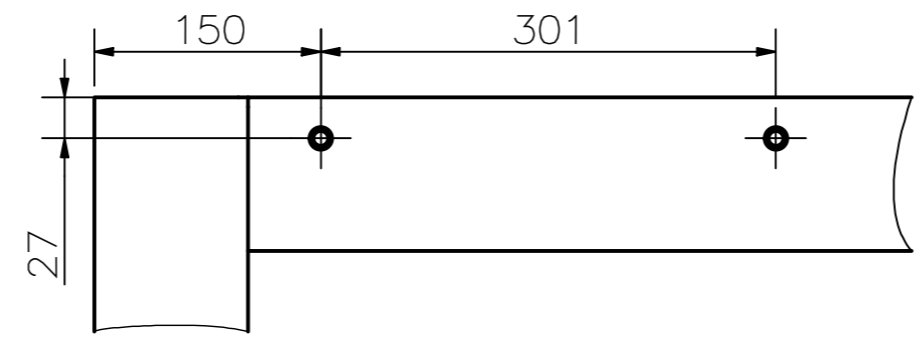
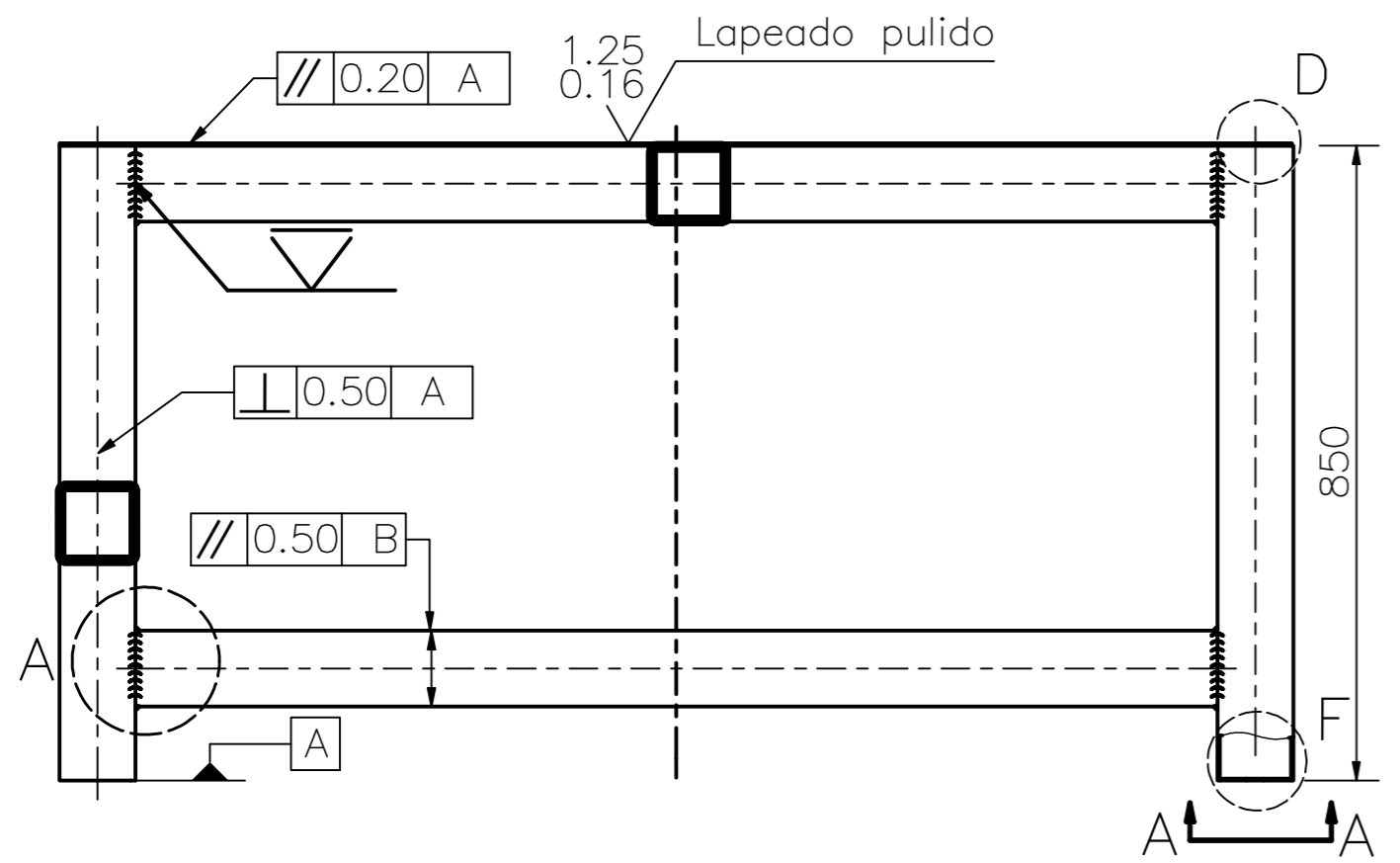
VISTA A-A  
ESCALA 1:4



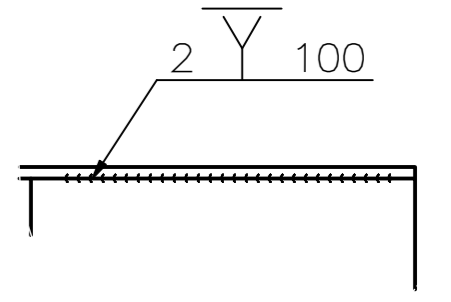
SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:5



1 MESA ESTRUCTURAL BASE  
MATERIAL □ 100x100x3.12 ASTM A500  
1 unidad

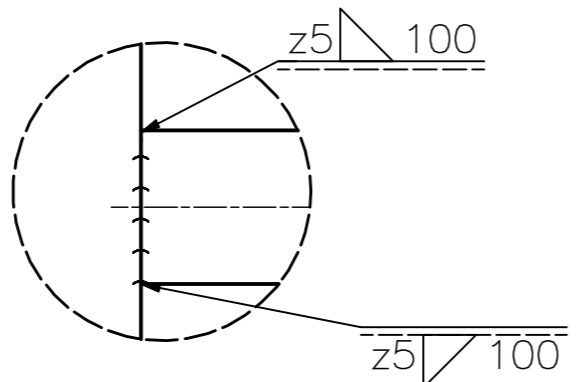


DETALLE E  
ESCALA 1:1

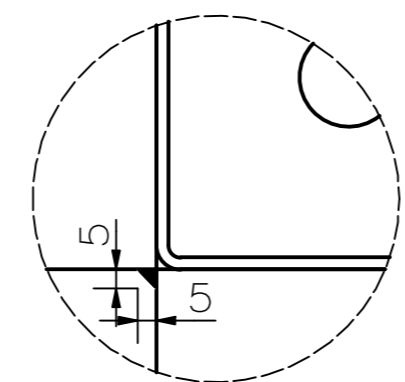


DETALLE D  
ESCALA 1:2

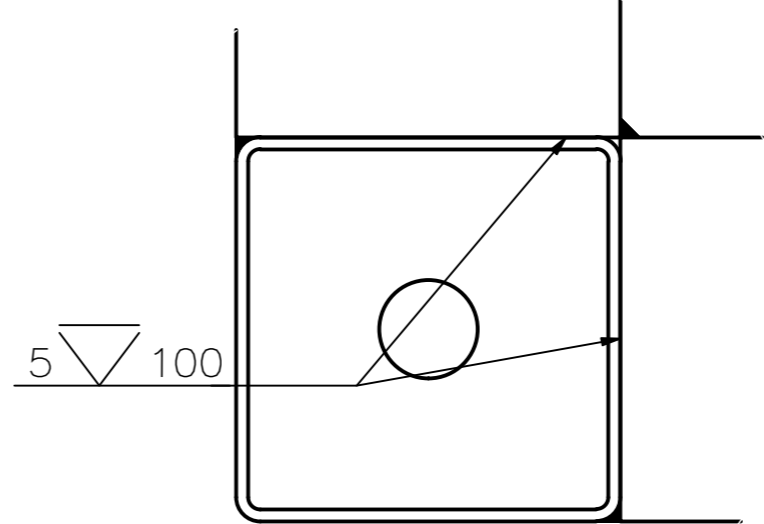
Se debe soldar todos los contornos entre los tubos y las caras que los sostienen  
Todas las costuras son de 5 mm  
Proceso: SMAG o TIG, soldadura E7018  
Verificación: Inspección visual y ultrasonido.  
Acabado: Pulido con amoladora, Calidad: II



DETALLE A  
ESCALA 1:5



DETALLE C  
ESCALA 1:2

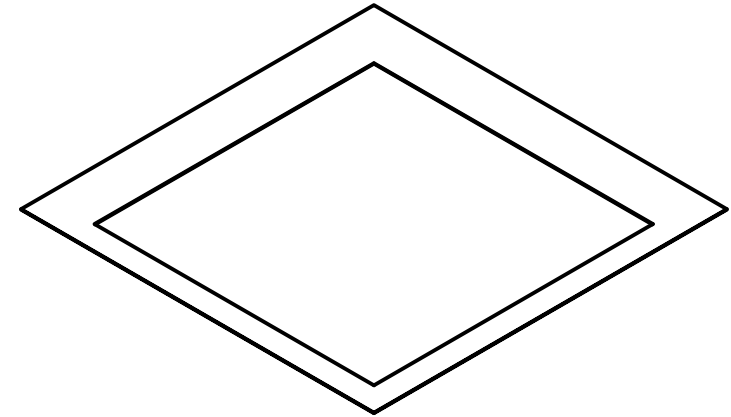
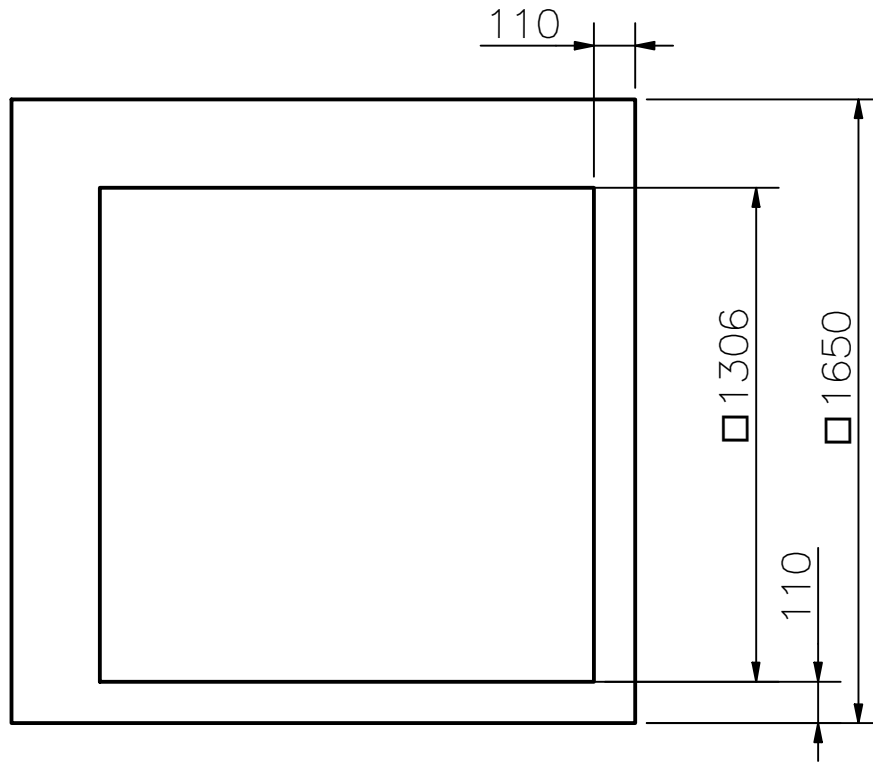


DETALLE B  
ESCALA 1:2

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 50 / (12.5 / 0.16)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MEDIA	MATERIAL Según se indica
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FAC. DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN [Symbol]	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 1:10
20111051	PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.08
		LÁMINA: F10-A2

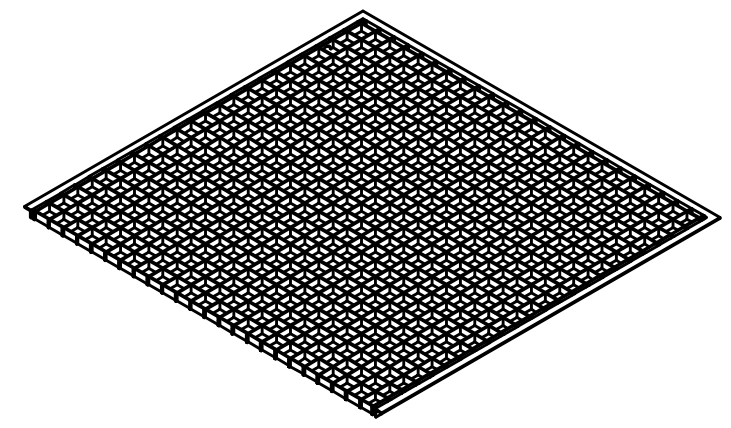
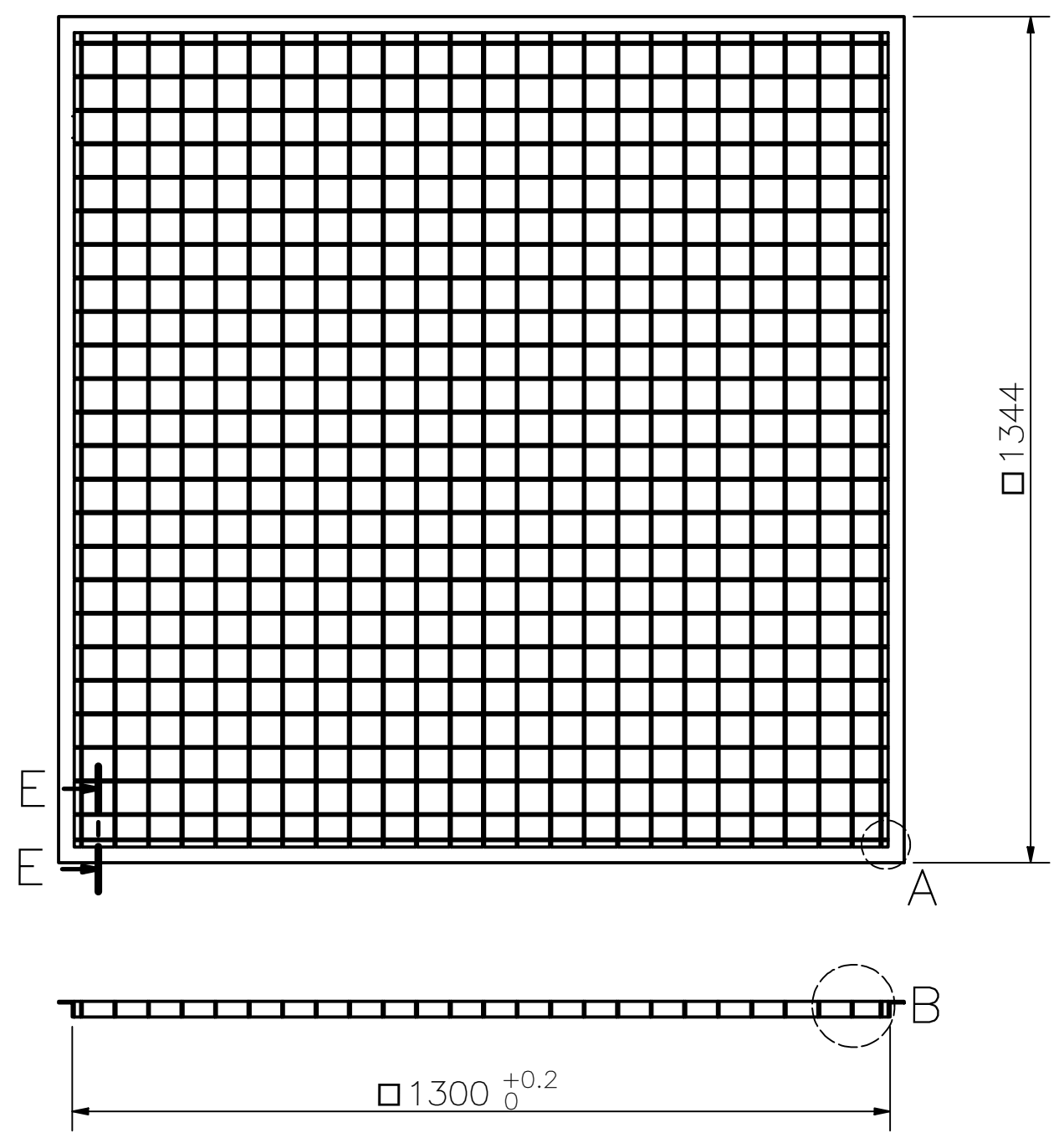
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



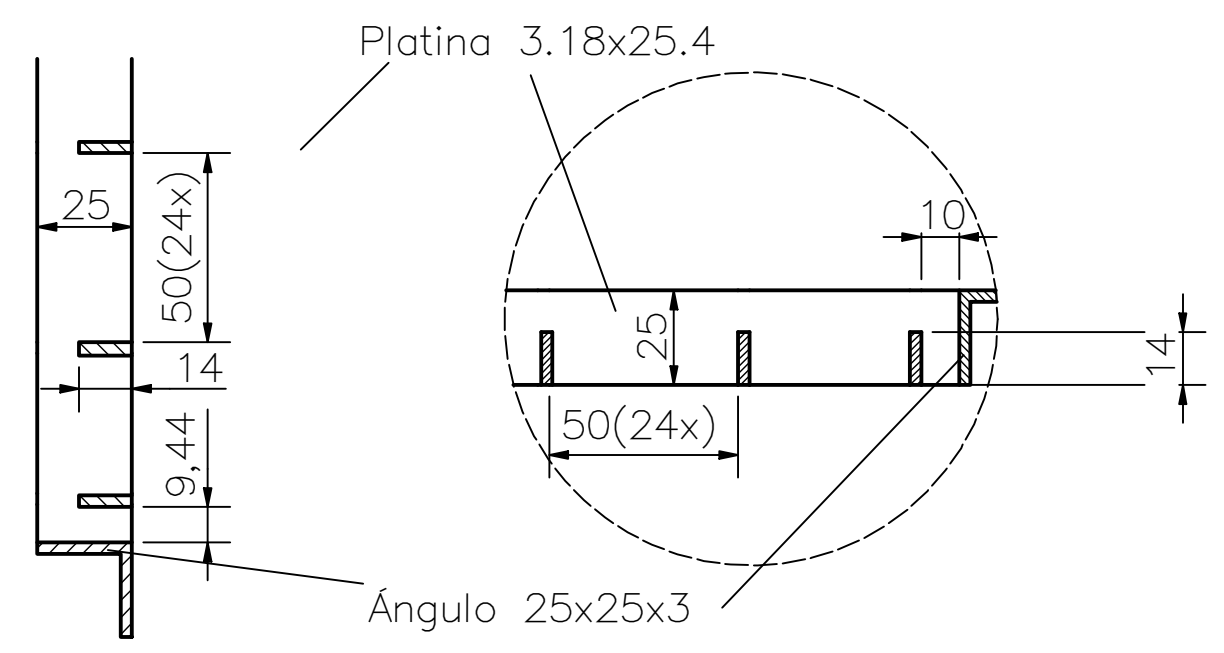
3 LÁMINA DE SOPORTE  
 MATERIAL PL 3 ASTM A-36  
 1 unidad

ACABADO SUPERFICIAL 50 / (12.5)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MEDIA	MATERIAL ASTM A-36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FAC. DE CIENCIAS E INGENIERIA – INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 1:20
LÁMINA DE SOPORTE		FECHA: 2019.04.08
PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL		LÁMINA: F11-A4

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5



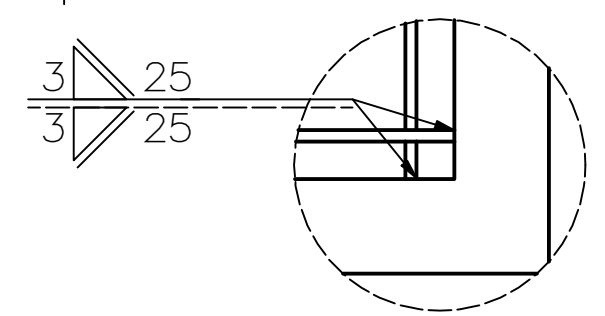
REJILLA CUADRADA



SECCIÓN E-E  
ESCALA 1:2

DETALLE B  
ESCALA 1:2

1 unidad



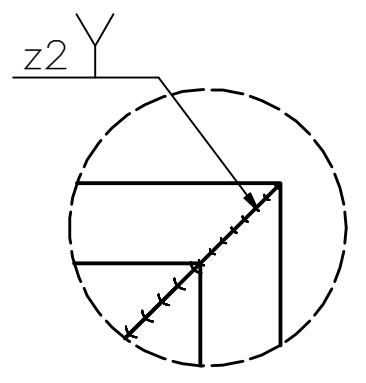
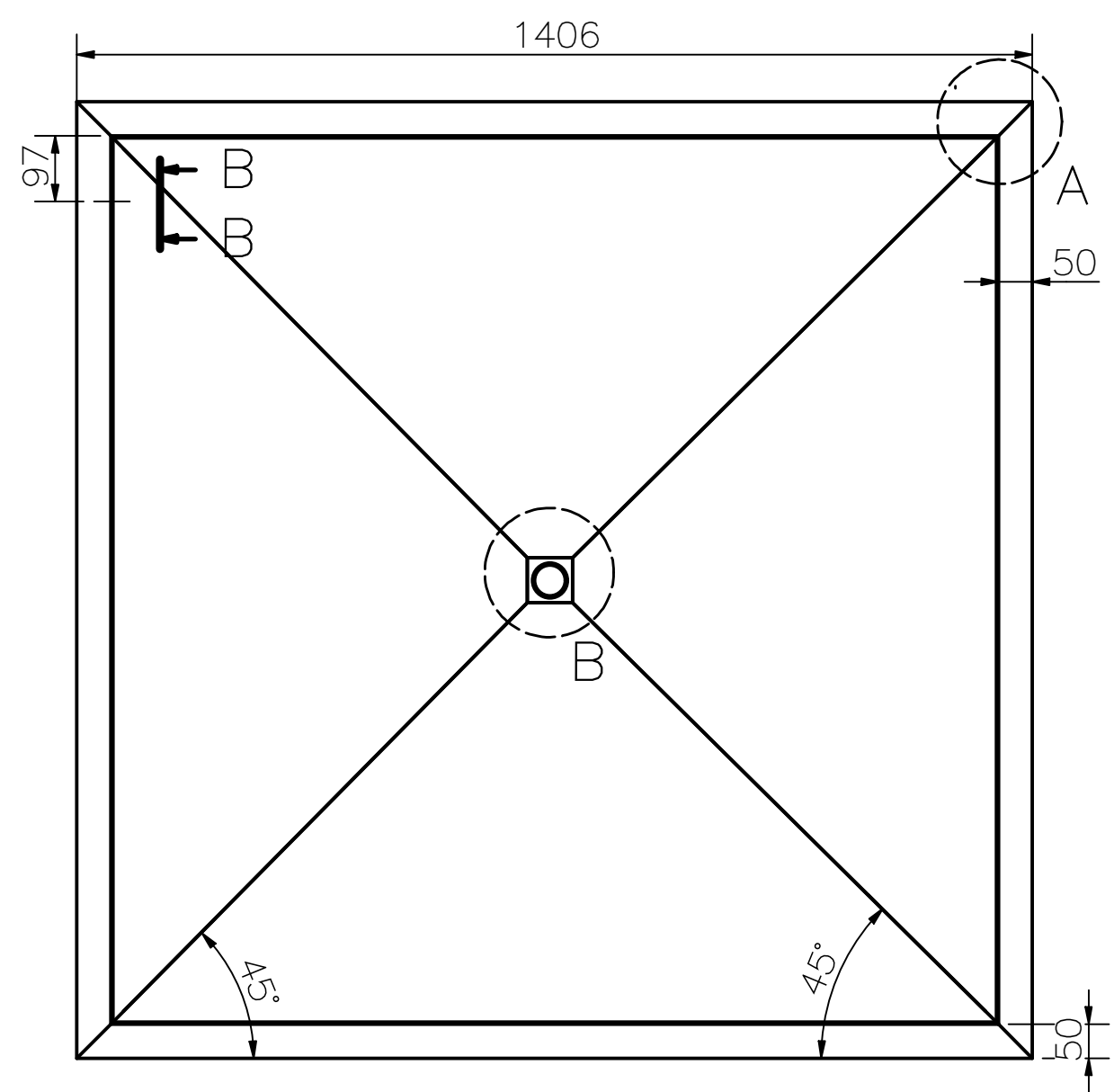
DETALLE A  
ESCALA 1:2

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

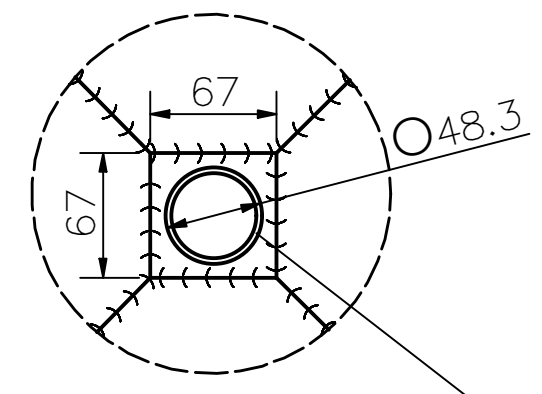
Proceso: SMAG o TIG, soldadura E7018  
Verificación: Inspección visual y ultrasonido.  
Acabado: Pulido con amoladora, Calidad: II

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

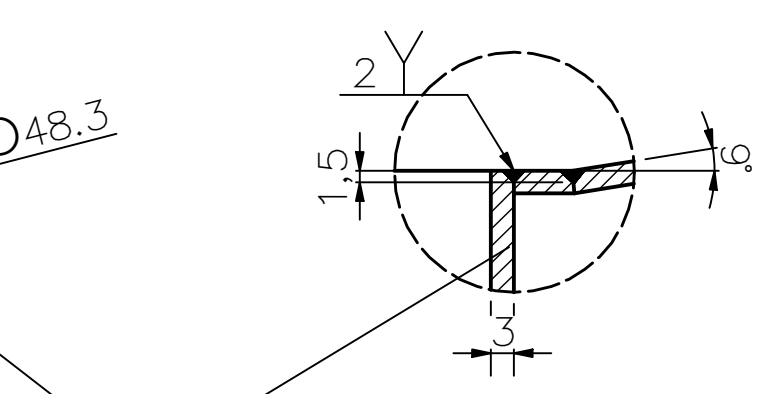
ACABADO SUPERFICIAL 50 / (12.5 / 0.16)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MEDIA	MATERIAL ASTM A-36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FAC. DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 1:10
20111051	PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.08
		LÁMINA: F12-A3



DETALLE A  
ESCALA 1:2

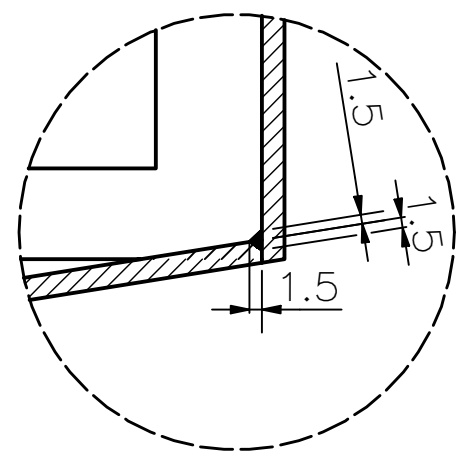


DETALLE B  
ESCALA 1:2

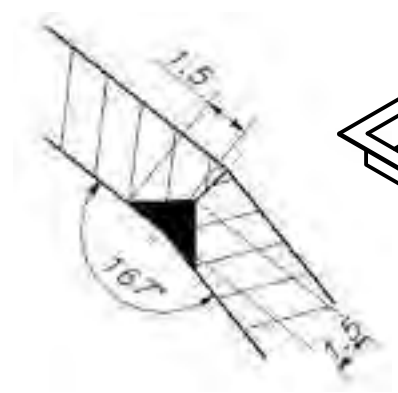


DETALLE C  
ESCALA 1:1

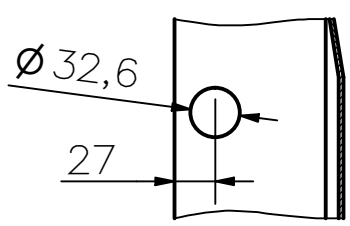
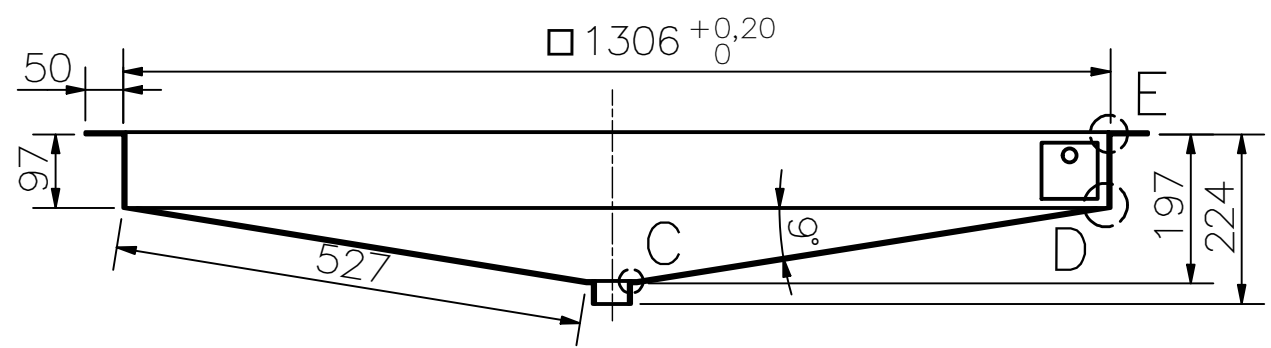
Tubo redondo  
48.3 x 3  
ASTM A500



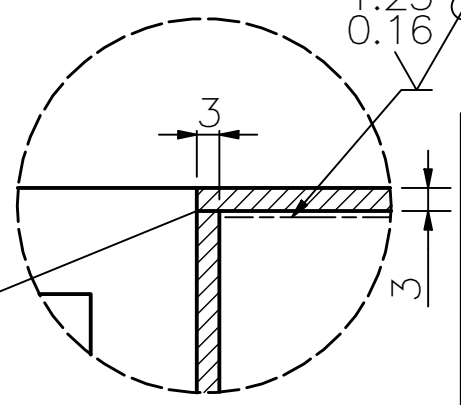
DETALLE D  
ESCALA 1:1



SECCIÓN A-A  
ESCALA 5:1



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1:1



DETALLE E  
ESCALA 1:1

Lapeado de pulido  
Fresado frontal alisado

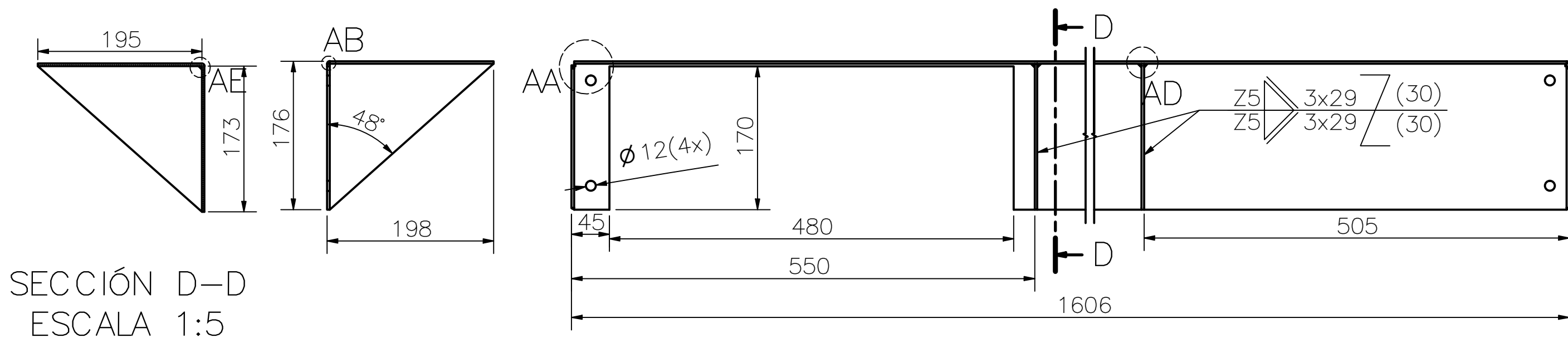
4 CAMPANA A 4 AGUAS  
MATERIAL PL 3 ASTM A-36  
1 unidad

Radio de curvatura 3 mm  
Proceso: SMAG o TIG, soldadura E7018  
Verificación: Inspección visual y ultrasonido.  
Acabado: Pulido con amoladora, Calidad: II

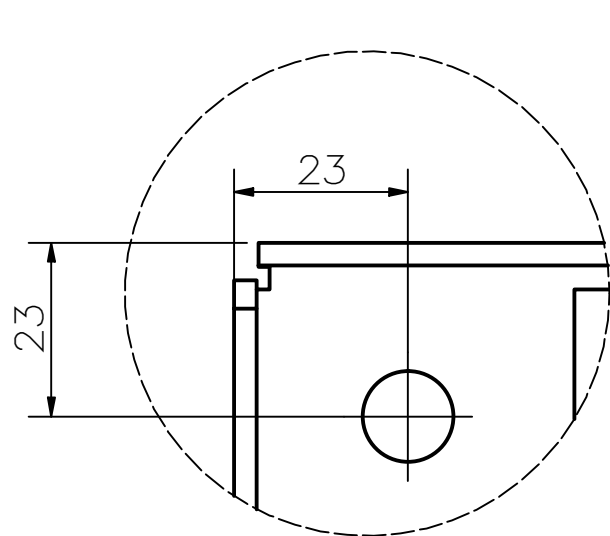
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL 50 / (12.5 / 0.16)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MEDIA	MATERIAL Según se indica
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FAC. DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 2D	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico CAMPANA A CUATRO AGUAS	ESCALA 1:10
20111051	PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.08
		LÁMINA: F13-A3

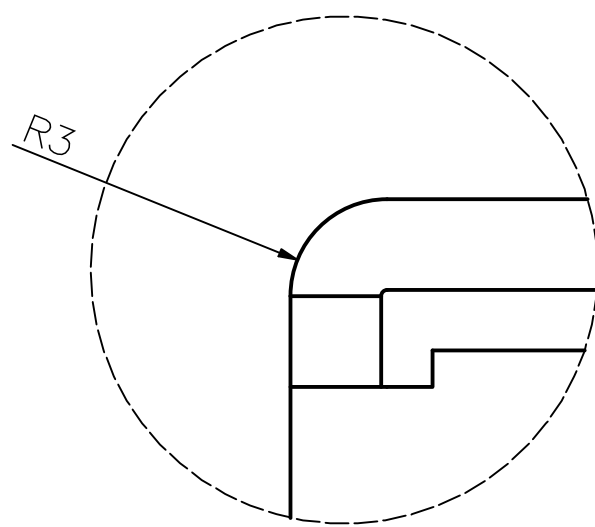
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



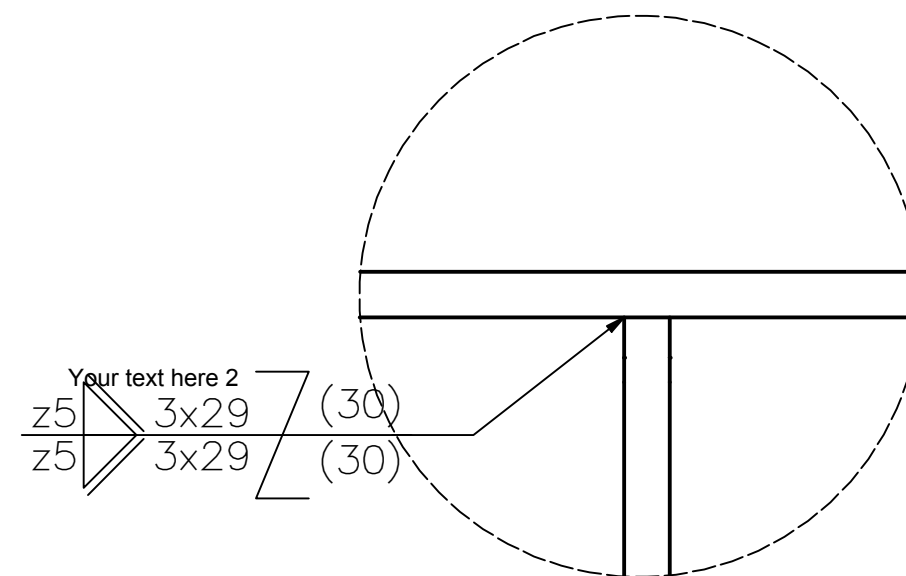
SECCIÓN D-D  
ESCALA 1:5



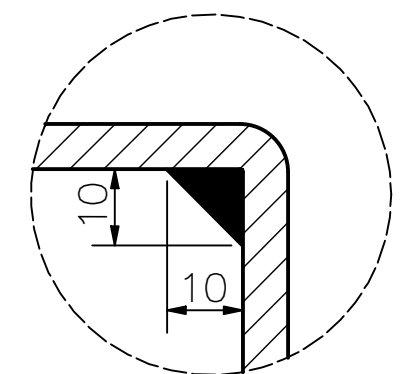
DETALLE AA  
ESCALA 1:1



DETALLE AB  
ESCALA 2:1



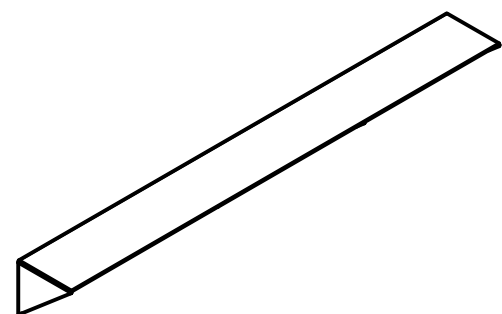
DETALLE AD  
ESCALA 1:1



DETALLE AE  
ESCALA 1:1

2 unidades

Radio de curvatura 3mm

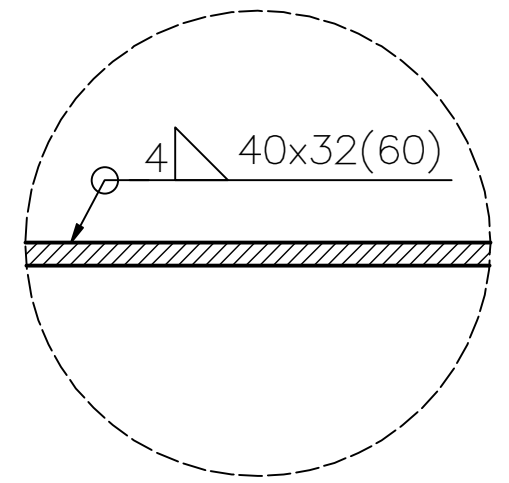
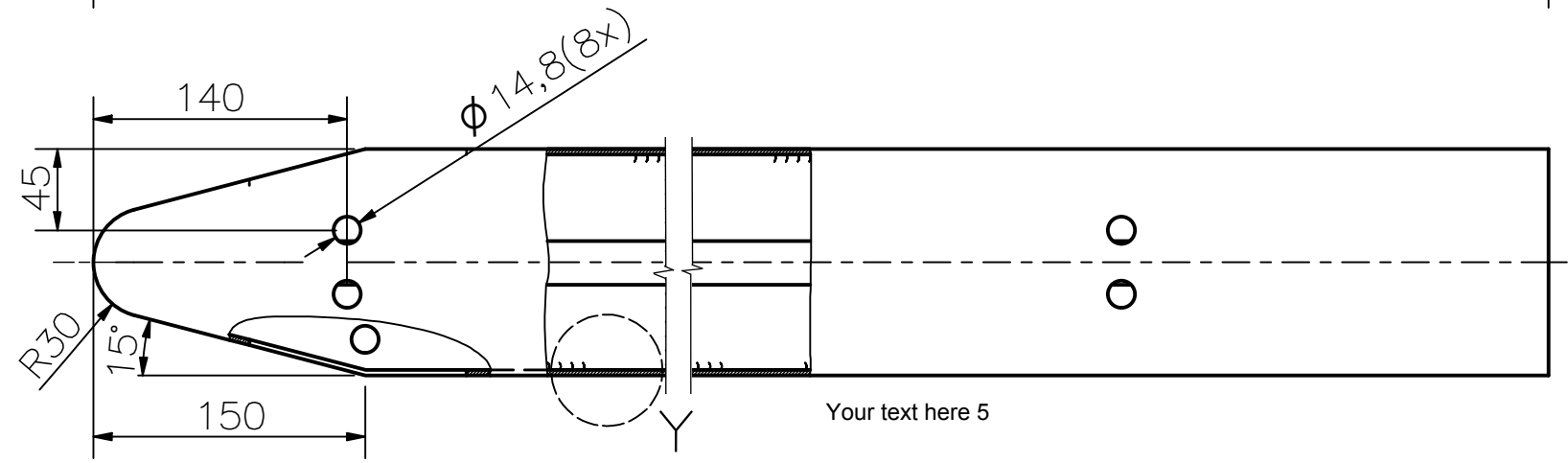
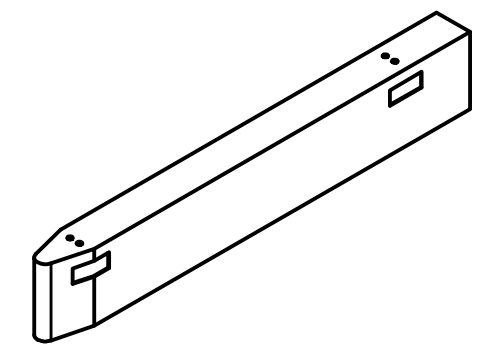
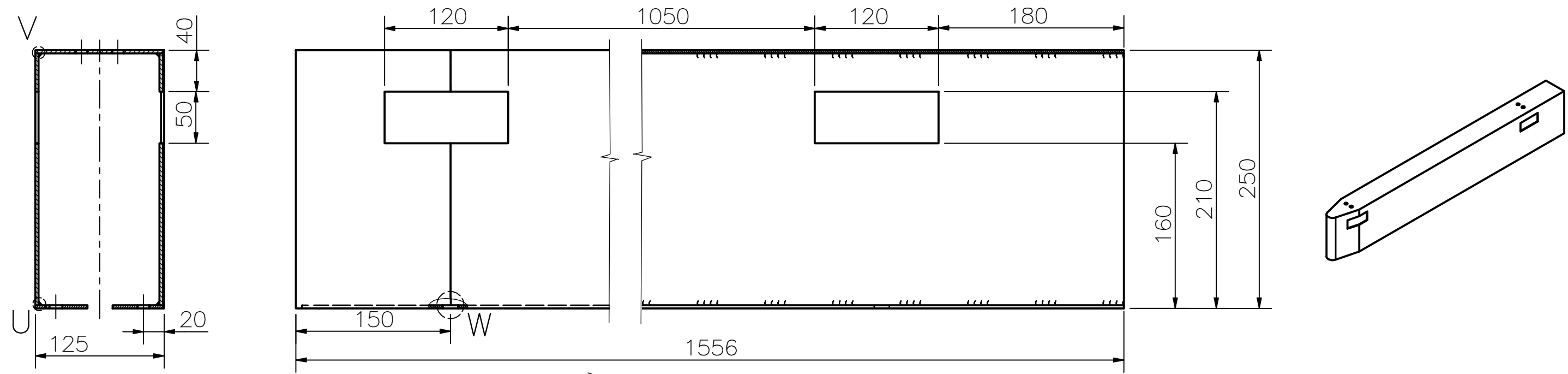


TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

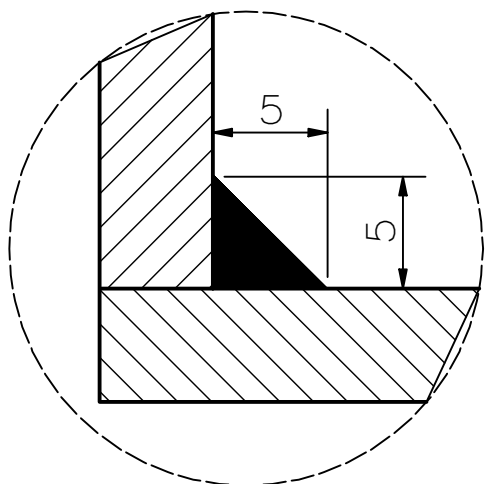
Proceso: SMAG o TIG, soldadura E7018  
Verificación: Inspección visual y ultrasonido.  
Acabado: Pulido con amoladora, Calidad: II

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

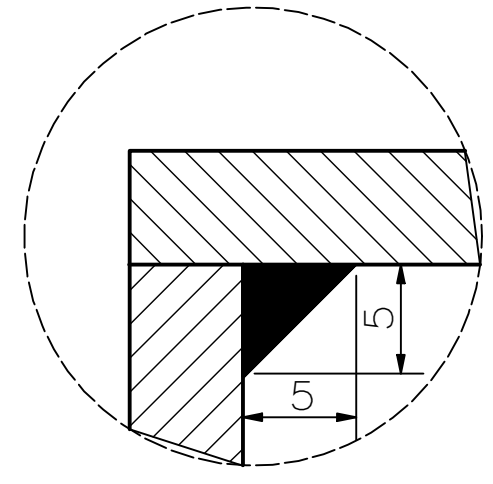
ACABADO SUPERFICIAL 50 / (12.5 / 0.16)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MEDIA	MATERIAL ASTM A-36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FAC. DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN First Angle Projection	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 1:10
20111051	PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.08
		LÁMINA: F15-A3



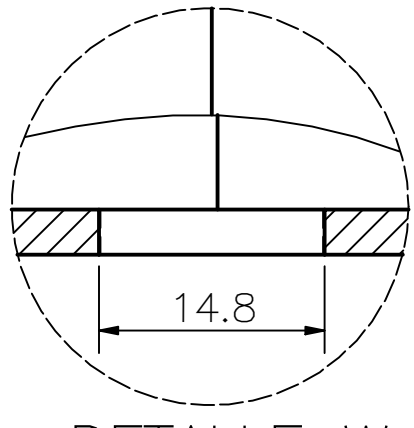
DETALLE Y  
ESCALA 5:1



DETALLE U  
ESCALA 5:1



DETALLE V  
ESCALA 5:1



DETALLE W  
ESCALA 2:1

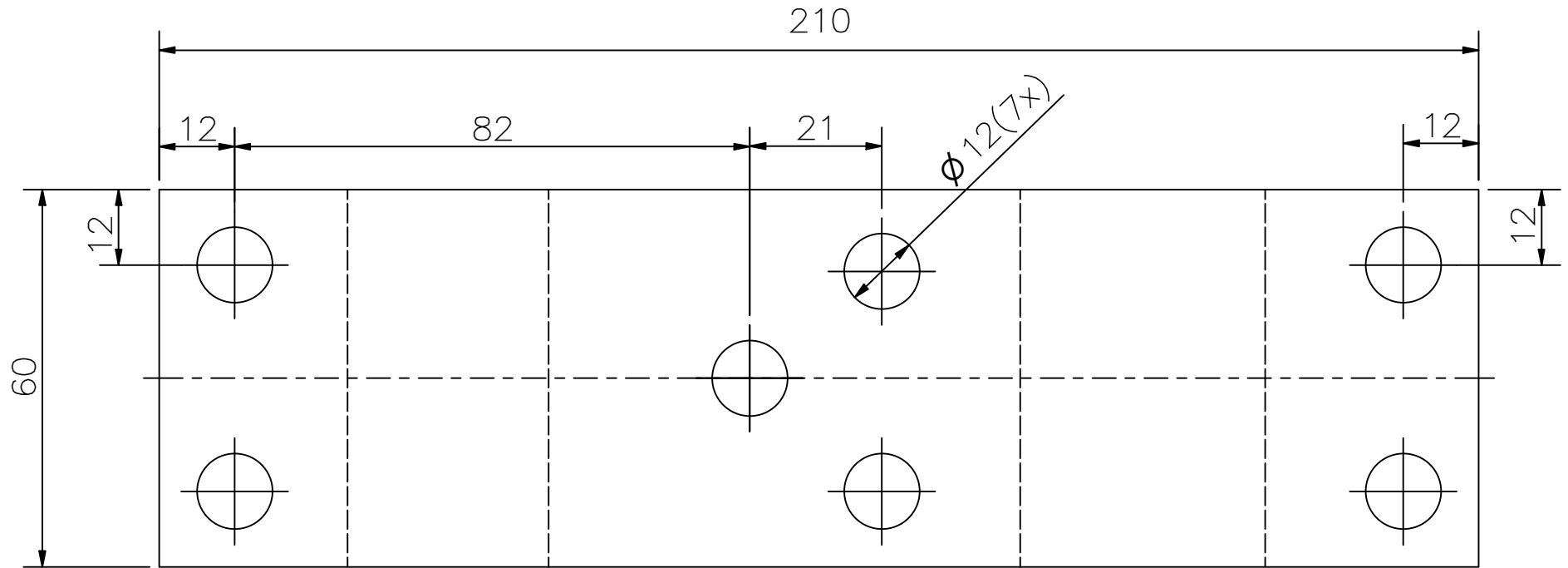
2 unidades      Radio de curvaturas: 3mm

ACABADO SUPERFICIAL 50 / (12.5 / 0.16)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MEDIA	MATERIAL ASTM A-36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FAC. DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN First angle projection symbol	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico <b>SOPORTE SUPERIOR</b>	ESCALA 1:10
20111051	PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.08
		LÁMINA: F16-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

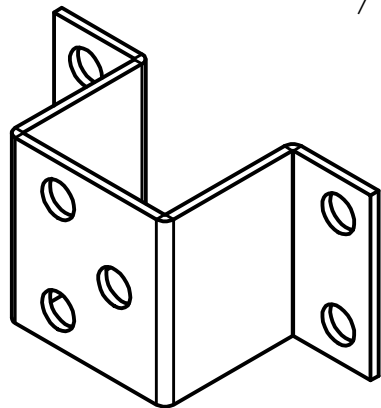
Proceso: SMAG o TIG, soldadura E7018  
Verificación: Inspección visual y ultrasonido.  
Acabado: Pulido con amoladora, Calidad: II

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------



7 SOPORTE DE BISAGRA 60 x 120  
 MATERIAL PL 3 ASTM A-36  
 2 unidades

Radio de curvatura: 3mm



ACABADO SUPERFICIAL 50 / (12.5)	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MEDIA	MATERIAL ASTM A-36
------------------------------------	---	-----------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FAC. DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA

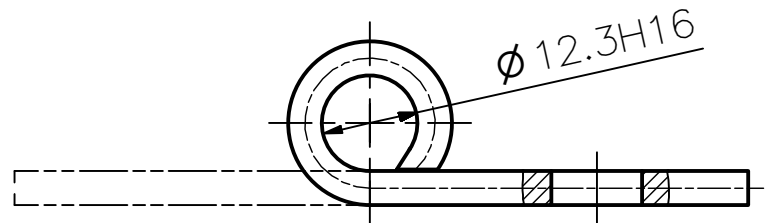
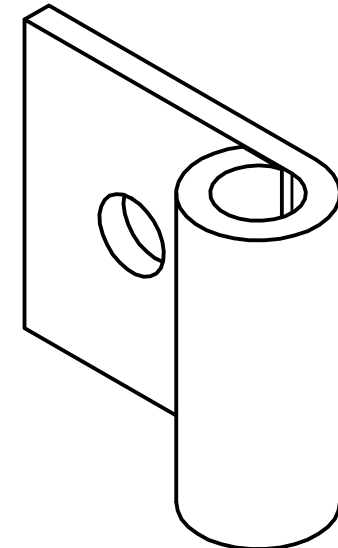
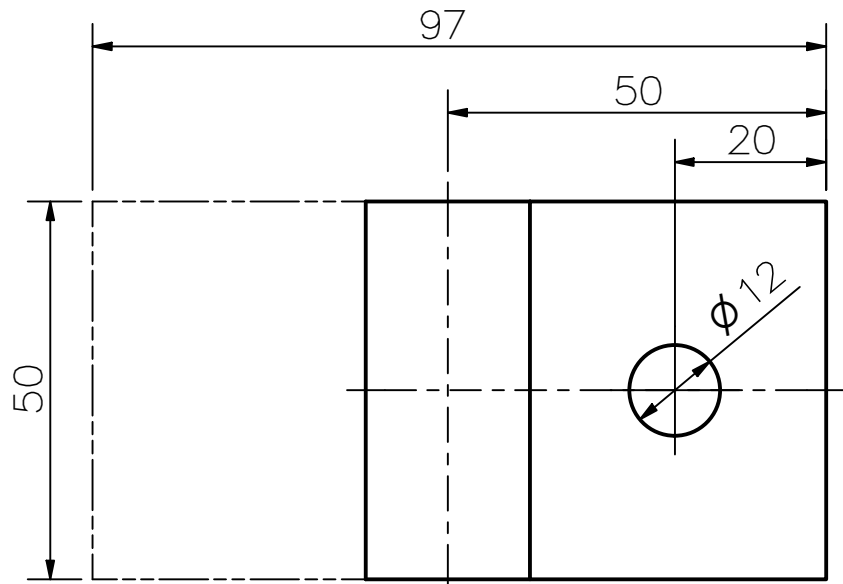
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 2:1
SOPORTE DE BISAGRA		

20111051	PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.08
----------	----------------------------	----------------------

CRISTO VIVE ESTRUCTURAS METÁLICAS	LÁMINA: F17-A4
-----------------------------------	-------------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
 SEGÚN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

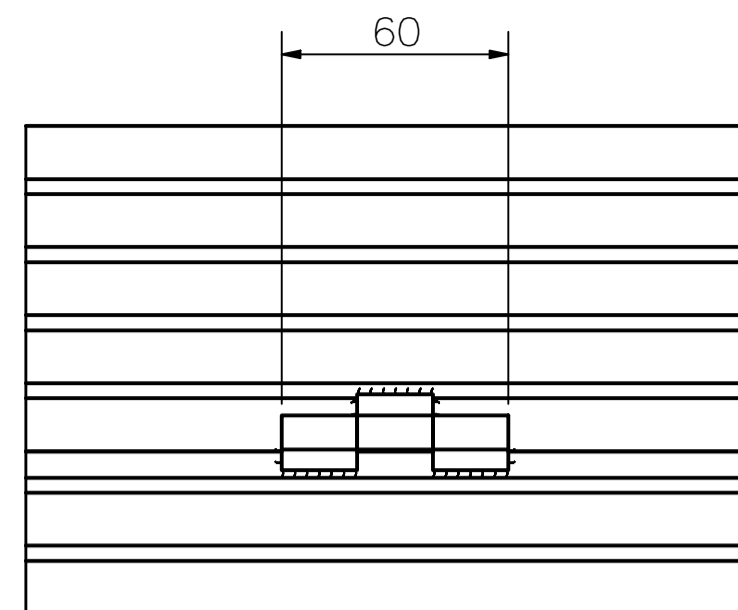
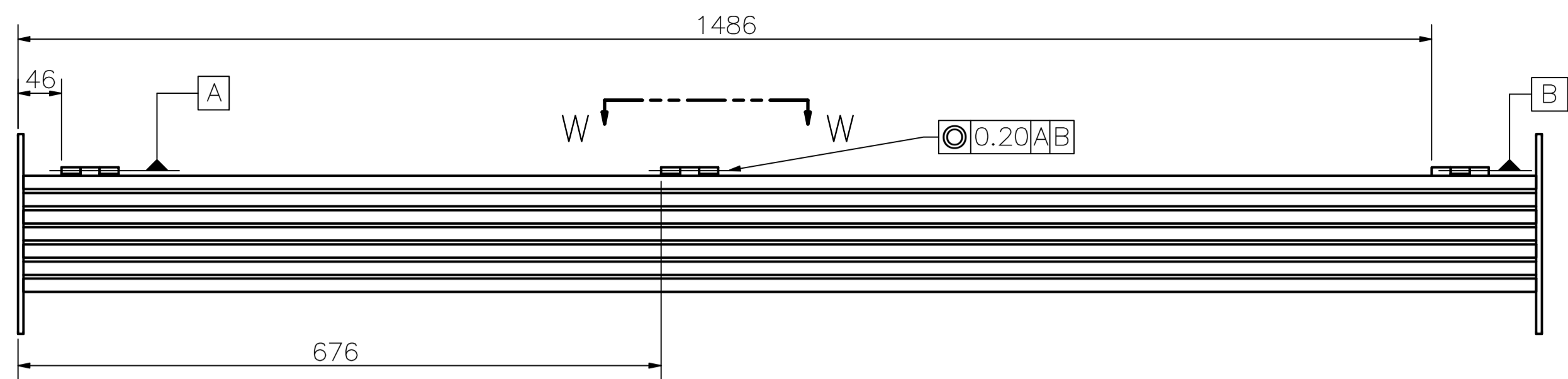


BISAGRA 4.5x50x50  
 MATERIAL BASE: PL 4.5x50x97  
 4 unidades

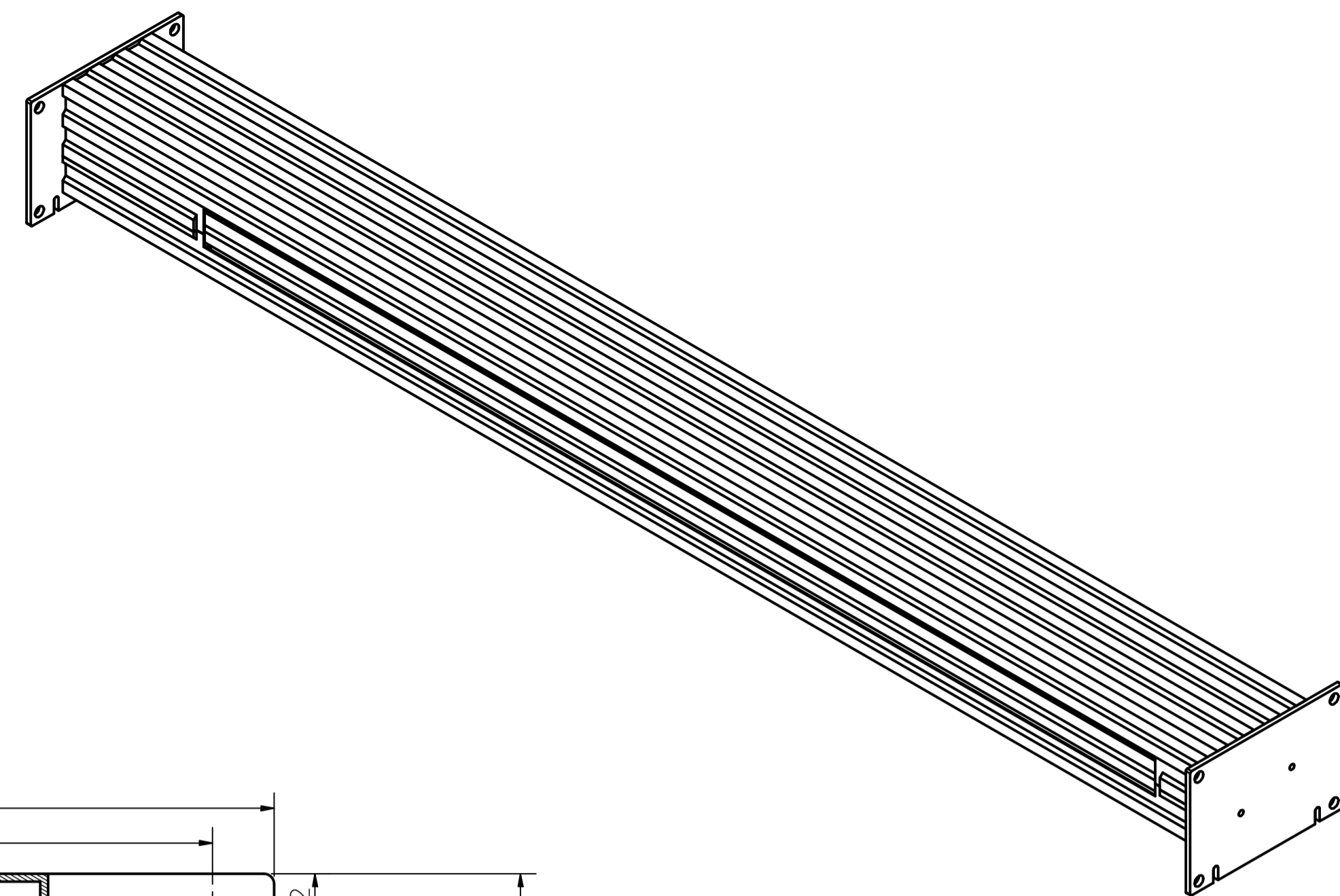
TOLERANCIAS SEGÚN DIN 7168		
GRADO DE EXACTITUD	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120
MEDIO	±0,2	±0,3

12.3H16	13.400	12.300
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

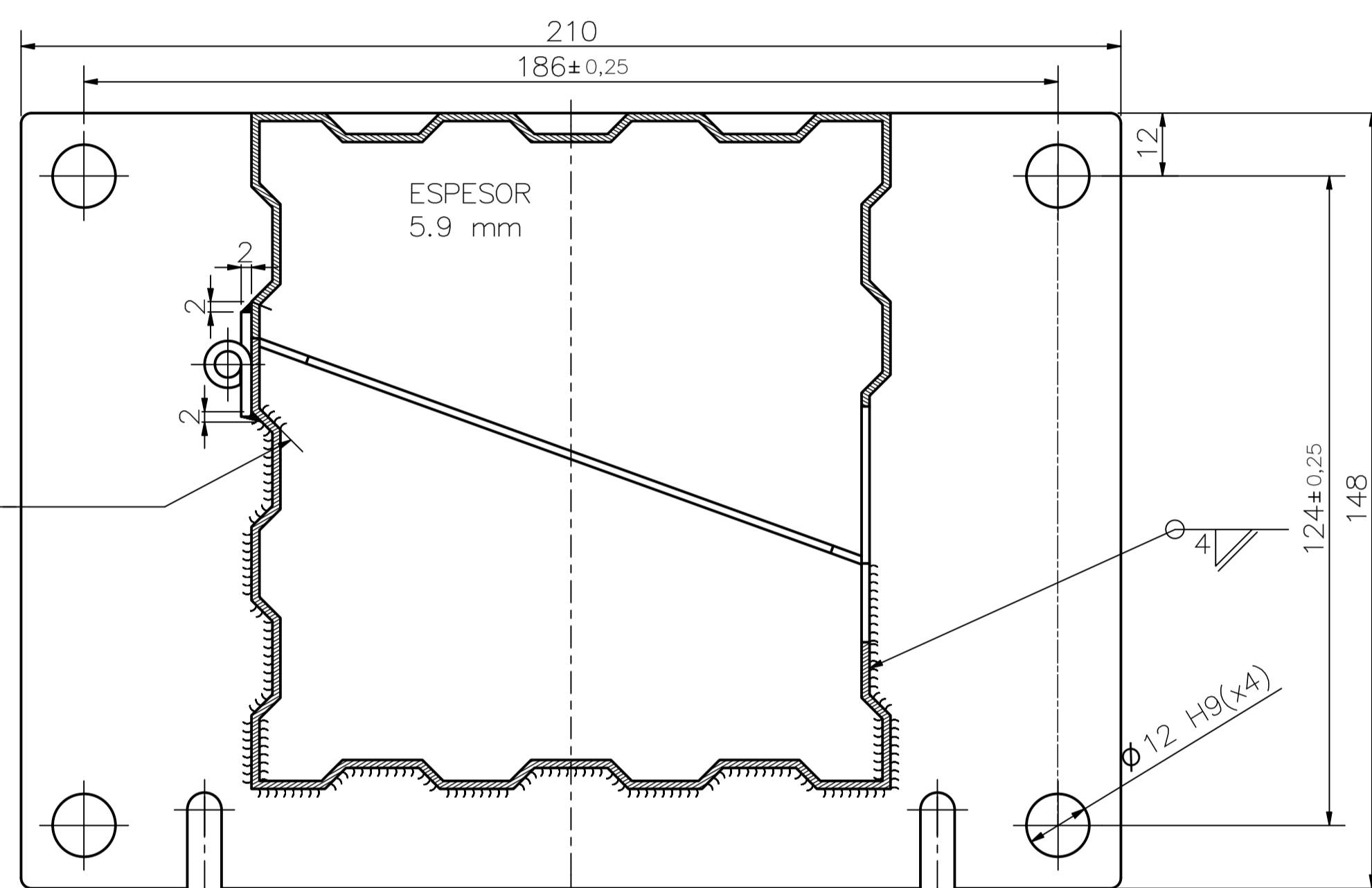
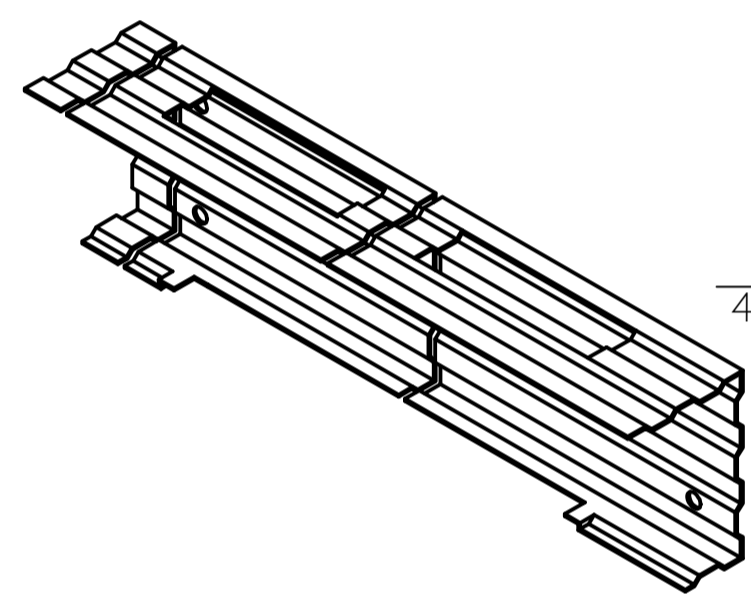
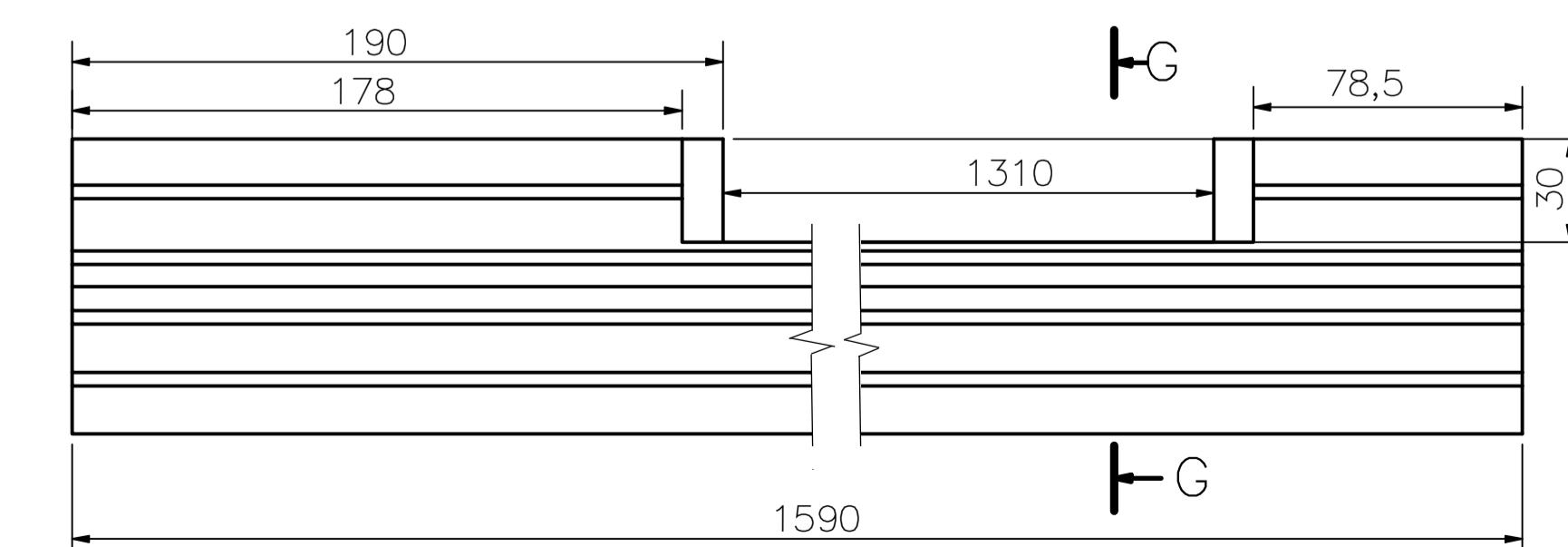
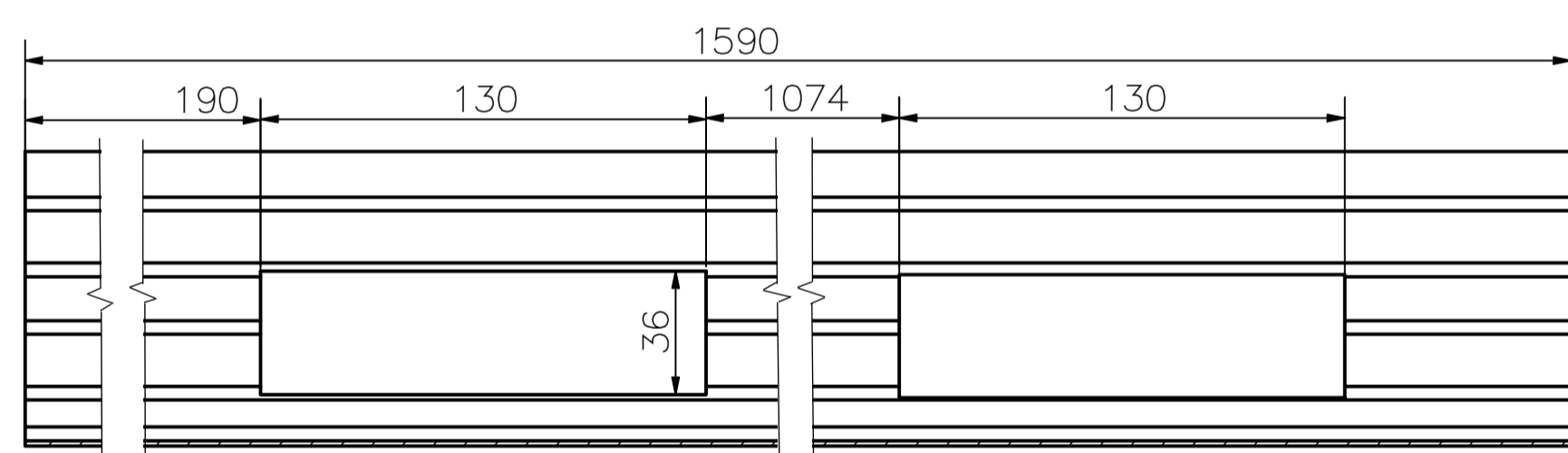
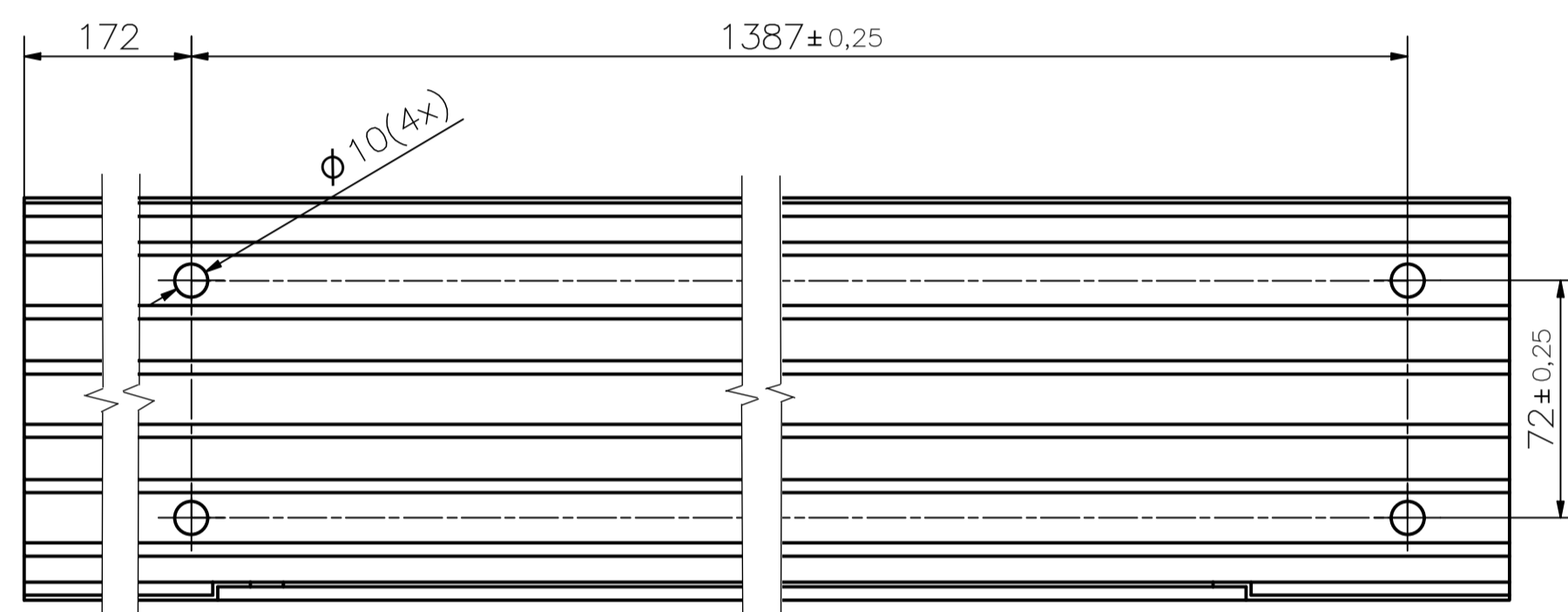
ACABADO SUPERFICIAL 50	TOLERANCIA GENERAL DIN 7168 MEDIA	MATERIAL ASTM A-36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FAC. DE CIENCIAS E INGENIERÍA – INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 2:1
HOJA DE BISAGRA		FECHA: 2019.05.03
PÉREZ PEÑA LEONIDAS ISRAEL		LÁMINA: F18-A4



VISTA W-W  
ESCALA 1:2

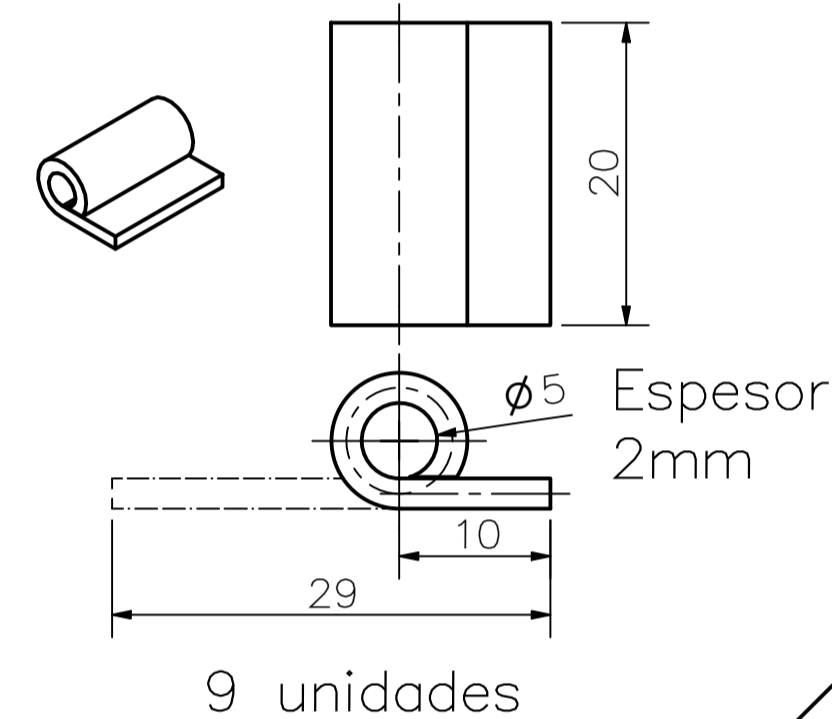


ESCALA 1:5

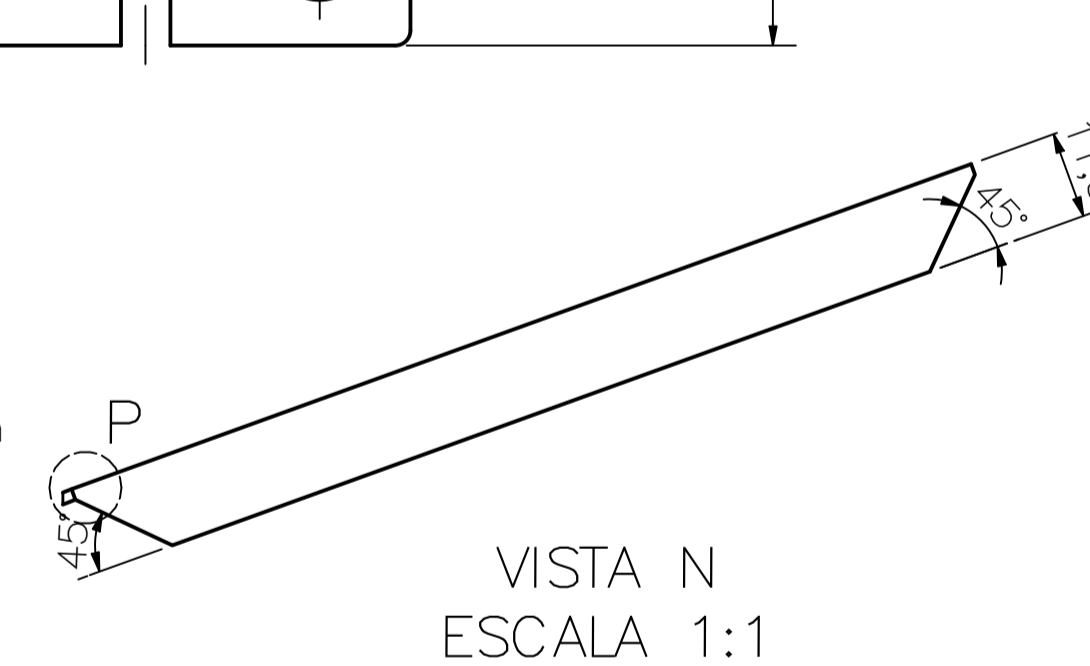


SECCIÓN T-T  
ESCALA 1:1

Soldadura : MIG con electrodo de acero inoxidable  
Calidad : II  
Se suelda de forma semejante en el otro extremo con las piezas correspondientes



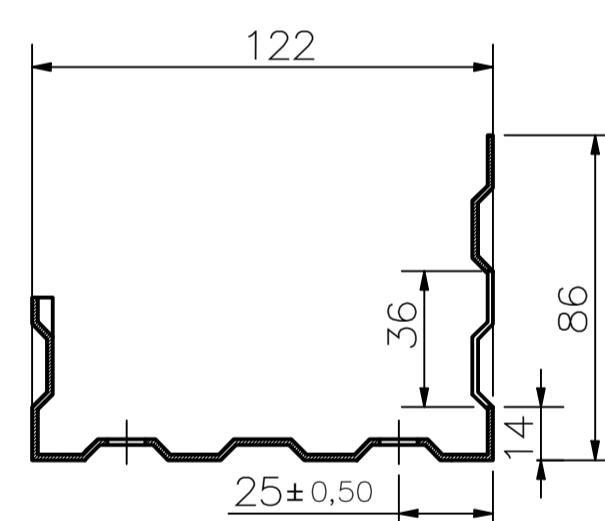
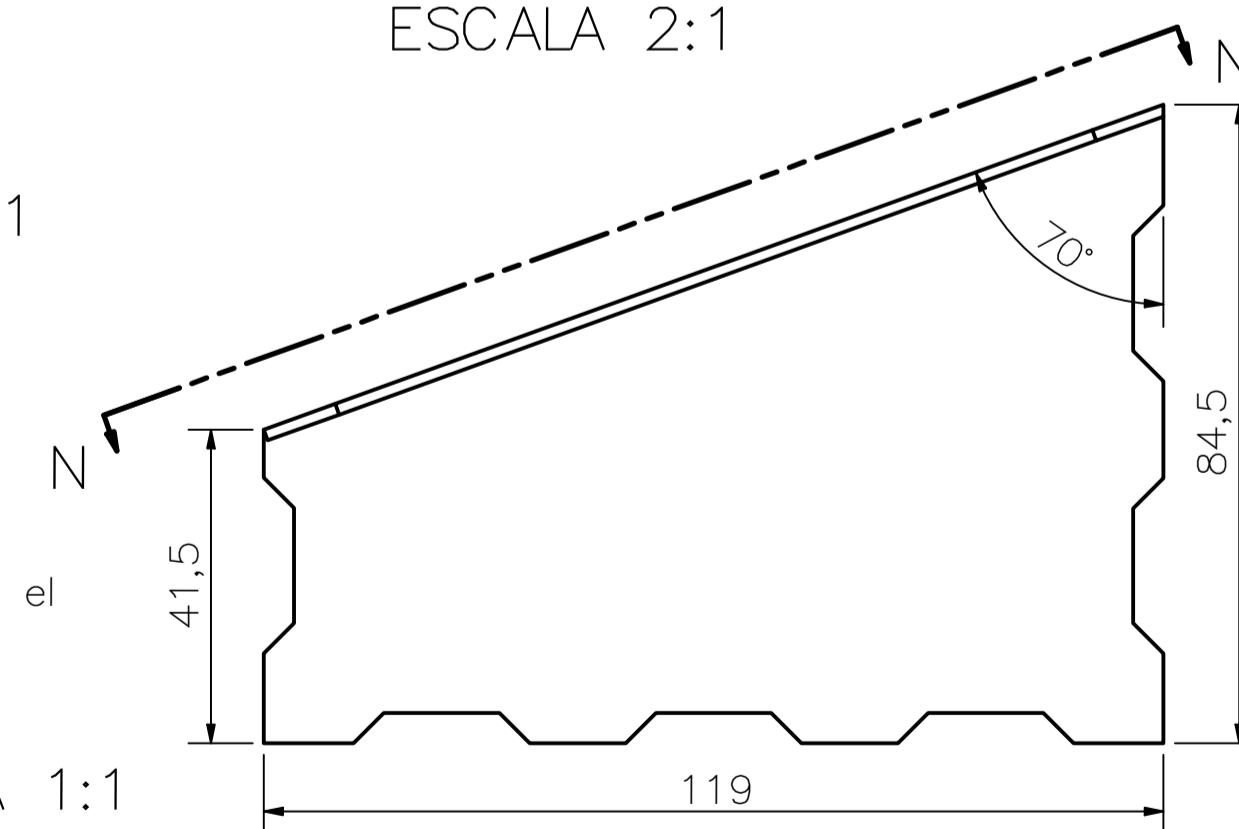
DETALLE P  
ESCALA 2:1



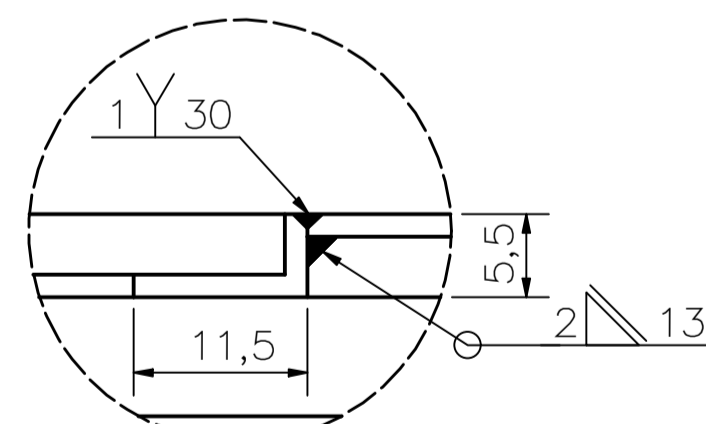
VISTA N  
ESCALA 1:1

Se fabricó una cubierta lateral y la otra es su simétrico  
Después de cortar debe ingresar en el interior de la cavidad doblada

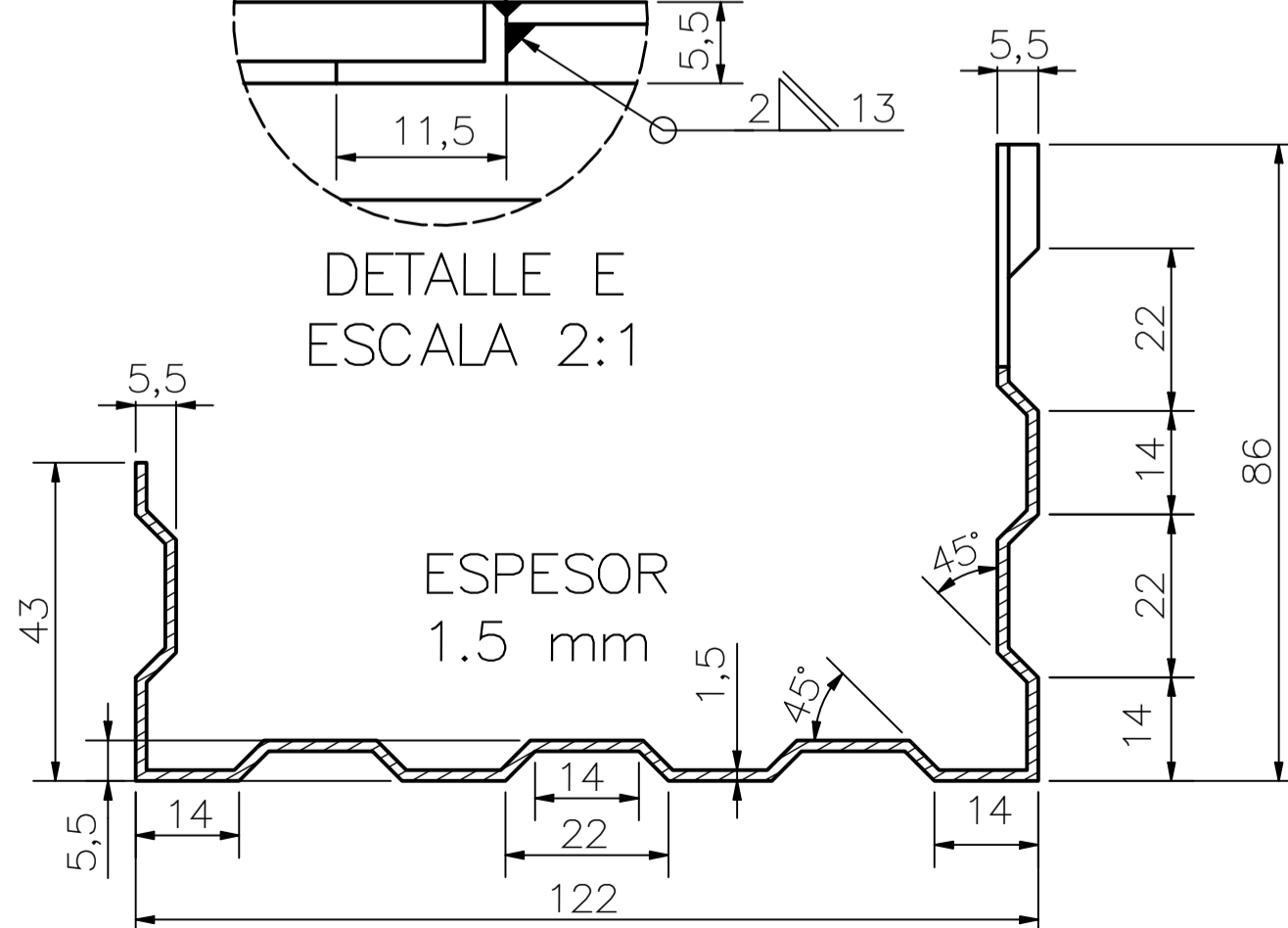
ESCALA 1:1



El doblés es igual que la otra pieza



DETALLE E  
ESCALA 2:1



SECCIÓN G-G  
ESCALA 1:1

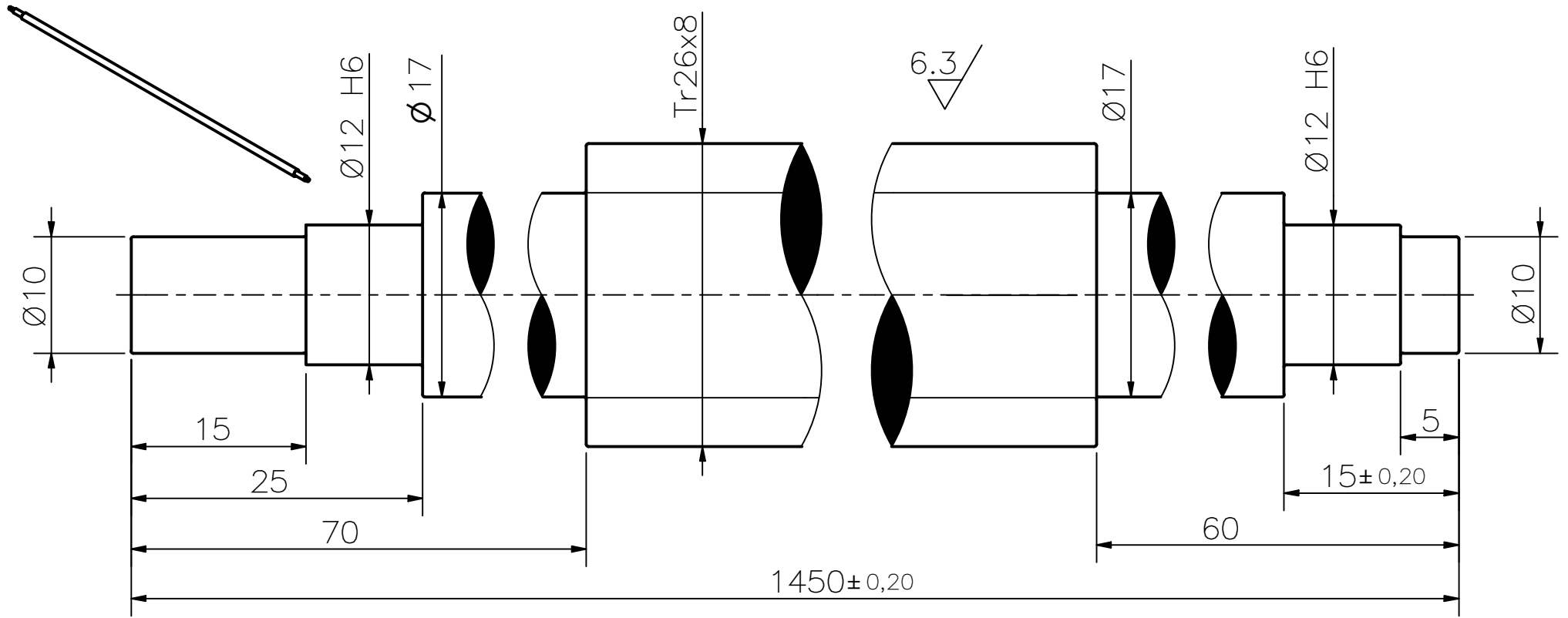
El doblés es acanalado con las mismas distancias de acabado por cada canal, se indican las distancias que son diferentes

Radio de curvaturas: 3 mm

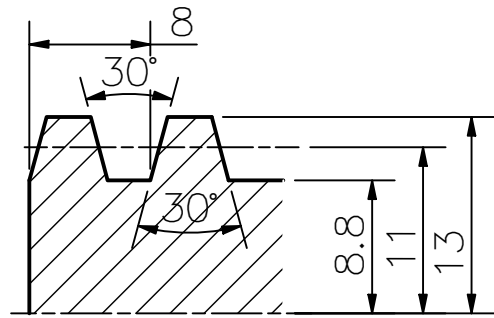
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
50	DIN-7168 MEDIO	ASTM A-36
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - ESP. DE INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA
	FABRICACIÓN DE COBERTOR DE SISTEMAS MOTORES	1:2
20111051	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.10
		LÁMINA: F2-A0

12H9	12.043	12.000
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA



Rosca según norma DIN 379



ACABADO SUPERFICIAL 50 / (6.3)	TOLERANCIA GENERAL DIN-7168 FINO	MATERIAL DIN 16MnCr5
-----------------------------------	--	-------------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESP. DE INGENIERIA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 2:1
FABRICACIÓN DE EJE ROSCADO		

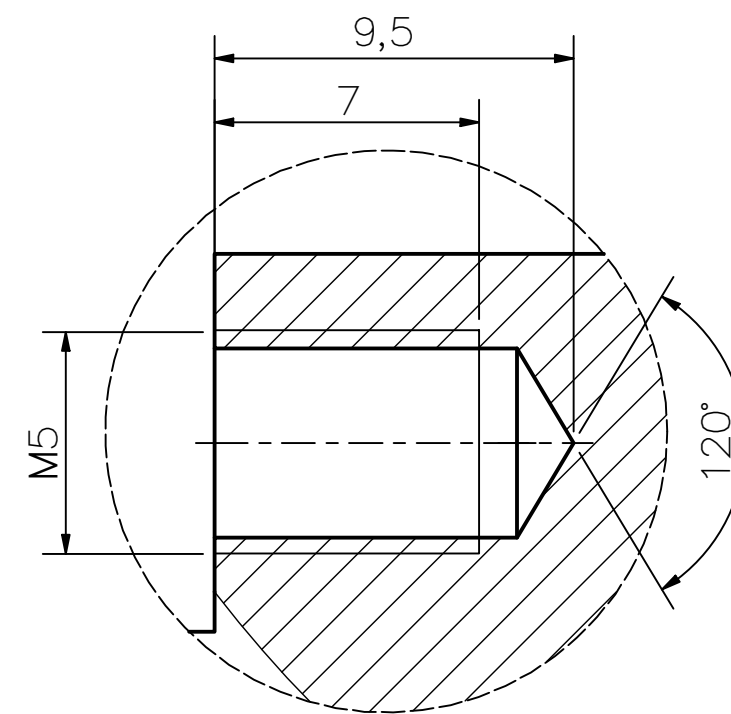
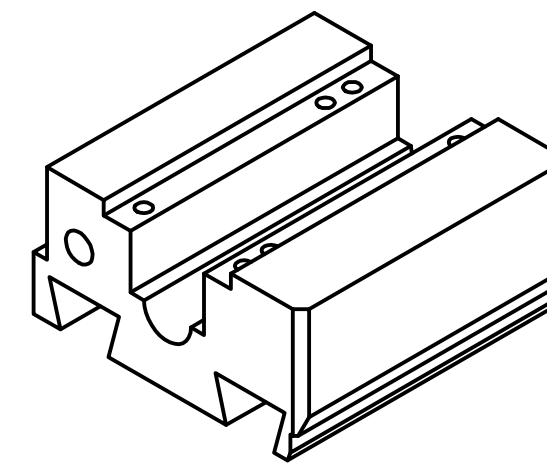
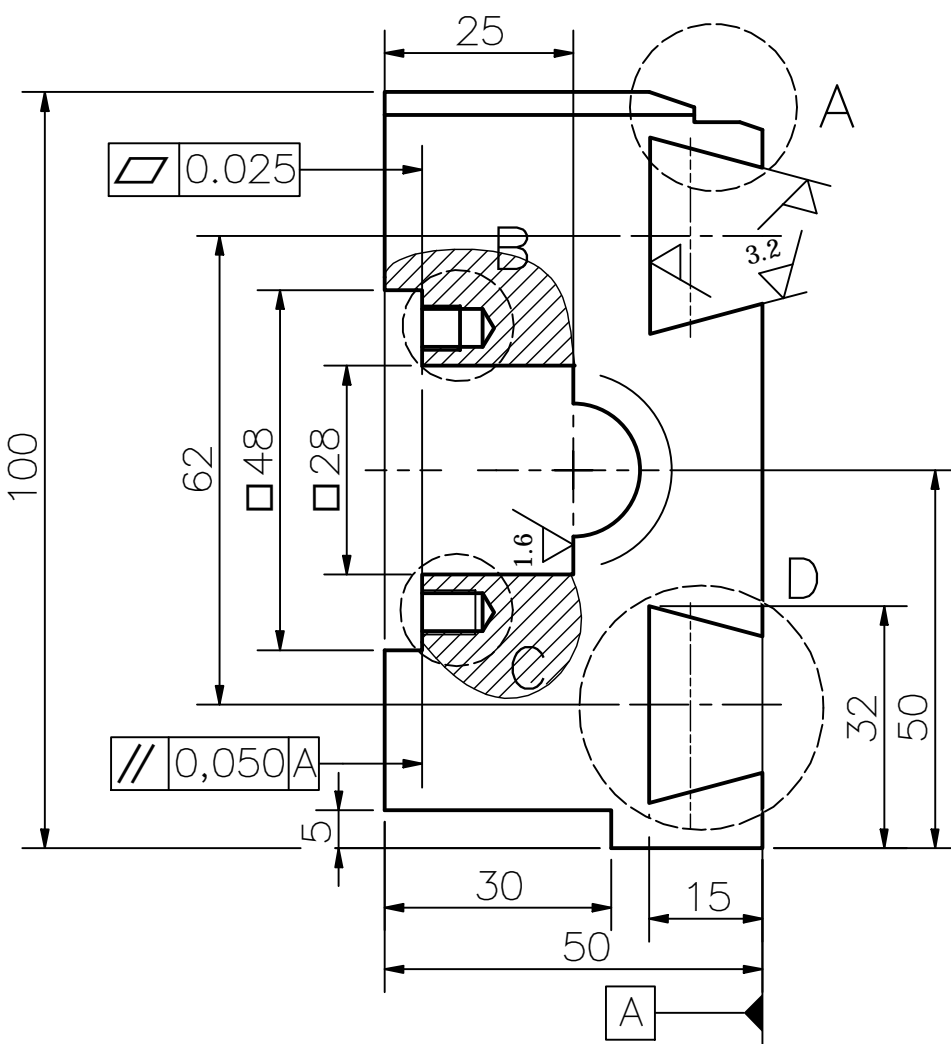
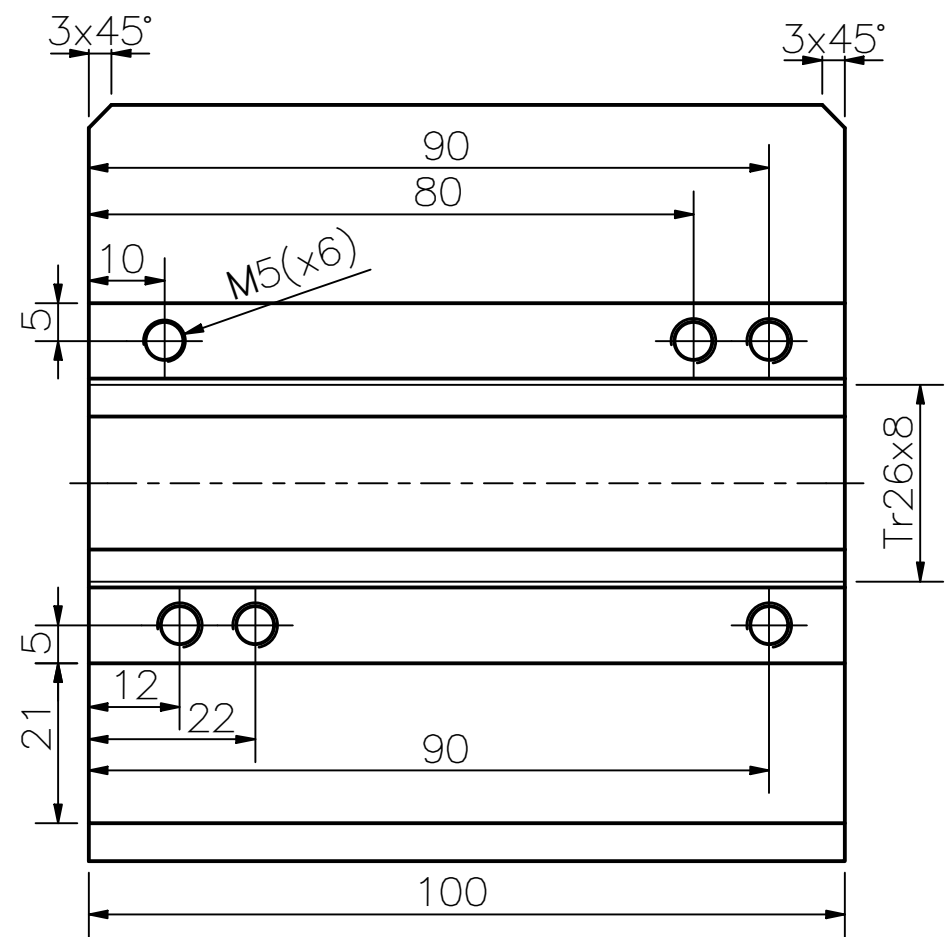
20111051	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.05.03
----------	-----------------------------	----------------------

		LÁMINA: F24-A4
--	--	-------------------

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168			
GRADO DE EXACTITUD	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
FINO	±0,05	±0,15	±0,2

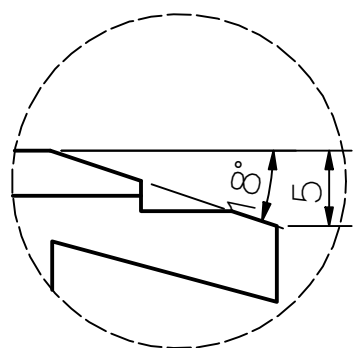
MATERIAL BASE: Ø28x1454  
2 unidades  
Redondeos 0.2

12H6	12.011	12.000
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA

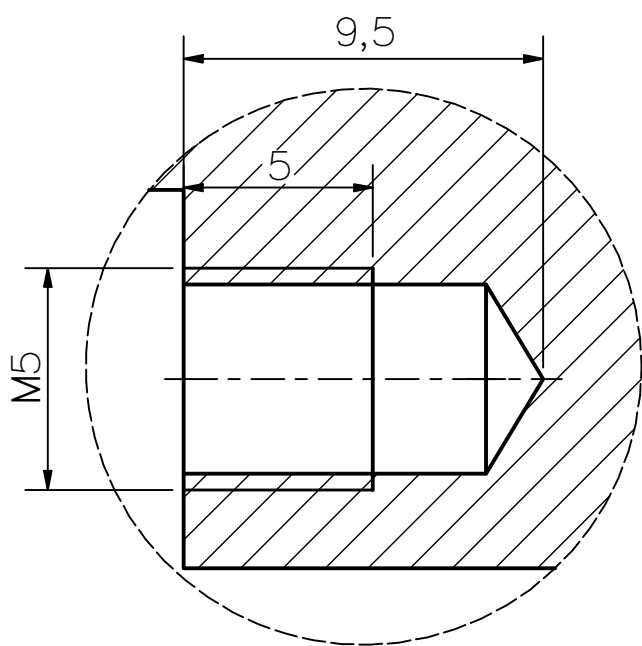


DETALLE C  
ESCALA 2:1

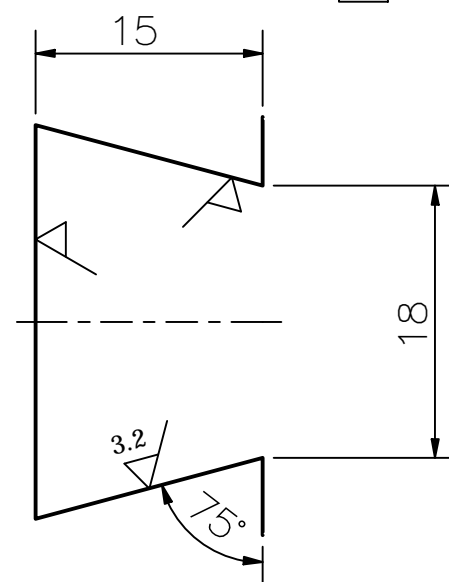
Los agujeros de los extremos son como B y los dos restantes son como C



DETALLE A  
ESCALA 2:1



DETALLE B  
ESCALA 2:1



DETALLE D  
ESCALA 2:1

Redondeos 0.2

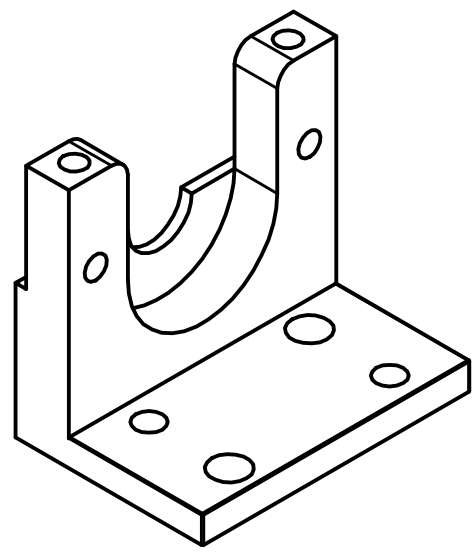
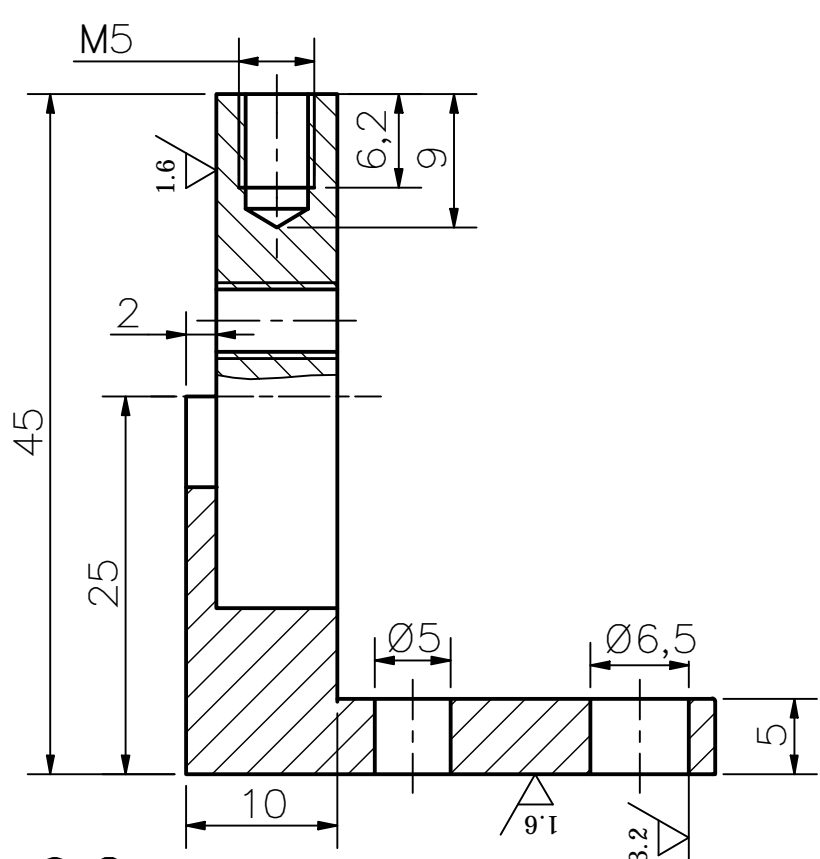
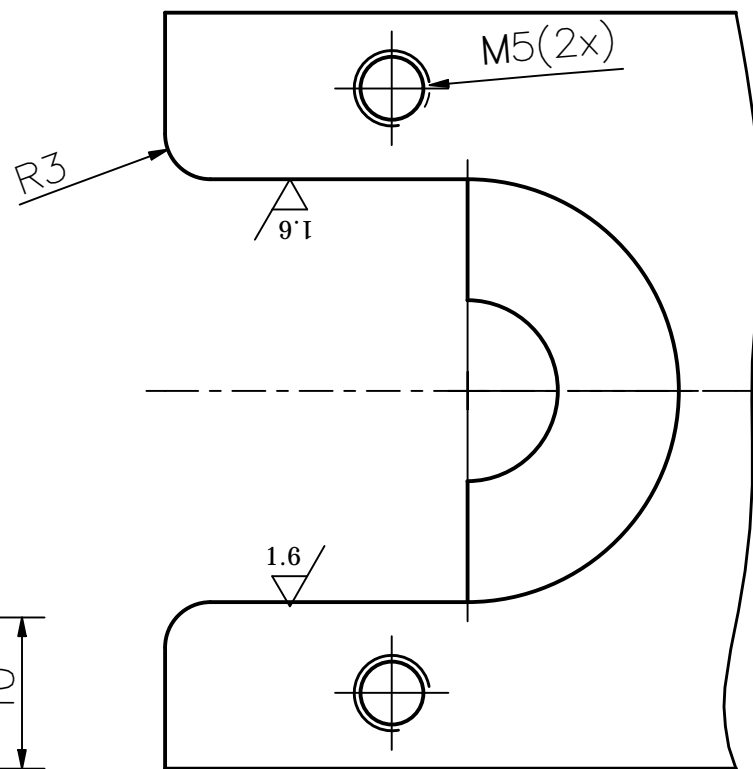
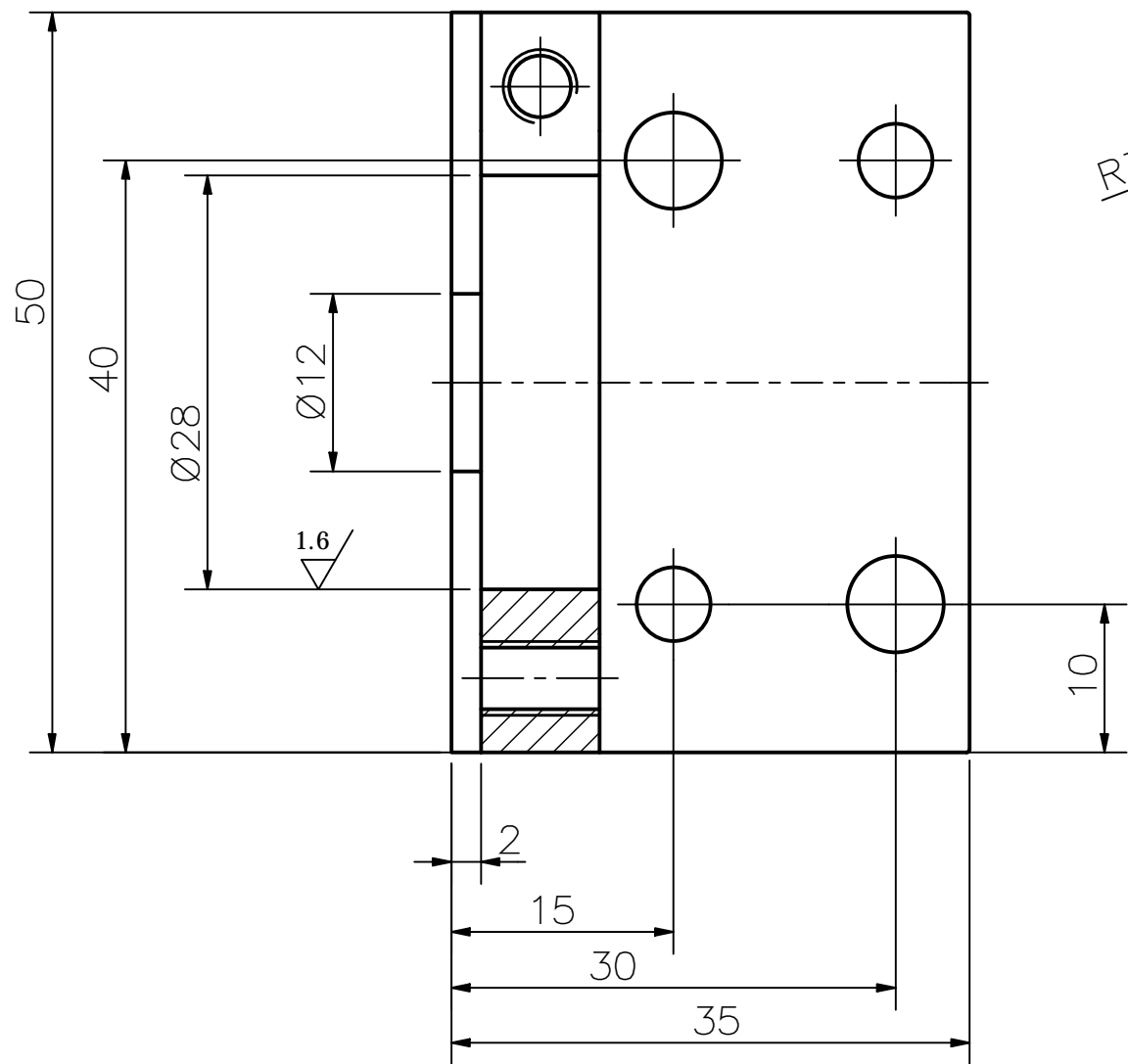
2 unidades

ACABADO SUPERFICIAL 8.3 / (1.6 / 3.2)	TOLERANCIA GENERAL DIN-7168 FINO	MATERIAL 18CrNi8
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESP. DE INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN ⊕ ⊖	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 1:1
20111051	FABRICACIÓN DE BASE DE CARRO MÓVIL	FECHA: 2019.04.10
PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL		LÁMINA: F28-A3

TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN 7168

GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

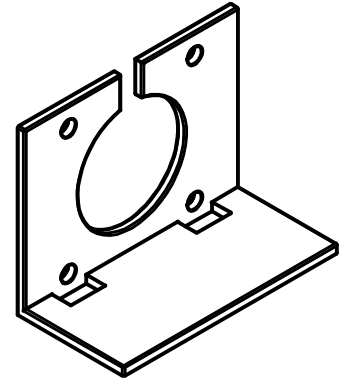
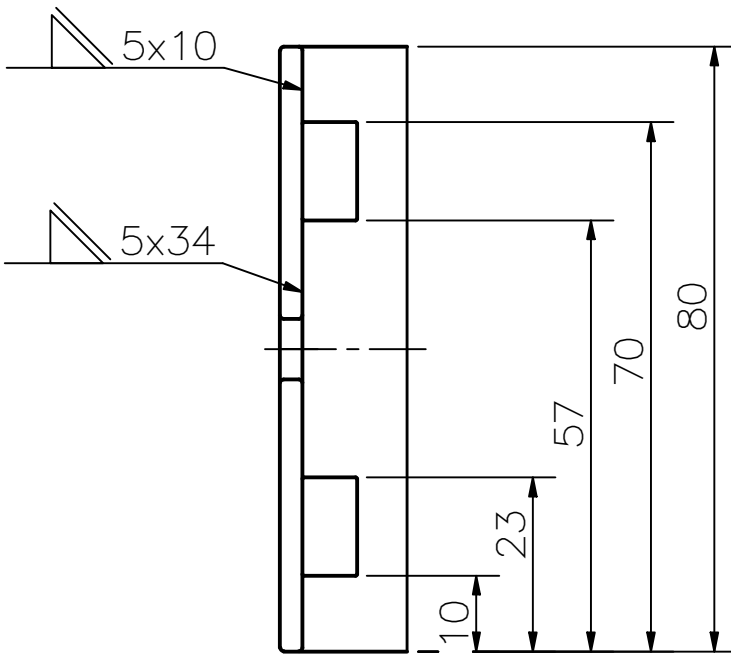


BASE DE CHUMACERA  
fundición mecanizada  
4 unidades

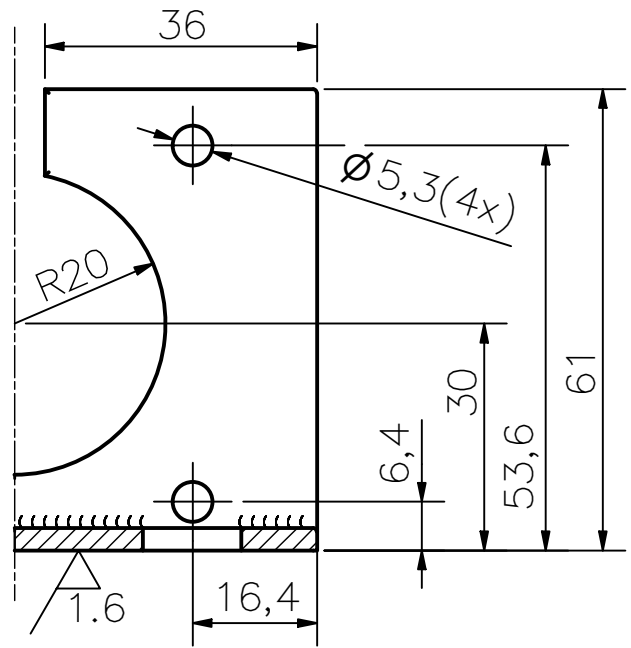
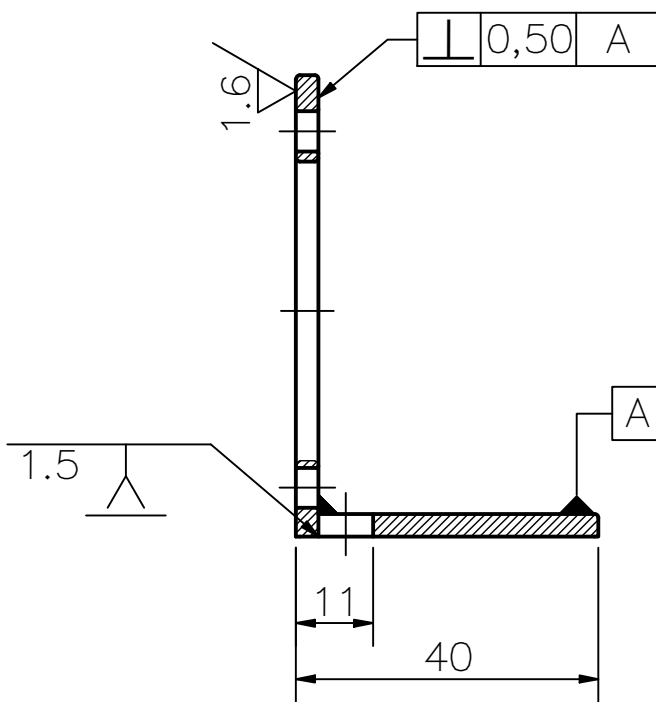
Redondeos 0.2

ACABADO SUPERFICIAL 8.3 / ( 1.6 / 3.2 )		TOLERANCIA GENERAL DIN-7168 FINO	MATERIAL 16MnCr5
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESP. DE INGENIERIA MECATRÓNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico		ESCALA 1:1
20111051	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL		FECHA: 2019.05.03
			LÁMINA: F2A-A4

TOLERANCIAS SEGUN DIN E 7168		
TIPO DE FUNDICION	Más de 10 hasta 30	Más de 30 hasta 80
ACERO MOLDEADO	+3 -1.5	+4 -2



Material base: PL 2.9x80x98  
2 unidades



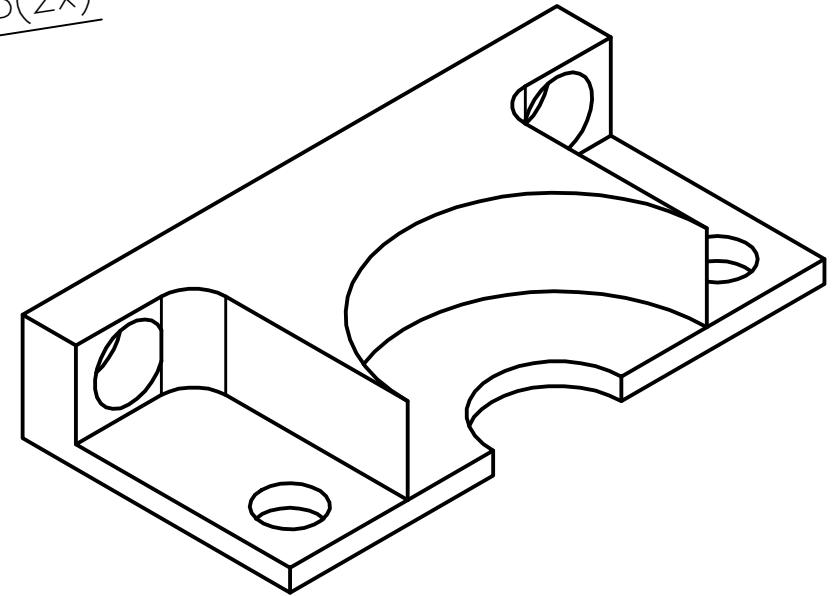
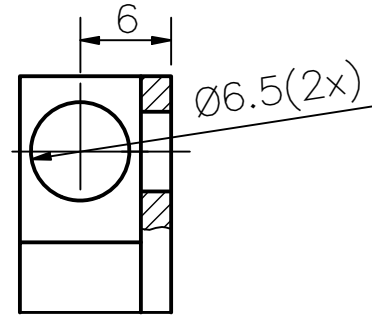
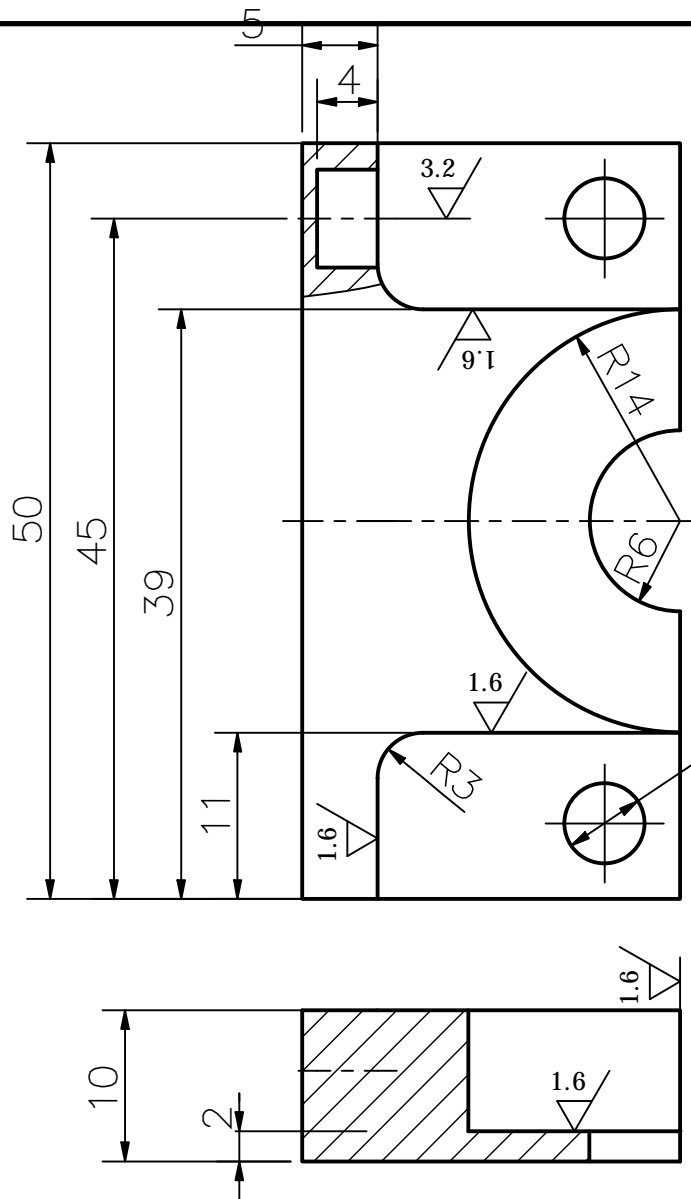
REDONDEOS 0.5

ACABADO SUPERFICIAL 50 / (1.6)	TOLERANCIA GENERAL DIN-7168 FINO	MATERIAL ASTM A-1008
-----------------------------------	--	-------------------------

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESP. DE INGENIERIA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA
	SOPORTE DE SERVOMOTOR	1:2
20111051	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.11
		LÁMINA: F2B-A4

TOLERANCIAS DIN 7168	
Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120
±0,1	±0,15

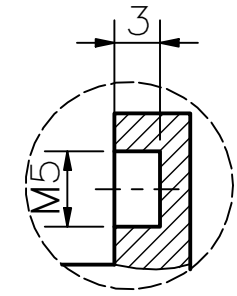
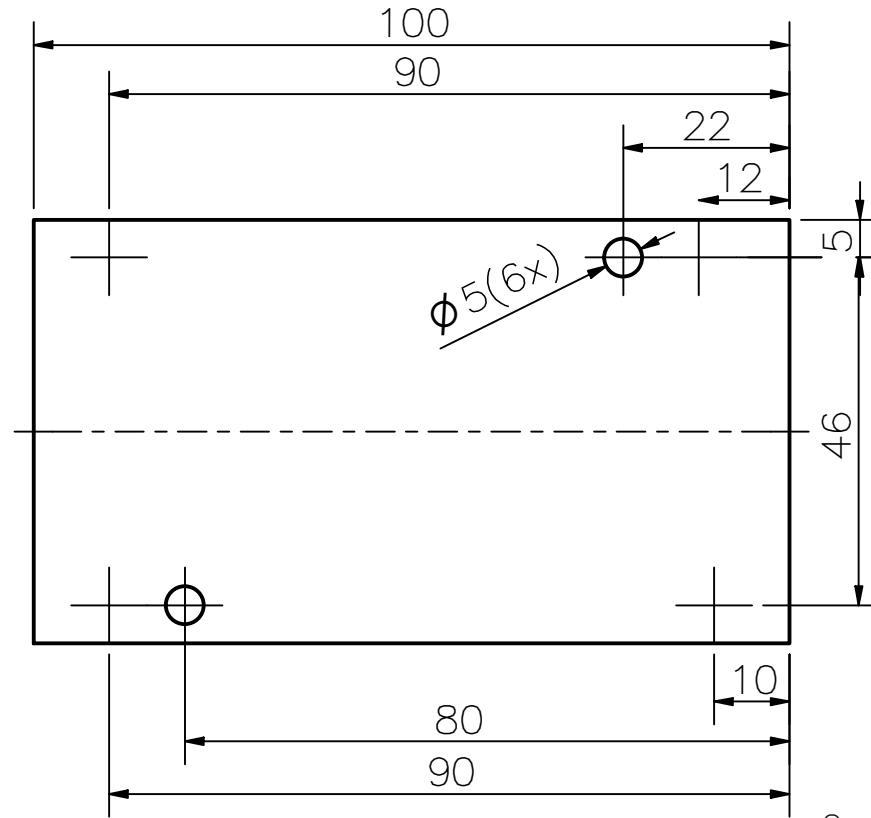
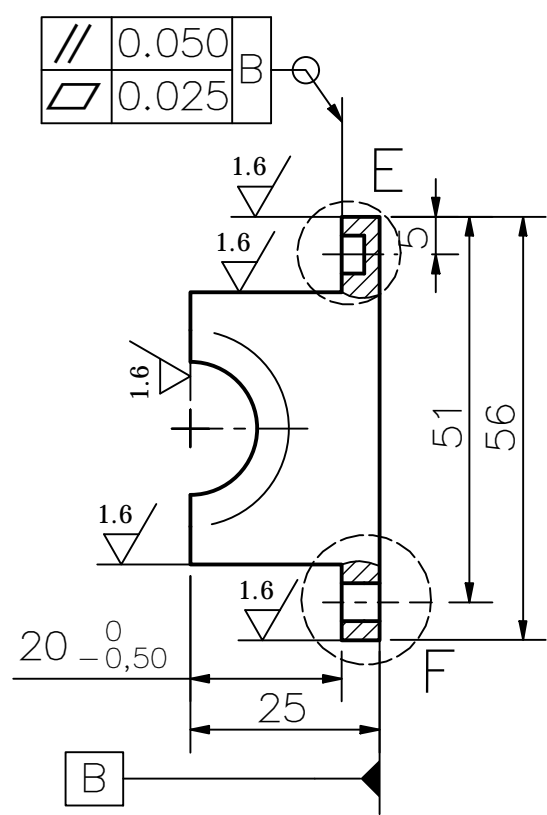


Redondeos 0.2

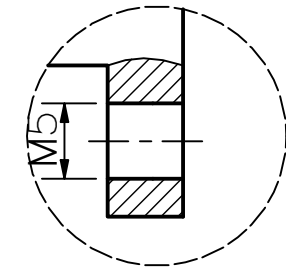
4 unidades

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168						
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3

ACABADO SUPERFICIAL 8.3 / ( 1.6 / 3.2 )	TOLERANCIA GENERAL DIN-7168 FINO	MATERIAL 16MnCr5
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESP. DE INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 2:1
20111051	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.11
		LÁMINA: F2D-A3



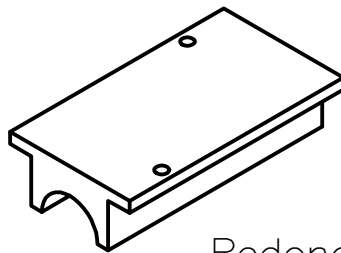
DETALLE E  
ESCALA 2:1



DETALLE F  
ESCALA 2:1

2 unidades

Los agujeros de los extremos son como B y los dos restantes son como C



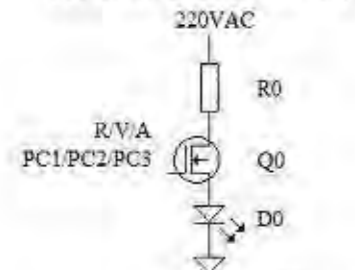
Redondeos 0.2

ACABADO SUPERFICIAL 8.3 / (1.6 / 3.2)	TOLERANCIA GENERAL DIN-7168 FINO	MATERIAL 18CrNi8
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESP. DE INGENIERIA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	Tesis para optar el título de ingeniero mecatrónico	ESCALA 1:1
20111051	FABRICACIÓN DE TAPA DE CARRO MÓVIL	FECHA: 2019.04.10
	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	LÁMINA: F2G-A4

**TOLERANCIAS DIMENSIONALES  
SEGUN DIN 7168**

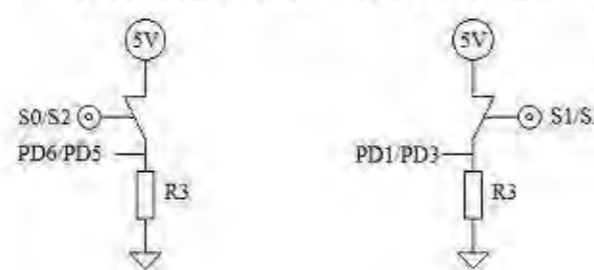
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400	Más de 400 hasta 1000
FINO	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3

CONEXIONES DE FOCOS LED

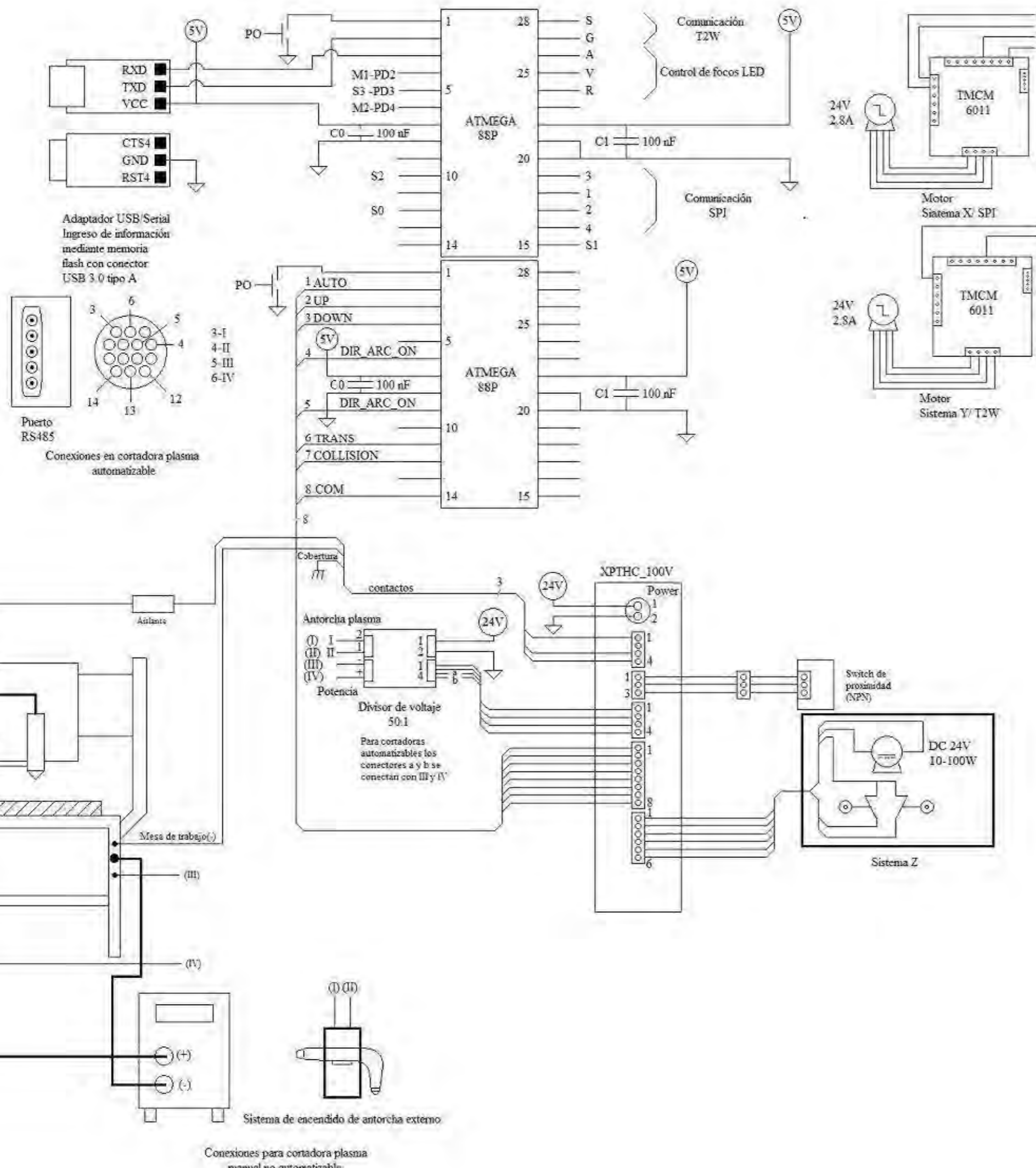
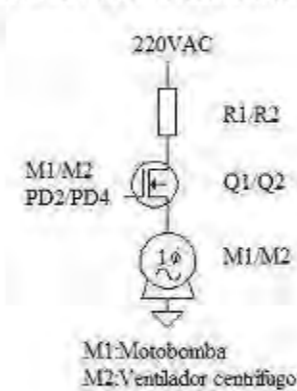


Circuito semejante para las 3 lámparas LED: Rojo(R), Amarillo(A) y Verde (V)

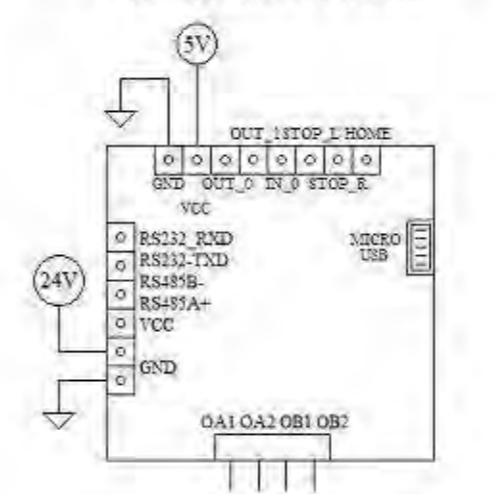
CONEXIONES DE SENSORES DE FIN DE CARRERA



CONEXION DE MOTORES SÍNCRONOS



DETALLE DE CONEXIONES ELÉCTRICAS EN CONTROLADORES TCMC 6011



49	1	Conector electrico_37		Generic	
48	4	DIN EN ISO 7047 (Z) - M3x4 - 4.8 - Z	DIN EN ISO 7047	Steel	
47	1	empaque de serial 37		Generic	
45	1	D-Sub Female 37CKT Crimp		Generic	
49	1	Punta de corte plasma	s		HYPERHERM
48	1	Sistema Z(1 motor DC, 2 LS)	S		XPTHC
47	1	Switch de proximidad (NPN)	S		XPTHC
46	1	Control XPTHC_100V	S		XPTHC
45	1	Divisor de voltaje	S		XPTHC
44	1	Cobertura			XPTHC
43	1	Automatizador de encendido	S		Plano E8-A1
42	1	Cortadora plasma	S		HYPERTRHERM
41	1	Mesa de trabajo de CP	S		
40	1	Aislante	S		
39	2	Condensador C0 100nF	S		
38	2	Condensador C1 100nF	S		
37	2	Minipulsador PO	S		
36	1	Bornera RD235 de CP	S		
35	1	Bornera multipunto de CP	S		
34	1	Lector USB to UART	S		
33	4	Resistenca R3	S		
32	1	Rollo de cable de conexiones N8	S		Plano FE2-A1
31	1	Rollo de cable de conexiones N14	S		Plano FE2-A1
30	1	Rollo de cable de conexiones N12	S		Plano FE2-A1
29	1	Cable de conexion a tierra N12	S		
28	2	Lampara inicatora LED			
27	1	Lampara led D2	s		
26	1	Lampara led D1	s		
25	1	Ventilador centrífugo 0.35HP	s		Compra
24	1	Motobomba 0.15HP	s		Predrollo
23	1	Transistor MOSFET Q2	s		
22	1	Transistor MOSFET Q1	s		
21	1	Resistencia R2	s		
20	1	Resistencia R1	s		
19	1	Lampara led D0	s		
18	3	Transistor MOSFET Q0	s		
17	3	Resistencia R0	s		
5	2	Microcontrolador ATmega88P	s		Microship
4	2	Controlador TCMC 6011	s		TMC
3	4	Sensor capacitivo GX-F12			Panasonic
2	4	Limitador de carrera GLLA01F	s		Honeywell
1	2	Motor PD60-3-1161, 2.1 N.m 24V	s		TMC
POS.CANT		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

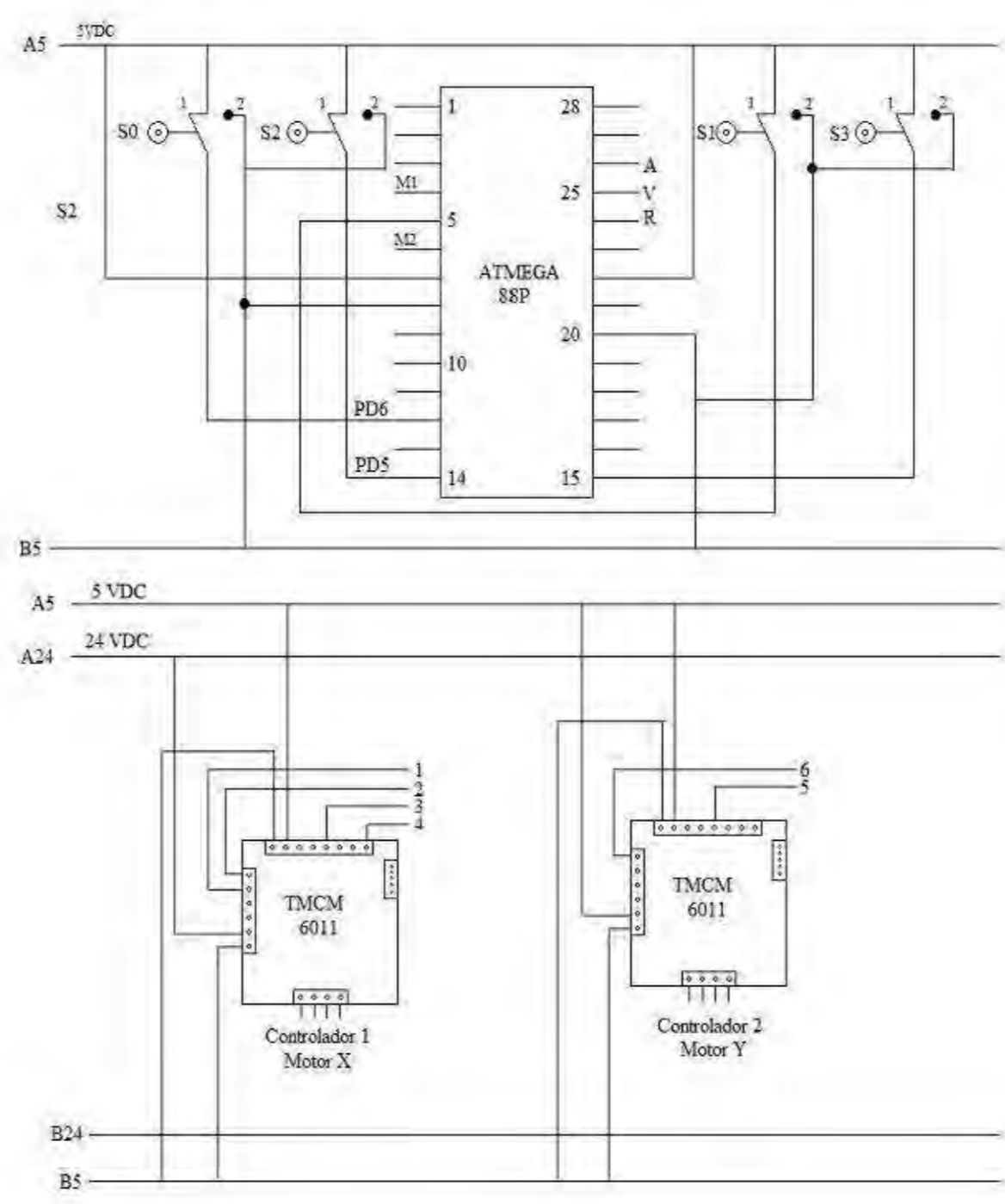
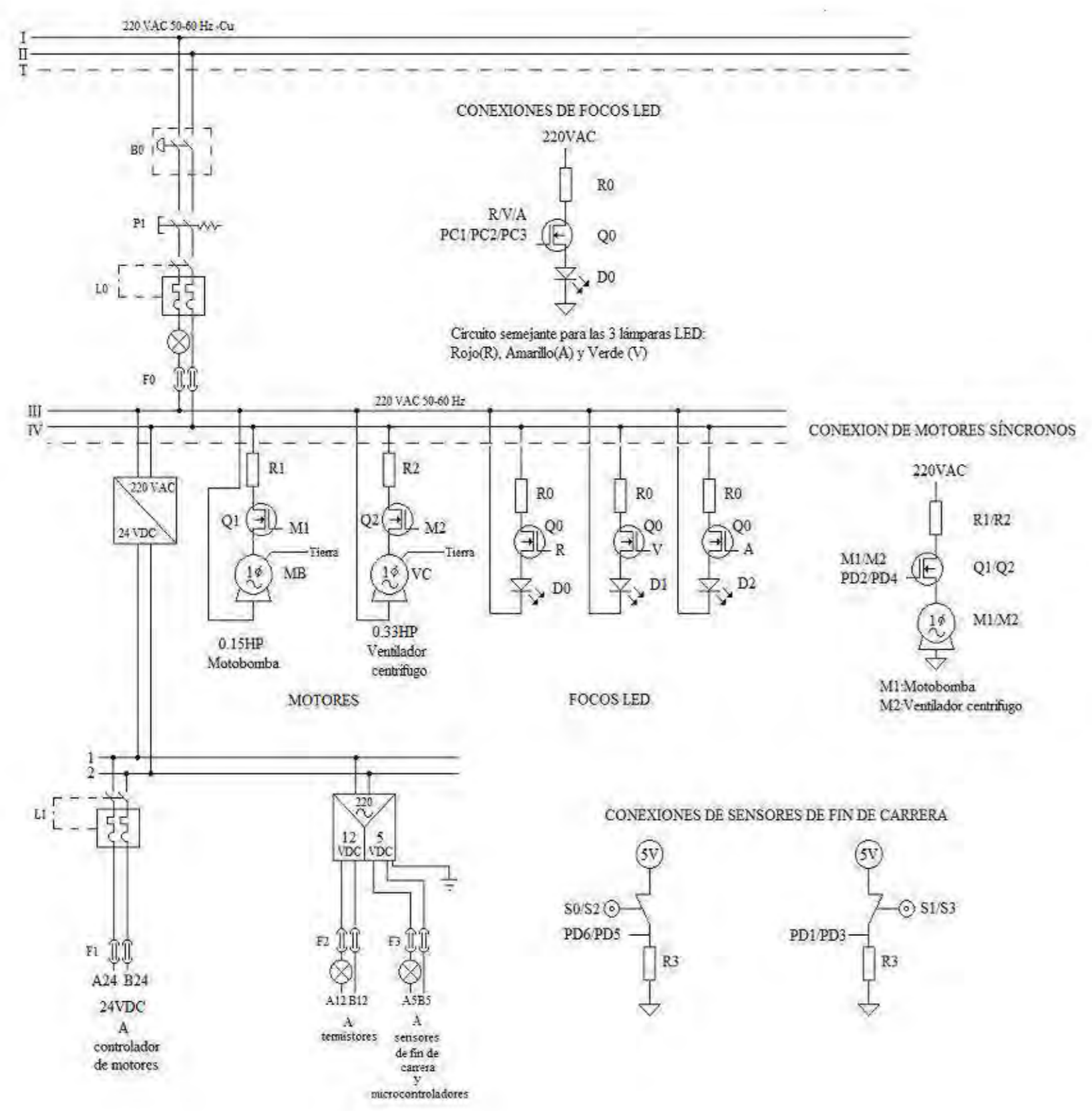
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA-ESP. DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN: Tesis para optar el grado de ingeniero mecatrónico  
ESCALA: PLANO ESQUEMÁTICO DE CONEXIONES

20111051 PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL FECHA: 2019.04.11

LÁMINA: CE1-A1

COTA NOMINAL COTA MÁXIMA COTA MÍNIMA



32	1	Rollo de cable de conexiones N8			
31	1	Rollo de cable de conexiones N14			
30	1	Rollo de cable de conexiones N12			
29	1	Cable de conexion a tierra N12			
28	2	Lampara inicatora LED			
27	2	Lampara led D2			
26	2	Lampara led D1			
25	1	Ventilador centrífugo 0.35HP			Compra
24	1	Motobomba 0.15HP			Predrollo
23	1	Transistor MOSFET Q2			
22	1	Transistor MOSFET Q1			
21	1	Resistencia R2			
20	1	Resistencia R1			
19	2	Lampara led D0			
18	6	Transistor MOSFET Q0			
17	6	Resistencia R0			
16	2	Fusibles F3			
15	2	Fusibles F2			
14	2	Fusibles F1			
13		Transformador 220VAC a 2 y5VDC			Plano FE1-A1
12	1	Transformador 220VAC-24VDC			Plano FE1-A1
11	2	Fusibles F0			
10	1	Lampara			
9	1	Llave térmomagnética L0			
8	1	Pulsador P1			
7	1	Botón de emergencia B0			
6	1	Llave térmomagnética L1			SIEMENS
5	1	Microcontrolador ATmega88P			Microship
4	2	Controlador TCM 6011			TMC
3	2	Sensor capacitivo GX-F12			Panasonic
2	4	Limitador de carrera GLLA01F			Honeywell
1	2	Motor PD60-3-1161, 2.1 N.m 24V			TMC
POS. CANT		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA-ESP. DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN: Tesis para optar el grado de ingeniero mecatrónico ESCALA

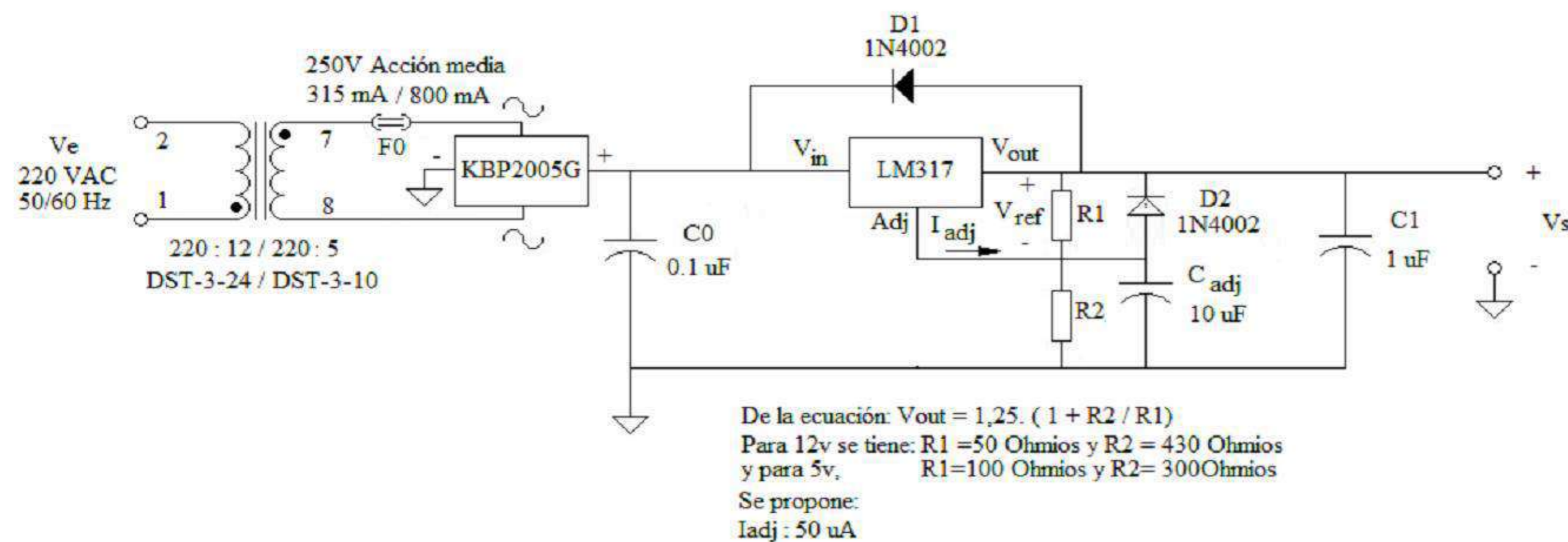
**PLANO ELÉCTRICO:  
POTENCIA Y CONTROL**

20111051 PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL FECHA: 2019.05.01

LÁMINA: CE4-A3

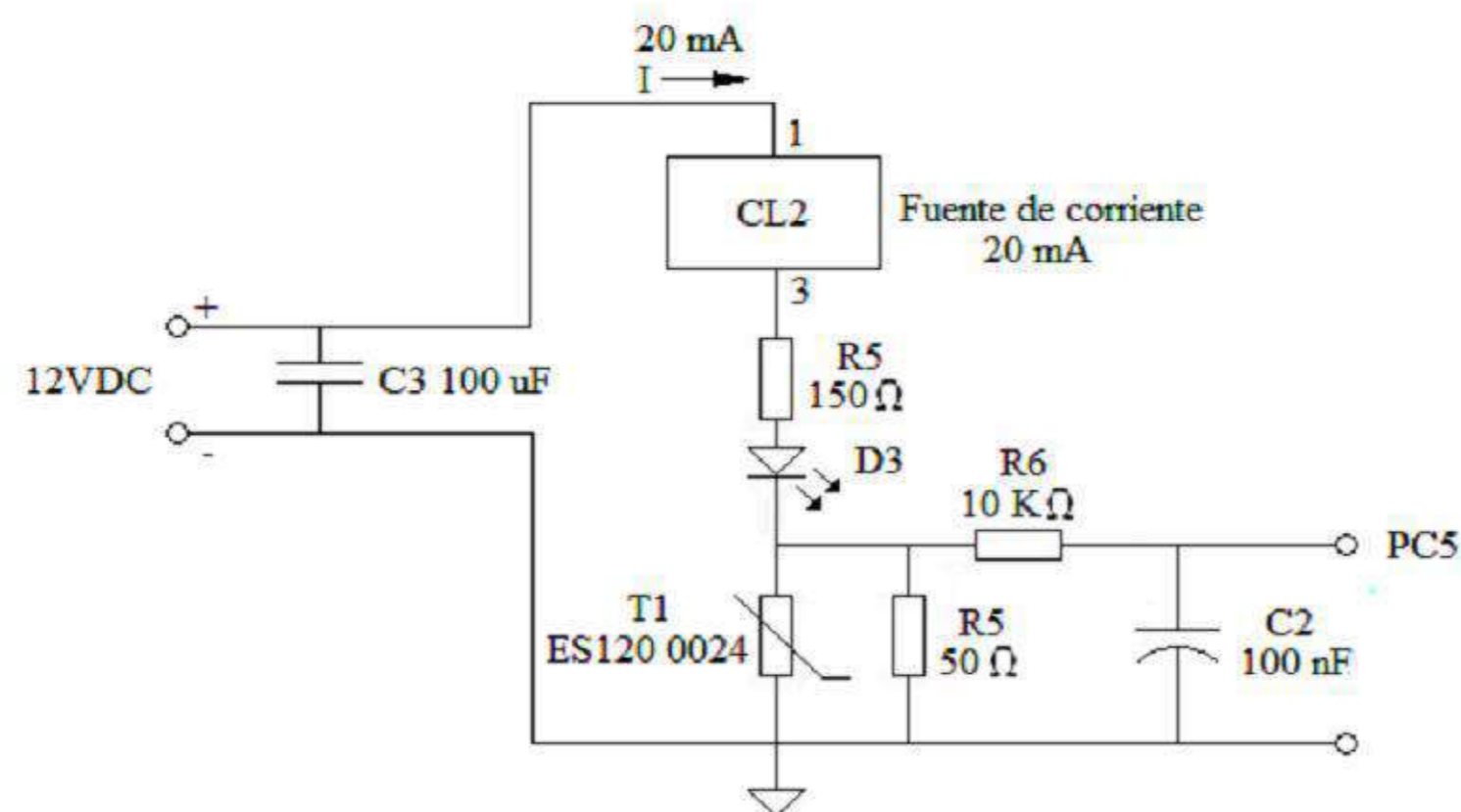
COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

# ACONDICIONADOR DE SEÑAL DE TERMISTORES T1 y T2



**Nota:**

- 1) El transformador es de bobina secundaria dual tomar en cuenta la posición de los pines de conexión.
- 2) Es posible encontrar fusibles con estas caracterpisticas en el fabricante Littelfuse
- 3) Mayor información en la hoja de datos de los fabricantes mostrados al final del informe



**Nota:**

- 1) El termistor T1 trabaja en el rango de  $-50$  a  $150 \text{ C}^\circ$  variando linealmente entre  $1$  y  $5 \text{ KOhmios}$ , en el circuito equivale al rango de  $0.95$  a  $4.76 \text{ V}$  el cual ingresa al microcontrolador ATmega 88P por los puetos PC5.
- 2) El circuito para el termistor T2 es equivalente e ingresa por el pin PC6 al microcontrolador
- 3) El CI CL2 posee un transnsitor y un diodo puente para protección contra corrientes inversas
- 4) Mayor información en la hoja de datos del fabricante mostrado al final del informe

# ACONDICIONADOR DE CORRIENTE DE 220VAC a 24VDC Y 220VAC a 5 VDC

24	2	Condensador 100nF C2			
23	2	Resistencia 10K R6			
22	2	Resistencia 50 R5			
21	2	Termistor ES120 0024 T1			
20	2	Diodo emisor de luz D3			
19	2	Resistencia 150 R5			
18	2	Fuente de corriente CL2			CI
17	2	Condensador 100uF C3			
16	1	Resistencia 300 R2			
15	1	Resistencia 100 R1			
14	2	Condensador C1 1uF			
13	2	Condensador 10uF Cadj			
12	2	Condensador 10 uF Cadj			
11	2	Diodo 1N4002 D2			
10	1	Resistencia 430 R2			
9	1	Resistencia 50 R1			
8	2	Diodo D1 1N4002			
7	2	Regulador de voltaje LM17			CI
6	2	Diodo D1 1N4002			
5	2	Condensador 0.1uF C0			
4	2	Puente de diodos KBP2005G			CI
3	2	Fusible F0			
2	1	Transformador DST 3-10			Compra
1	1	Transformador DST-3-24			Compra
POS.CANT		DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA-ESP. DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	Tesis para optar el grado de ingeniero mecatrónico	ESCALA
	<b>CIRCUITOS ELECTRÓNICOS</b>	
20111051	PÉREZ PEÑA, LEONIDAS ISRAEL	FECHA: 2019.04.11
		LÁMINA: TE1-A3

COTA NOMINAL	COTA MÁXIMA	COTA MÍNIMA
--------------	-------------	-------------

## Anexo G: Hojas de datos de fabricantes

G.1 Planchas LAF.....	G1
G.2 Planchas LAC.....	G3
G.3 Tubos LAC ASTM A500.....	G5
G.4 Ángulos estructurales ASTM A36.....	G7
G.5 Ángulos estructurales ASTM A36/A572 -G50.....	G9
G.6 Platinas ASTM A36.....	G11
G.7 Hoja de datos de aceros especiales.....	G13
G.8 Rodamiento rígido de bolas 6001-2Z.....	G20
G.9 Acople flexible FSMR25-10-8-SS.....	G22
G.10 Electrobomba PKm 60.....	G23
G.11 Motor a pasos PD60-3-1161.....	G27
G.12 Controladora de altura XPTHC-100.....	G51
G.13 Hojas de datos de microcontrolador ATmega88.....	G74
G.14 Hojas de datos de termistor ES120.....	G99
G.15 Sensor de fin de carrera GLLA01F.....	G103
G.16 Sensor de nivel de líquidos LRN.....	G120
G.17 Sensor de movimiento infrarrojo IRA-S213ST01.....	G124
G.18 Tornillo para el ensamble de componentes dentro del tablero eléctrico.....	G137
G.19 Prensaestopa G-INS-M16-S68N.....	G138

G.20 Hoja de datos de componentes eléctricos y electrónicos.....	G141
G.21 Hoja de datos de cortadora plasma Powermax125®.....	G200
G.22 Manual de uso de la cortadora plasma Powermax125®.....	G204
G.23 General Cable: cables para la automatización industrial.....	G353
G.24 Littlefuse: catálogo de productos 2018.....	G478
G.25 Llave de boca y cororna DIN3113 para el ensamble .....	G610
G.26 Cuchillas para fresado CNC de canales de cola de milano.....	G612
G.27 Manual de montaje mecánico de rodamientos.....	G618
G.28 Manual de montaje térmico de rodamientos.....	G627
G.29 Manual de desmontaje mecánico de rodamientos.....	G635
G.30 Manual de desmontaje hidráulico de rodamientos.....	G642

# Laminados en Frío

## PLANCHAS LAF / BOBINAS LAF

### DENOMINACIÓN:

PDLAF A 1008, BLAF A 1008.

### DESCRIPCIÓN:

Planchas y bobinas lisas de acero bajo en carbono, laminadas en frío, calidad comercial.

### USOS:

En partes expuestas donde se requiere un buen acabado superficial; como por ejemplo: muebles, tubos, paneles, carrocerías, artefactos electrodomésticos, etc.

### NORMAS TÉCNICAS:

ASTM A 1008/A 1008M Tipo B.

### PRESENTACIÓN:

- ACABADO: las planchas y bobinas laminadas en frío son aceitadas, con bordes de laminación.
- EMPAQUETADO PLANCHAS: se entregan en paquetes de 2 TM.
- BOBINAS: se entregan con peso mínimo de 5 TM aproximadamente.

### DIMENSIONES NOMINALES:

PLANCHAS LAMINADAS EN FRÍO (PD LAF A 1008 TB)(*)	BOBINAS LAMINADAS EN FRÍO (BLAF A 1008 TB)
0.30 x 905 x 2,400 mm	0.30 x 905 mm
0.40 x 905 x 2,400 mm	0.40 x 905 mm
0.50 x 1,200 x 2,400 mm	0.50 x 1,200 mm
0.55 x 1,200 x 2,400 mm	0.55 x 1,200 mm
0.60 x 1,200 x 2,400 mm	0.60 x 1,200 mm
0.70 x 1,200 x 2,400 mm	0.70 x 1,200 mm
0.75 x 1,200 x 2,400 mm	0.75 x 1,200 mm
0.80 x 1,200 x 2,400 mm	0.80 x 1,200 mm
0.85 x 1,200 x 2,400 mm	0.85 x 1,200 mm
0.90 x 1,200 x 2,400 mm	0.90 x 1,200 mm
1.00 x 1,200 x 2,400 mm	1.00 x 1,200 mm
1.15 x 1,200 x 2,400 mm	1.15 x 1,200 mm
1.20 x 1,200 x 2,400 mm	1.20 x 1,200 mm
1.45 x 1,200 x 2,400 mm	1.45 x 1,200 mm
1.50 x 1,200 x 2,400 mm	1.50 x 1,200 mm
1.90 x 1,200 x 2,400 mm	1.90 x 1,200 mm

(\*)Previa consulta y a pedido también se suministra en otras longitudes.

### ANÁLISIS QUÍMICO DE COLADA (%):

ASTM	%C	%MN MÁX.	% P MÁX.	%S MÁX.	% CU MÁX.
A 1008 TIPO B	0.02 - 0.15	0.60	0.030	0.035	0.20

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

NORMA	LÍMITE DE FLUENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ALARGAMIENTO EN 50 mm, (%)
ASTM A1008 TB	1,410-2,810 (*)	-----	0.030

(\*)Valores referenciales.

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Según JIS G3141 Clase A.

ESPESOR NOMINAL (mm)	TOLERANCIA DE ESPESOR (mm)		TOLERANCIA		CAMBER (máx)
	ANCHO (mm)		ANCHO (mm)	LONGITUD (mm)	
	905	1200			
0.30	± 0.04	± 0.04	+ 7 / - 0	+ 15 - 0  (Aplicable solamente para planchas)	2 mm en cualquier longitud de 2000 mm  (Aplicable solamente para planchas)
0.40 - 0.55	± 0.05	± 0.05			
0.60 - 0.75	± 0.06	± 0.06			
0.80 - 0.90	± 0.06	± 0.07			
1.0 - 1.2	± 0.07	± 0.08			
1.45 - 1.5	± 0.09	± 0.10			
1.9	± 0.11	± 0.12			

### TOLERANCIAS DE APLANADO:

ANCHO NOMINAL A (mm)	DIMENSIONES EN (mm)		
	CURVADO	ONDULADO EN EL BORDE	ONDULADO EN EL CENTRO
a < 1000	12.0	8.0	6.0
1000 ≤ a ≤ 1250	15.0	9.0	8.0

QCQA01-F203 / 02 / MAY 16



ISO 9001:2015

CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015

CERTIFICATE N° 57220



OHSAS 18001:2007

CERTIFICATE N° 57221

**Lima:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

**Pisco:** Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

**Arequipa:** Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

**LA PAZ:** Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.

**Santa Cruz:** Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)

**ACEROS  
AREQUIPA**

# Laminados en Caliente

## BOBINAS LAC / PLANCHAS LAC

### DENOMINACIÓN:

BLAC A36, PDLAC A36.

### DESCRIPCIÓN:

Bobinas y Planchas de acero laminadas en caliente con bordes de laminación.

### USOS:

Se usa en la fabricación de tubos y perfiles plegados. Asimismo, luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

### NORMAS TÉCNICAS:

DESIGNACIÓN	NORMAS TÉCNICAS
Estructural	ASTM A36

### DIMENSIONES NOMINALES:

BOBINAS LAMINADAS EN CALIENTE BLAC A36
1.5 x 1200 mm
1.8 x 1200 mm
1.9 x 1200 mm
2.0 x 1200 mm
2.2 x 1200 mm

PLANCHAS DELGADAS LAMINADAS EN CALIENTE PDLAC A36
1.5 x 1200 x 2400 mm
1.8 x 1200 x 2400 mm
1.9 x 1200 x 2400 mm
2.0 x 1200 x 2400 mm
2.2 x 1200 x 2400 mm
2.3 x 1200 x 2400 mm
2.5 x 1200 x 2400 mm
2.9 x 1200 x 2400 mm
4.0 x 1200 x 2400 mm
4.5 x 1200 x 2400 mm
5.9 x 1200 x 2400 mm

### ANÁLISIS QUÍMICO DE COLADA (%):

CALIDAD ASTM	%C	%Mn MÁX.	% P MÁX.	%S MÁX.	% Si MÁX.
A36	0.25 máx	0.8 - 1.20 (e < 3/4")	0.040	0.050	0.40

### PROPIEDADES MECÁNICAS:

CALIDAD	NORMA ASTM	LÍMITE DE FLUENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	ALARGAMIENTO (%) en 50 mm	DOBLADO
Estructural	A36	2,550	4,080-5,610	20 mín.	a 180° (opcional) Diámetro Pin = 3e Sentido Laminación

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Según JIS G3193

ESPESOR NOMINAL e (mm)	TOLERANCIAS (MM)						
	CAMBER	APLANADO	ANCHO		LONGITUD	ESPESOR	
			≤1200	1500		ANCHO 1200	ANCHO 1500
1.8 - 1.9	10 mm/m máx	18 máx	+30 -0	+35 -0	+25 -0	± 0.19	± 0.23
2.0 - 2.4		18 máx				± 0.20	± 0.25
2.5 - 3.0		18 máx				± 0.22	± 0.29
4.0 - 5.9		14 máx				± 0.45	± 0.55

QCQA01-F202 / 02 / ABR 16 - QCQA01-F201 / 03 / MAY 16



ISO 9001:2015

CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015

CERTIFICATE N° 57220



OHSAS 18001:2007

CERTIFICATE N° 57221

**Lima:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

**Pisco:** Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

**Arequipa:** Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

**LA PAZ:** Av. Hilbo N° 100. Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.

**Santa Cruz:** Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06, Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)

**ACEROS  
AREQUIPA**

# Tubo LAC ASTM A500

## PARA ESTRUCTURAS

### DENOMINACIÓN:

TNM RED ND A500, TNM RED OD A500, TGM RED ND A500.  
TGM RED OD A500, TNM CUA A500, TNM REC A500, TGM CUA A500,  
TGM REC A500.

### DESCRIPCIÓN:

Tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

### USOS:

Diversas estructuras livianas y pesadas, carrocerías, tijerales, postes, etc.

### NORMAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN:

Las dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 – A y B.

### PRESENTACIÓN:

- Longitud : - Redondos: 6.40 m y 6 m.  
- Cuadrados y rectangulares: 6 m.  
- Otras longitudes a pedido.
- Acabado de extremos: Refrentado (plano), limpios de rebordes.
- Recubrimiento : - Negro.  
- Galvanizado.  
(mínimo de 120 gr/m<sup>2</sup>).

### DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m:

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPEORES (mm)								
		1.5	1.8	2	2.5	3	4	4.5	6	
REDONDO NOMINAL	1/2"	21,3	0,866	0,952	1,159					
	3/4"	26,7	1,105	1,218	1,492					
	1"	33,4	1,403	1,549	1,905	2,249				
	1 1/4"	42,2	1,793	1,983	2,448	2,900				
	1 1/2"	48,3	2,064	2,284	2,824	3,351				
	2"	60,3	2,597	2,876	3,564	4,239				
	2 1/2"	73,0		3,502	4,347	5,179				
	3"	88,9		4,285	5,327	6,355				
	4"	114,3		5,539	6,892	8,234				
	CUAD L.E.	- 25x25	1,061	1,460						
- 30x30		1,300	1,700							
- 40x40		1,770	2,244			3,320				
- 50x50		2,250	3,122	3,872	4,316					
2"		50,8		3,122	3,872	4,316				
- 75x75				4,500	5,560	6,810				
- 100x100				6,165	7,675	9,174	12,133	13,594	16,980	

■ Negro y Galvanizado

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPEORES (mm)								
		1.5	1.8	2	2.5	3	4	4.5	6	
RECT L.E.	- 20x40	1,354		1,700						
	- 25x50	1,650		2,261						
	- 40x60	2,260		3,033	3,600	4,250				
	- 40x80	2,710		3,660	4,390	5,190				
	- 50x75					5,423				
	- 50x100			4,500	5,560	6,600	8,590			
	- 50x150			6,165	7,676	9,174	11,730			

■ Negro y Galvanizado

### PROPIEDADES MECÁNICAS (ASTM A500/A500M GRADOS A y B)

SECCIÓN	GRADO	LÍMITE DE FLUENCIA (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
REDONDO	A	230	310
CUADRADO Y	A	270	310
RECTANGULAR	B	315	400

### MATERIA PRIMA:

Acero laminado en caliente calidad estructural.

### TOLERANCIAS DIMENSIONALES

(Referidas a los valores nominales):

Espesor : + / - 10%

Longitud : +12.7 / -6.4 mm

### Sección:

#### 1.- Redondo:

DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	TOLERANCIA DIMENSIONAL + / - (pulg)
Menores 1 1/2" incl.	0.5 %
Mayores 2"	0.75 %

#### 2.- Cuadrados y Rectangulares:

LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg)	VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg)
Menores 1 1/2" incl.	0.020
2 1/2" a 3 1/2" incl.	0.025
3 1/2" a 4 incl.	0.030

#### 3.- Cuadrados y Rectangulares:

LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg)	VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg)
Menores a 63.5 incl.	0,51
63.5 a 88.9 incl.	0,64
88.9 a 139.7 incl.	0,76
Mayores a 139.7	0.01 veces el largo de la dimensión plana

QCQA01-F219 / 02 / MAY 16



ISO 9001:2015  
CERTIFICATE N° 57219



ISO 14001:2015  
CERTIFICATE N° 57220



OHSAS 18001:2007  
CERTIFICATE N° 57221

**Lima:** Av. Antonio Miró Quesada N° 425 Piso 17, Magdalena del Mar. Tel. (51-01) 517 1800.

**Pisco:** Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.

**Arequipa:** Variante de Uchumayo KM. 5.5, Cerro Colorado, Arequipa, Arequipa. Tel. (51-01) 517 1800.

**LA PAZ:** Av. Hilbo N° 100, Zona El Kenko. Tel. (591) 77641658.

**Santa Cruz:** Urb. Parque Industrial Latinoamericano, Unidad Industrial UI 06,

Mz. 1, Lote 4 - Warnes. Tel. (591) 76303499. E-mail: contactobolivia@caa.com.bo

Encuétranos en: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)

**ACEROS  
AREQUIPA**

AISI : 3215  
 DIN : 17 Cr Ni 6  
 W N°: 1.5919

Tipo de aleación promedio : C 0,17 Cr 1,5 Ni 1,6 Si 0,30 Mn 0,50 %  
 Color de identificación : Azul  
 Estado de suministro : Recocido 217 HB máx.

**Acero especial de cementación aleado al Cromo-Níquel. Adquiere excelente dureza superficial en el temple de cementación. Insuperable tenacidad en el núcleo.**

APLICACIONES: Partes de maquinaria y repuestos de grandes dimensiones, de los cuales se exige muy alta dureza superficial, tenacidad y resistencia extraordinaria en el núcleo, ideal para la fabricación de piñones, cigüeñales, ejes de cajas.

### INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

<b>Forjado:</b>	1150	-	850 °C
<b>Recocido:</b>	650	-	700 °C
Enfriamiento lento en el horno			
<b>Cementar:</b>	900	-	950 °C
<b>Enfriamiento:</b> en aceite o baño térmico de	160	-	260 °C
<b>Temple del Núcleo:</b>	830	-	870 °C
<b>Revenido:</b> mínimo 1 hora	150	-	200 °C
<b>Dureza obtenible en la capa cementada:</b>	59	-	63 HRC

23

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

En el núcleo de la pieza cementada						Dureza en la superficie HRC
Diám. mín.	Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento (L=5d) mín. %	Contracción % mín.	Resiliencia según DVM Joule (val. de guía)	
10	700	1000 - 1300	8	35	-	59
30	650	900 - 1200	9	40	69	a
68	550	800 - 1100	10	40	-	63

**Soldadura:** Este acero es relativamente soldable. En este caso se debe precalentar a una temperatura de 180-250°C y después de soldar someterlo a un tratamiento térmico de alivio de tensiones. Electrodo recomendable BÖHLER UTP 76/ 6020. **Se debe retirar capa cementada si se requiere soldar.**

Soldadura: Consultar con Departamento Técnico.

20

AISI : 431      W N°: 1.4057  
 DIN : X22 Cr Ni 17

Tipo de aleación promedio : C 0,19 Cr 15,9 Ni 1,6 Mn 0,40 Si 0,25 %  
 Color de identificación : Negro - Naranja - Verde  
 Estado de suministro : Bonificado, decapado o pulido 220 - 280 HB

**Acero especial, inoxidable martensítico de alto contenido de cromo con aleación de níquel. Para elementos de construcción, con resistencia a la corrosión de agua, soluciones alcalinas y ácidos con fuerte efecto oxidante (ácido nítrico).**

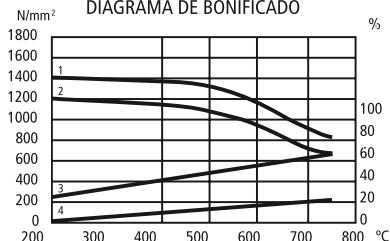
**APLICACIONES:** Para partes y repuestos de maquinaria naval. Elementos expuestos al agua dulce y vapor tales como bielas, válvulas, instrumentos navales, etc. Además es recomendable para elementos de maquinaria de la industria alimenticia y de papel, sometidas a grandes esfuerzos dinámicos.

**ESTADO DE EMPLEO:** Bonificado, con la superficie necesaria rectificada fina, o preferiblemente pulida espejo.

## INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

<b>Forjado:</b>	1100	-	800 °C
<b>Recocido:</b>	650	-	750 °C
Resistencia a la tracción en estado recocido:	750	-	900 N/mm <sup>2</sup>
	219	-	263 HB
<b>Templado:</b> Al aceite	980	-	1030 °C
<b>Dureza obtenible:</b>	45	-	47 HRC
<b>Revenido:</b>	620	-	720 °C

DIAGRAMA DE BONIFICADO



**Soldadura:** En este caso se debe precalentar a una temperatura de 250-450°C según el espesor del material.

**Electrodos:** Según DIN 8556: E43015 o UTP 6820 MOLC E 308-15, BÖHLER UTP 6635. Un recocido posterior a la temp. de 600-700°C disminuye la dureza en la zona circundante y aumenta la tenacidad.

- |                              |                |
|------------------------------|----------------|
| 1. Resistencia a la tracción | 3. Contracción |
| 2. Límite de fluencia        | 4. Elongación  |

### PROPIEDADES MECÁNICAS

Dureza Brinell Bonificado HB	Límite de fluencia mín. N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento (L = 5d) mín. %	Contracción mín. %	Resistencia al impacto ISO-V J min long.	Límite de fluencia ensayada en probeta caliente mín. N/mm <sup>2</sup>			
						100°	200°	300°	400°
260	600	800 - 950	14	45	25	510	461	441	412

Soldadura: Consultar con Departamento Técnico.

Antitherm FFB

AISI : 314      W N°: 1.4841

DIN : X 15 Cr Ni Si 25.20

Tipo de aleación promedio : C 0,08 Si 1,70 Mn 1,20 Cr 24,8 Ni 19,8 %  
 Color de identificación : Rojo - Negro.  
 Estado de suministro : Apagado 223 HB máx.

Acero especial antitérmico aleado al cromo-níquel, de estructura austenítica, con muy alta resistencia al calor hasta 1150°C en aire.

Muy buena resistencia en atmósferas oxidantes, gases nitrosos, así como en gases pobres de oxígeno. En gases sulfurosos y reductores hasta temperaturas máx de 650°C. Muy apropiado para trabajar con sales de cianuro o cobre fundido. Insensible a la cementación.

**APLICACIONES:** Para toda clase de elementos que trabajen a una temperatura de más de 900 °C como caja, olas, crisoles y dispositivos en plantas de tratamientos térmicos. En la construcción de hornos y calderos como por ejemplo parrillas, armaduras, pernos, niples y quemadores. También en la industria de vidrios, porcelana, cementos, ladrillos y petroquímica.

Estado de empleo: Apagado.

### INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

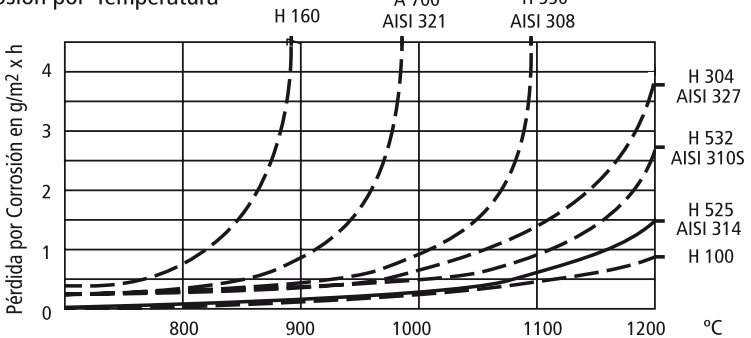
**Forjado:** 1150 - 750 °C      Enfriamiento al aire

**Apagar:** Al agua dimensiones menores al aire      1050 - 1100 °C

**Soldadura:** BÖHLER ANTITHERM FFB es fácilmente soldable. Se recomienda la soldadura eléctrica, para planchas muy delgadas, preferiblemente con varillas TIG.

Los electrodos recomendables son: BÖHLER UTP 68 H/TIG:A 68H

Corrosión por Temperatura



### VALORES FÍSICOS

Peso específico Kg/dm <sup>3</sup>	Módulo de elasticidad a 20 °C Kg/mm.	Resistencia eléctrica a 20 °C Ohm. Mm <sup>2</sup> /m	Conductividad térmica a 20 °C cal/cm s. °C	Calor específico a 20 °C cal/g °C	Dilatación térmica*10 m/m °C entre 20 °C y				Susceptibilidad de ser magnetizado
					400°	800°	1000°	1200°	
7.9	20.000	0.95	0.031	0.12	17.0	18.0	19.0	19.5	ninguna

Soldadura: Consultar con Departamento Técnico.

AISI : 1045      W N°: 1.1191  
 DIN : CK 45

Tipo de aleación promedio : C 0,45 Si 0,3 Mn 0,7 %  
 Color de identificación : Rojo - Blanco - Rojo  
 Estado de suministro : Dureza natural 193 HB máx.

### ACERO FINO AL CARBONO DE ALTA CALIDAD

Gran pureza de fabricación y estricto control de calidad.

**APLICACIONES:** Partes de maquinaria y repuestos sometidos a esfuerzos normales. Árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, etc. También para herramientas de mano, portamatrices, etc.

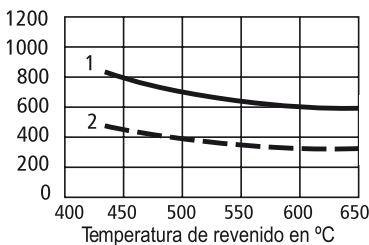
### INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

<b>Forjar:</b>	1100	-	850 °C
<b>Normalizar:</b>	840	-	870 °C
<b>Recocer:</b>	650	-	700 °C
Enfriamiento lento en el horno			
<b>Temple: al agua (*)</b>	820	-	850 °C
<b>Dimensiones menores: al aceite</b>	830	-	860 °C
<b>Revenido: Según el uso</b>	100	-	300 °C
<b>Nitrurado: en baño de sal</b>			580 °C

**SOLDADURA:** Con soldadura especial de alta resistencia.

Según tamaño y complejidad del trabajo, se recomienda un precalentamiento entre 200-300°C. Electrodo BÖHLER UTP 76/ UTP 6020

N/mm<sup>2</sup>



1.- Resistencia a la tracción  
 2.- Límite de Fluencia

Estado	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS				
	Diámetro mm.	Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento (Lo = 5d) mín. %	Contracción mín. %
Natural	-	370	650	15	35
Recocido	16 - 100	340	650 - 750	17	35
	100 - 250	330	580 - 700	18	-

(\*) Soldadura y Tratamiento Térmico: Consultar con Departamento Técnico.

# TRANSMISIÓN

AISI : ~ 1018  
DIN : CK-15  
W N°: 1.1141

Tipo de aleación promedio : C 0,17 Si 0,25 Mn 0,70 %  
Color de identificación : Blanco  
Estado de suministro : Trefilado h11  
Largo estándar : Entre 5.8 y 6.10 metros

**Acero de cementación no aleado para piezas pequeñas, exigidas principalmente al desgaste y donde la dureza del núcleo no sea importante. Buena soldabilidad.**

**APLICACIONES:** Levas, uniones, bujes, pines, pivotes, partes prensadas o troqueladas, pernos grado 1, ejes de transmisión con baja exigencia al torque.

## INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

**Forjar:** 1150 - 850 °C  
**Normalizar:** 890 - 920 °C  
**Recocer:** 650 - 700 °C  
Enfriamiento lento en el horno  
**Cementar:** 880 - 950 °C  
**Templar después de cementar; al agua:(\*):** 770 - 800 °C  
**Dureza obtenible en la capa cementada:(\*)** 58 - 60 HRC  
**Revenir:** 150 - 200 °C  
**Soldadura:** Pre calentamiento entre 120-180°C

Acero fácilmente soldable con electrodos

BÖHLER UTP 6020, BÖHLER UTP 76, BÖHLER E 7018

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO RECOCIDO				
DUREZA BRINELL HB	LÍMITE DE FLUENCIA N/mm <sup>2</sup>	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN N/mm <sup>2</sup>	ELONGACIÓN L = 5d % LONG. TRANSV.	RESIST. AL IMPACTO DVM JOULE LONG. TANG. TRANSV.
143 máx.	235	410 - 520	20 - 19	48 - 31 - 24

(\*) Soldadura y Tratamiento Térmico: Consultar con Departamento Técnico.

AISI : 4140  
 DIN : 42 Cr Mo 4  
 W N°: 1.7223/25

Tipo de aleación promedio : C 0,41 Cr 1,1 Mo 0,2 Si 0,2 Mn 0,7 %  
 Color de identificación : Verde - Blanco  
 Estado de suministro : Bonificado 250 - 350 HB Típico. Ver tabla inf.  
 Largo estándar : 3,5 - 6 metros.

**Acero especial de bonificación con aleación de cromo molibdeno.**

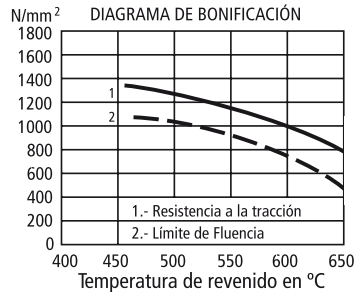
**Muy resistente a la tracción y a la torsión, como también a cambios de flexión. Se suministra en estado bonificado, lo que permite, en la mayoría de los casos, su aplicación sin necesidad de tratamiento térmico adicional.**

**APLICACIONES:** Partes de maquinaria y repuestos de dimensiones medianas, con grandes exigencias en las propiedades arriba mencionadas y también ciertos elementos para la construcción de motores, engranajes, pernos, tuercas, pines, émbolos, árboles de transmisión, ejes de bombas, cañones de armas para la cacería.

27

## INDICACIONES PARA EL TRATAMIENTO TÉRMICO

**Forjado:** 1050 - 850 °C  
**Normalizado:** 840 - 880 °C  
**Recocido:** 690 - 720 °C  
 Enfriamiento lento en el horno  
**Temple:** al aceite 830 - 860 °C  
           al agua 820 - 850 °C  
**Dureza obtenible:** 52 - 56 HRC  
**Revenid :** 540 - 680 °C  
**Nitrurar:** 580 °C



Resistencia en estado Recocido		CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN ESTADO BONIFICADO						
máx. N/mm <sup>2</sup>	Dureza Brinell máx.	Diámetro mm.		Límite de fluencia N/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción N/mm <sup>2</sup>	Elongación (Lo = 5d) % mín.	Estricción % mín.	Resiliencia según DVM Joule
		desde	hasta					
770	241		16	835	1030 - 1250	10	40	34
		16	40	715	930 - 1130	11	45	41
		40	100	595	830 - 1030	12	50	41
		100	160	530	730 - 900	13	55	41
		160	250	490	690 - 840	14	55	41

Soldadura: Consultar con nuestro Departamento Técnico

**ECL**

AISI : 8620 / 5115  
 DIN : 21NiCrMo2 / 16MnCr5  
 W N° : 1.6523 / 1.7131

Tipo de aleación : C – Cr – Ni – Mo – Mn- Cu  
 Color de identificación : Azul - Blanco  
 Estado de suministro : Recocido: 207 Brinell

**Aceros de grano fino para cementación de baja aleación. Alta resistencia al desgaste de la capa cementada y buena tenacidad en el núcleo.**

**APLICACIONES:** Piezas pequeñas altamente exigidas en la industria metal mecánica y automotriz. Ejemplo: Engranajes de caja o diferencial, coronas, piñones terminales de dirección, sectores dentados, crucetas, pines de pistón, ejes, etc.

#### INSTRUCCIONES PARA EL TRATAMIENTO:

Forjado: 1150 - 850 °C  
 Recocido: 650 - 700 °C  
 Normalizado: 850 - 880 °C  
 Cementar: 900 - 950 °C  
 Temple del núcleo: 840 - 870 °C  
 Temple de la capa cementada: 800 - 830 °C  
 Revenido (mínimo 1 hora): 150 - 210 °C  
 Dureza obtenible en la capa: 58 - 60 HRC

#### PROPIEDADES MECÁNICAS:

Límite de fluencia: 600 – 680 N/mm<sup>2</sup>  
 Resistencia a la tracción: 1150 N/mm<sup>2</sup>  
 Elongación: 10 - 11 %

#### SOLDADURA:

Electrodo BÖHLER UTP 6020. Antes de soldar se debe precalentar la pieza a 200 – 350 °C, luego distensionar.

**La capa cementada no es soldable.**

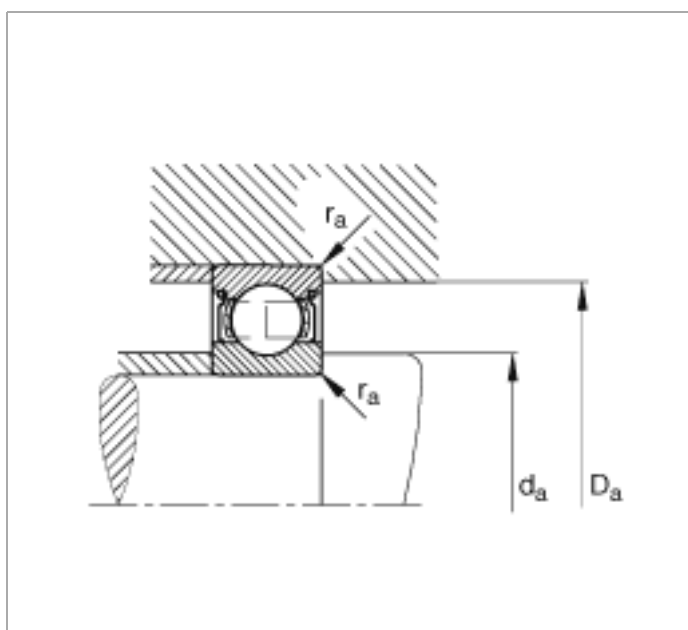
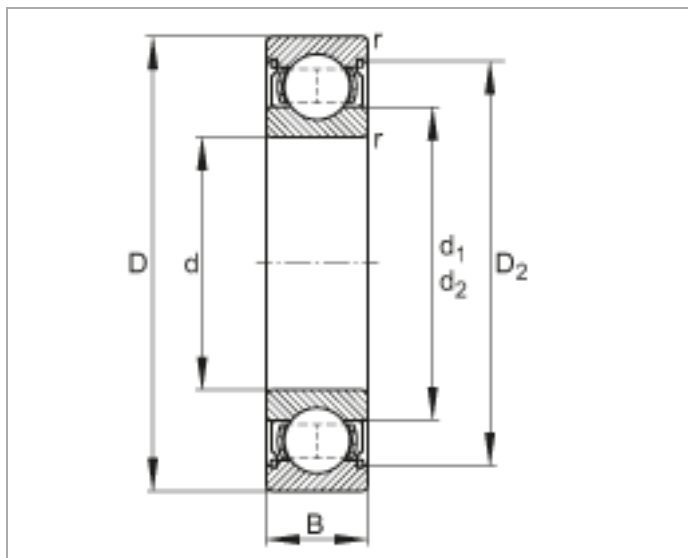
/medias/es!hp.ec.br.pr//medias/es!hp.pv/179.6.217.13860..-2ZRillenkugellager

## Rodamiento rígido a bolas 6001-2Z (Serie 60..-2Z)

medidas principales según DIN 625-1, obturación por paso estrecho en ambos lados

Esta hoja de datos sólo es una vista general de medidas y capacidades de carga del producto seleccionado. Tenga en cuenta, sin falta, todas las indicaciones de estas páginas. Para muchos productos encontrará más información bajo el apartado "Descripción" del menú. Además puede solicitar amplio material de información a través de la Solicitud de catálogos ([https://www.schaeffler.de/content.schaeffler.de/en/news\\_media/index.jsp](https://www.schaeffler.de/content.schaeffler.de/en/news_media/index.jsp)) o por teléfono +49 91 32 82 - 28 97.

d	12 mm
D	28 mm
B	8 mm
d <sub>1</sub>	16,7 mm
D <sub>2</sub>	24,5 mm
D <sub>a</sub> max	26 mm
d <sub>a</sub> min	14 mm
r <sub>a</sub> max	0,3 mm
r <sub>min</sub>	0,3 mm
m	0,02 kg Peso
C <sub>r</sub>	5400 N Capacidad de carga dinámica, radial
C <sub>0r</sub>	2370 N Capacidad de carga estática, radial
C <sub>ur</sub>	120 N Carga límite de fatiga, radial
n <sub>G</sub>	32500 1/min Velocidad límite
n <sub>ø</sub> r	24200 1/min Velocidad de referencia



## FSMR25-10-8-SS - Acoplamiento Flexible



Clave de producto:	FSMR25-10-8-SS
Tipo de producto:	Acoplamiento Flexible
Tipo:	Tornillo de Fijación
Material:	Acero Inoxidable 303 (DIN 1.4305)
Acabado:	Brillante
País de origen:	Estados Unidos

### Medidas

Agujero B1:	10 mm
Agujero B2:	8 mm
Diámetro externo OD:	25,4 mm
Longitud L:	38,1 mm
Penetración del eje:	17,87 mm

### Tornillos

Tornillo prisionero:	M5
Material del tornillo:	Acero aleado
Acabado de los tornillos:	Óxido negro
Torque de apretamiento:	4 Nm
Llave Allen:	2,5 mm



Seleccione un formato de archivo CAD →

[Descargar archivo CAD](#)

[Mostrar Diseño CAD en PDF](#)

### Transmisión de Par

Par estático:	5,66 Nm
Par dinámico (sin inversión):	2,83 Nm
Par dinámico (movimiento inversible):	1,42 Nm

### Misalignment

Desalineamiento angular:	3°
Desalineamiento lateral:	0,38 mm
Movimiento axial:	0,25 mm

### Información adicional

Rigidez torsional:	0,41 Deg/Nm
Momento de inercia:	11,293 x10 <sup>-6</sup> kg-m <sup>2</sup>
Velocidad máxima:	6.000 RPM
Tolerancia del agujero:	+0,025mm / -0,000mm
Rango de temperatura:	-40°F to 350°F
	-40°C to 176°C
Peso:	0,484 lbs / 0,220 kg
RoHS2:	<a href="#">Compatible</a>
REACH:	<a href="#">Compatible</a>

## Electrobombas con rodete periférico

 Agua limpia

 Utilizo doméstico


### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **90 l/min** (5.4 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **100 m**

### LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **8 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+60 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C** (**+50 °C** para PK 60)
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
  - **6 bar** para PK 60, PK 60-MD, PK 65, PK 70, PK 80
  - **10 bar** para PK 90, PK 100, PK 200, PK 300
- Funcionamiento continuo **S1**

### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD

### UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad, simplicidad en el uso y por su ventaja económica, son aptas para el uso doméstico y en particular para la distribución del agua acopladas a pequeños tanques de presión, para irrigación de huertos y jardines.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Soporte: patente n° IT1243605
- Eje motor: patente n° 0000275945 (PK60, PK65)
- Cuerpo: patente n° 0000275946 (PK60, PK65)
- Modelo comunitario registrado n° 004673192
- **PKm 60** Marca registrada n° 009875394

### EJECUCION BAJO PEDIDO

- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para PK 70-80-90-100-200-300

### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

**Hardware Version V1.0**

# HARDWARE MANUAL

+



+

+

## PD-1161

Stepper Motor with  
Controller/Driver  
0.55... 3.1Nm / 24V DC  
sens0step™ Encoder  
USB, RS485, and RS232

+

### UNIQUE FEATURES:



## stallGuard<sup>2</sup>

TRINAMIC Motion Control GmbH & Co. KG  
Hamburg, Germany

[www.trinamic.com](http://www.trinamic.com)



### 3.1.2 PD60-1161 Dimensions

Currently, there is a choice between four NEMA 24/60mm bipolar stepper motors with different lengths and different holding torques.

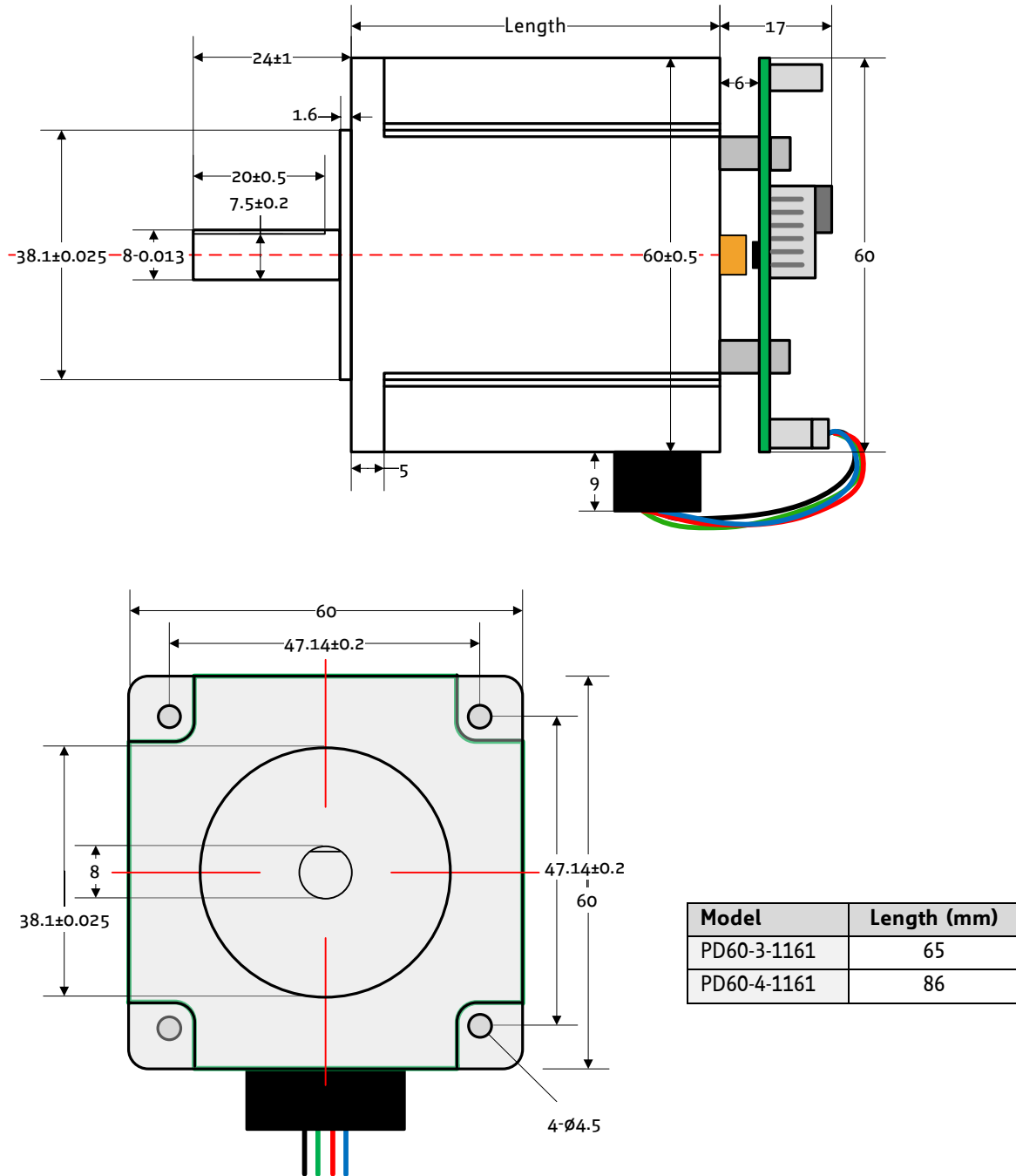


Figure 3.2 Dimensions of PD60-1161

### 3.2 Connectors of PD-1161

The controller/driver board for the PD-1161 offers four connectors including the motor connector which is used for attaching the motor coils to the electronics. There are two connectors for serial communication (one for USB and one for RS232/RS485) and one connector for I/O signals and switches.

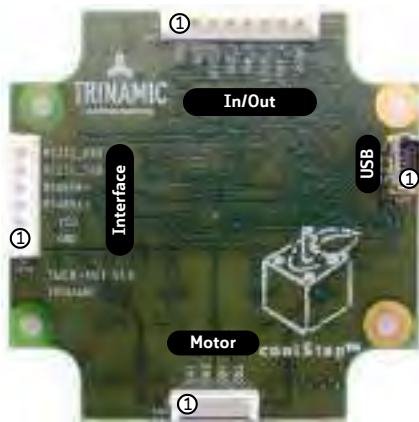


Figure 3.3 Overview connectors

Domain	Connector type	Mating connector type
Interface / Power	JST B6B-EH-A, 2.5mm pitch connector header, vertical	JST EHR-6, female crimp connector housing; crimp contacts JST SEH-001T-P0.6
Motor	JST B4B-EH-A, 2.5mm pitch connector header, vertical	JST EHR-4, female crimp connector housing; crimp contacts JST SEH-001T-P0.6
In/Out	JST B8B-EH-A, 2.5mm pitch connector header, vertical	JST EHR-8, female crimp connector housing; crimp contacts JST SEH-001T-P0.6
USB	Mini-USB type B vertical female	Mini-USB type B, male

## 6 Operational Ratings

The operational ratings shown below should be used as design values. In no case should the maximum values been exceeded during operation.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Power supply voltage for operation	10	24	30	V DC
V <sub>USB</sub>	Power supply via USB connector		5		V
I <sub>USB</sub>	Current withdrawn from USB supply when USB bus powered (no other supply connected)		40		mA
I <sub>COIL_peak</sub>	Motor coil current for sine wave <b>peak</b> (chopper regulated, adjustable via software)	0		4	A
I <sub>COIL_RMS</sub>	Continuous motor current ( <b>RMS</b> )	0		2.8	A
I <sub>SUPPLY</sub>	Power supply current		<< I <sub>COIL</sub>	1.4 * I <sub>COIL</sub>	A
T <sub>ENV</sub>	Environment temperature at rated current (no forced cooling required)	-35 <sup>*)</sup>		+50	°C

**Table 6.1 General operational ratings of the module**

<sup>\*)</sup> limited by test equipment. Includes power-up / cold start at this temperature. It can be expected that the module will work down to -40°C.

**Note:**

The motor might heat up well above 50°C when running at full current without proper cooling. This might substantially increase the environmental temperature for the electronics.

When using the coolStep™ operation mode, the actual motor current might be substantially less than max. programmed current which will significantly reduce power dissipation and motor temperature.

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V <sub>STOP_L/R_HOME</sub>	Input voltage for stop / home switch inputs STOP_L / STOP_R and HOME (also valid when configured for alternate function)	0		28	V
V <sub>STOP_L/R_HOME_L</sub>	Low level voltage for stop / home switch inputs STOP_L / STOP_R and HOME (also valid when configured for alternate function)	0		1.1	V
V <sub>STOP_L/R_HOME_H</sub>	High level voltage for stop / home switch inputs STOP_L / STOP_R and HOME (also valid when configured for alternate function)	2.9		28	V
V <sub>OUT_0/1</sub>	Voltage at open collector output OUT_0 / OUT_1	0		V <sub>CC</sub>	V
I <sub>OUT_0/1</sub>	Output sink current for OUT_0 / OUT_1			100	mA
V <sub>IN_0</sub>	Full scale input voltage range for analog input IN_0	0		10	V

**Table 6.2 Operational ratings of general purpose I/Os**

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
N <sub>RS485</sub>	Number of nodes connected to single RS485 network			256	

**Table 6.4 Operational ratings of the RS485 interface**

## 7.2 Curves of PD60-1161

### 7.2.1 PD60-3-1161 Torque Curves

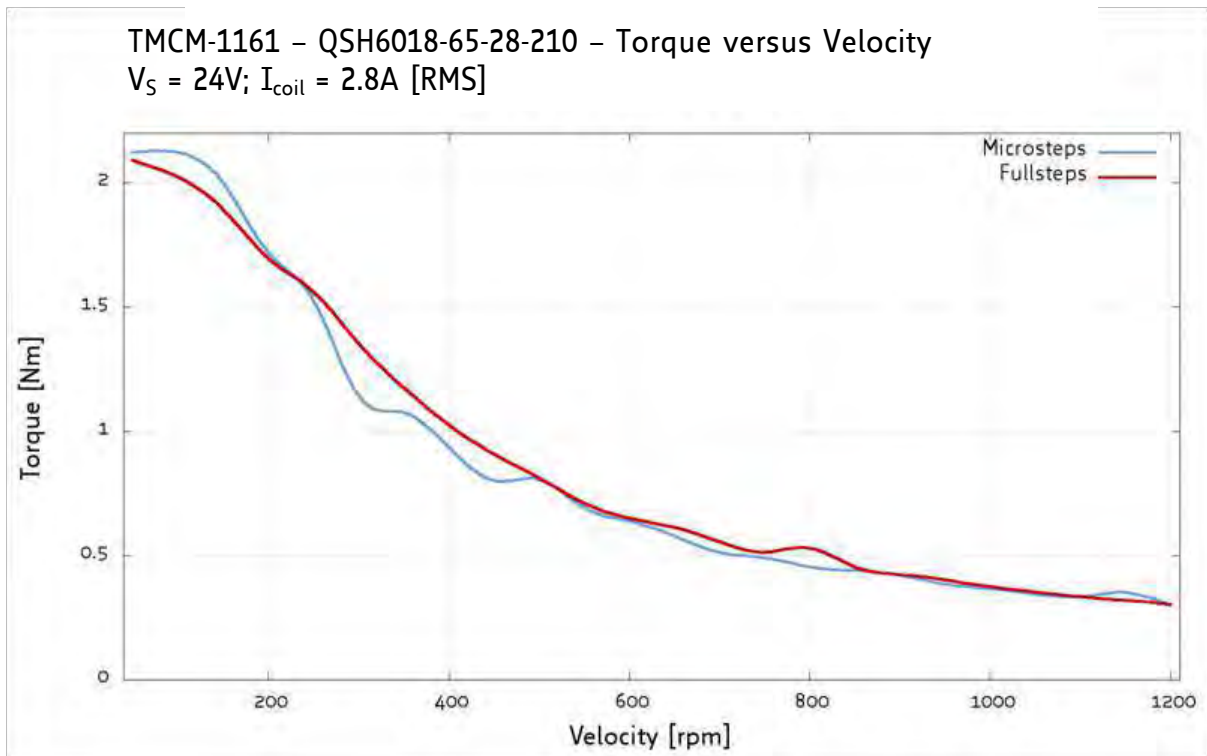


Figure 7.3: PD60-3-1161 torque vs. velocity 24V / 2.8A

### 7.2.2 PD60-4-1161 Torque Curves

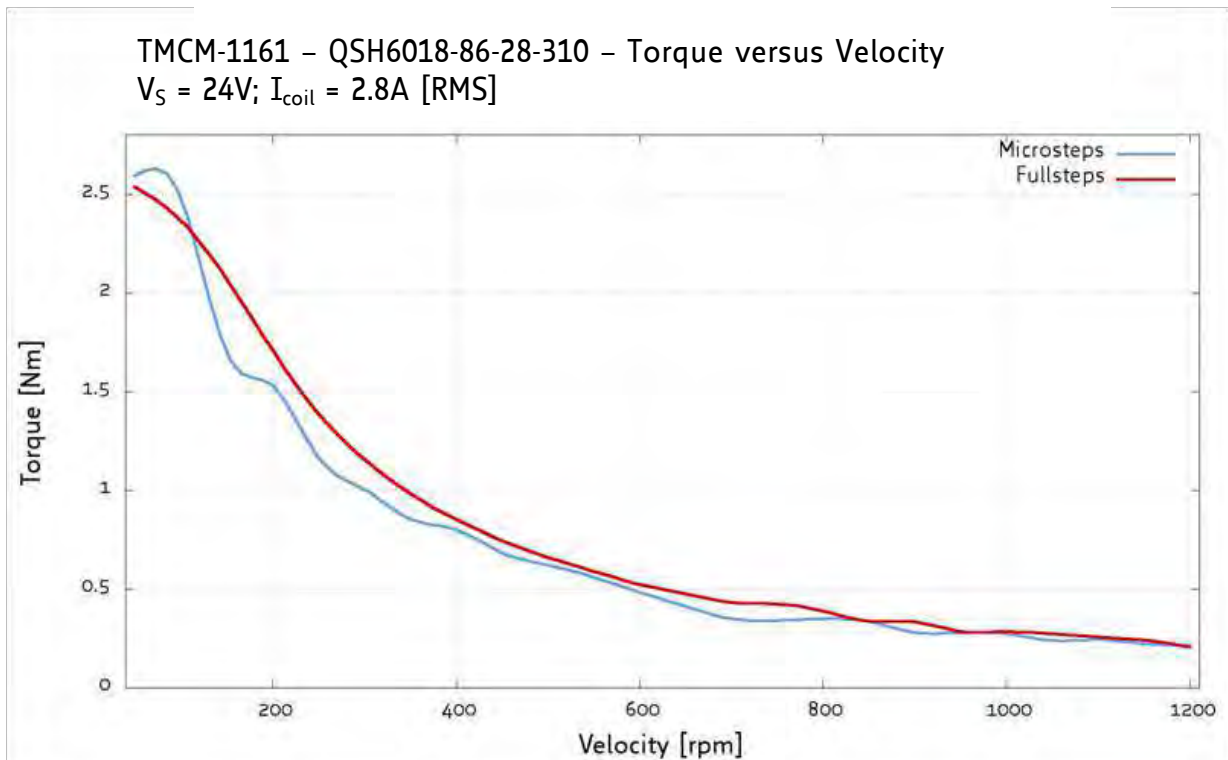


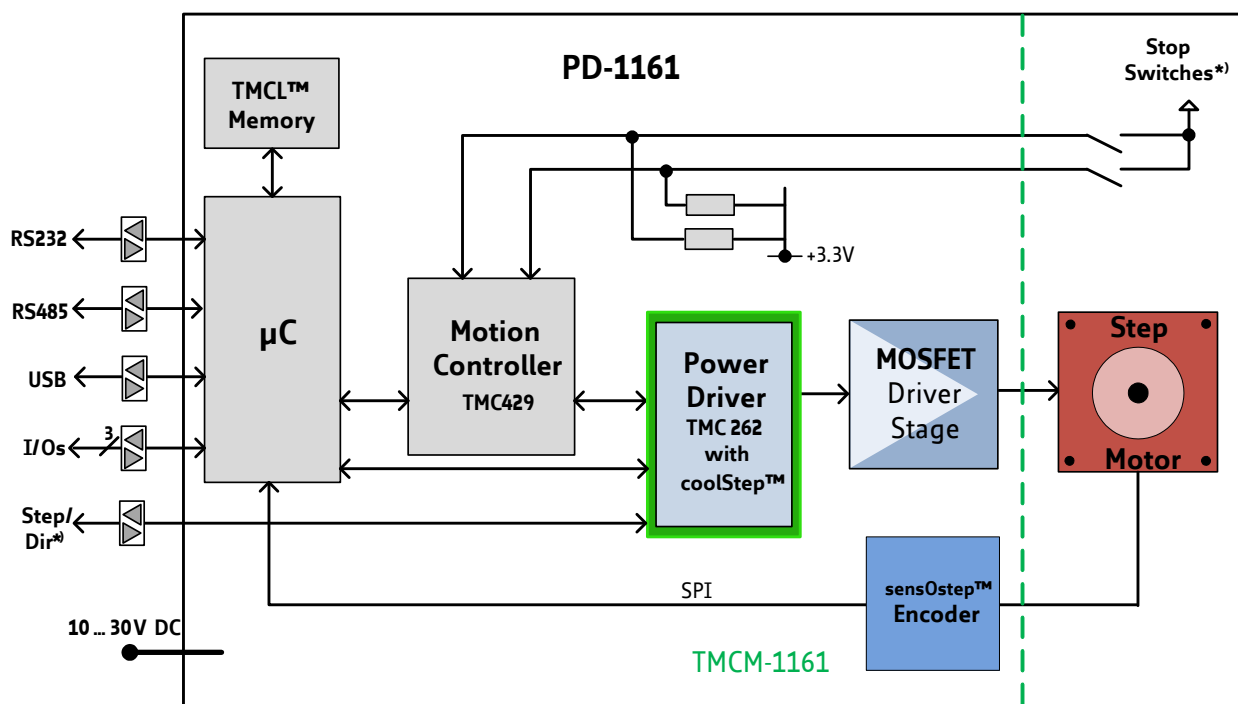
Figure 7.4: PD60-4-1161 torque vs. velocity 24V / 2.8A

## 8 Functional Description

The PD-1161 is a highly integrated mechatronic device which can be controlled via several serial interfaces. Communication traffic is kept low since all time critical operations, e.g. ramp calculations are performed on board. Nominal supply voltage of the unit is 24V DC. The PANdrive is designed for both: direct mode and standalone operation. Full remote control of device with feedback is possible. The firmware of the module can be updated via any of the serial interfaces.

In Figure 8.1 the main parts of the PD-1161 are shown:

- the microprocessor, which runs the TMCL operating system (connected to TMCL memory),
- the motion controller, which calculates ramps and speed profiles internally by hardware,
- the power driver with its energy efficient coolStep feature,
- the MOSFET driver stage,
- the QSH stepper motor, and
- the sensOstep encoder with resolutions of 10bit (1024 steps) per revolution.



\*) The module offers three additional inputs. Functionality can be chosen by software:

- a) STOP\_L / STOP\_R / HOME
- b) STEP/DIR interface
- c) 3 general purpose inputs

**Figure 8.1 Main parts of the PD-1161**

The PD-1161 comes with the PC based software development environment TMCL-IDE for the Trinamic Motion Control Language (TMCM). Using predefined TMCL high level commands like *move to position* a rapid and fast development of motion control applications is guaranteed. Please refer to the PD-1161 Firmware Manual for more information about TMCL commands.

## 9 PD-1161 Operational Description

### 9.1 Calculation: Velocity and Acceleration vs. Microstep and Fullstep Frequency

The values of the parameters sent to the TMC429 do not have typical motor values like rotations per second as velocity. But these values can be calculated from the TMC429 parameters as shown in this section.

#### PARAMETERS OF TMC429

Signal	Description	Range
$f_{CLK}$	clock-frequency	16 MHz
velocity	-	0... 2047
a_max	maximum acceleration	0... 2047
pulse_div	divider for the velocity. The higher the value is, the less is the maximum velocity default value = 0	0... 13
ramp_div	divider for the acceleration. The higher the value is, the less is the maximum acceleration default value = 0	0... 13
Usrs	microstep-resolution (microsteps per fullstep = $2^{Usrs}$ )	0... 8

**Table 9.1 TMC429 velocity parameters**

The **microstep-frequency** of the stepper motor is calculated with

$$usf[Hz] = \frac{f_{CLK}[Hz] \cdot velocity}{2^{pulse\_div} \cdot 2048 \cdot 32} \quad \text{with usf: microstep-frequency}$$

To calculate the **fullstep-frequency** from the microstep-frequency, the microstep-frequency must be divided by the number of microsteps per fullstep.

$$fsf[Hz] = \frac{usf[Hz]}{2^{Usrs}} \quad \text{with fsf: fullstep-frequency}$$

The change in the pulse rate per time unit (pulse frequency change per second – the **acceleration a**) is given by

$$a = \frac{f_{CLK}^2 \cdot a_{max}}{2^{pulse\_div+ramp\_div+29}}$$

This results in acceleration in fullsteps of:

$$af = \frac{a}{2^{Usrs}} \quad \text{with af: acceleration in fullsteps}$$

Example:

Signal	value
f <sub>CLK</sub>	16 MHz
velocity	1000
a <sub>max</sub>	1000
pulse_div	1
ramp_div	1
usrs	6

$$msf = \frac{16 \text{ MHz} \cdot 1000}{2^1 \cdot 2048 \cdot 32} = \underline{\underline{122070.31 \text{ Hz}}}$$

$$fsf [\text{Hz}] = \frac{122070.31}{2^6} = \underline{\underline{1907.34 \text{ Hz}}}$$

$$a = \frac{(16 \text{ MHz})^2 \cdot 1000}{2^{1+1+29}} = \underline{\underline{119.21 \frac{\text{MHz}}{\text{s}}}}$$

$$af = \frac{119.21 \frac{\text{MHz}}{\text{s}}}{2^6} = \underline{\underline{1.863 \frac{\text{MHz}}{\text{s}}}}$$

Calculation of the number of rotations:

A stepper motor has e.g. 72 fullsteps per rotation.

$$RPS = \frac{fsf}{\text{fullsteps per rotation}} = \frac{1907.34}{72} = 26.49$$

$$RPM = \frac{fsf \cdot 60}{\text{fullsteps per rotation}} = \frac{1907.34 \cdot 60}{72} = 1589.46$$

## 1.1 Disclaimer

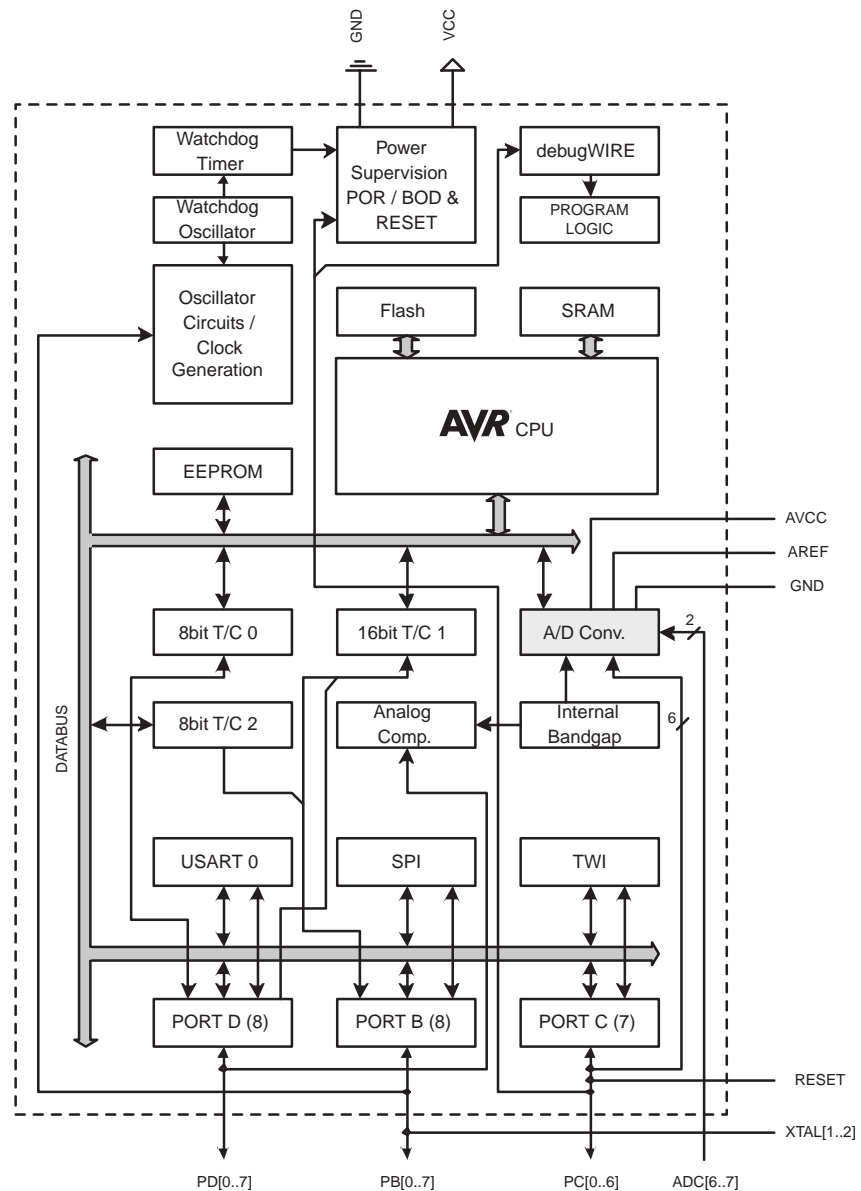
Typical values contained in this datasheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

## 2. Overview

The ATmega48/88/168 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48/88/168 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

### 2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



### 3. Register Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
(0xFF)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xFE)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xFD)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xFC)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xFB)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xFA)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF9)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF8)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF7)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF6)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF5)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF4)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF3)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF2)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF1)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xF0)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xEF)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xEE)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xED)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xEC)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xEB)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xEA)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE9)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE8)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE7)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE6)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE5)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE4)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE3)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE2)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE1)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xE0)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xDF)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xDE)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xDD)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xDC)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xDB)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xDA)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD9)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD8)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD7)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD6)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD5)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD4)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD3)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD2)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD1)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xD0)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xCF)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xCE)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xCD)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xCC)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xCB)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xCA)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xC9)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xC8)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xC7)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xC6)	UDR0	USART I/O Data Register								187
(0xC5)	UBRR0H	USART Baud Rate Register High								191
(0xC4)	UBRR0L	USART Baud Rate Register Low								191
(0xC3)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0xC2)	UCSR0C	UMSEL01	UMSEL00	UPM01	UPM00	USBS0	UCSZ01 / UDORD0	UCSZ00 / UCPHA0	UCPOL0	189/203
(0xC1)	UCSR0B	RXCIE0	TXCIE0	UDRIE0	RXEN0	TXEN0	UCSZ02	RXB80	TXB80	188
(0xC0)	UCSR0A	RXC0	TXC0	UDRE0	FE0	DOR0	UPE0	U2X0	MPCM0	187

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page	
(0xBF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xBE)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xBD)	TWAMR	TWAM6	TWAM5	TWAM4	TWAM3	TWAM2	TWAM1	TWAM0	-	216	
(0xBC)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	-	TWIE	213	
(0xBB)	TWDR	2-wire Serial Interface Data Register									215
(0xBA)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	216	
(0xB9)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	-	TWPS1	TWPS0	215	
(0xB8)	TWBR	2-wire Serial Interface Bit Rate Register									213
(0xB7)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xB6)	ASSR	-	EXCLK	AS2	TCN2UB	OCR2AUB	OCR2BUB	TCR2AUB	TCR2BUB	156	
(0xB5)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xB4)	OCR2B	Timer/Counter2 Output Compare Register B									153
(0xB3)	OCR2A	Timer/Counter2 Output Compare Register A									153
(0xB2)	TCNT2	Timer/Counter2 (8-bit)									153
(0xB1)	TCCR2B	FOC2A	FOC2B	-	-	WGM22	CS22	CS21	CS20	152	
(0xB0)	TCCR2A	COM2A1	COM2A0	COM2B1	COM2B0	-	-	WGM21	WGM20	149	
(0xAF)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xAE)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xAD)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xAC)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xAB)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xAA)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA9)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA8)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA7)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA6)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA5)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA4)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA3)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA2)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA1)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0xA0)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x9F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x9E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x9D)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x9C)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x9B)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x9A)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x99)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x98)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x97)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x96)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x95)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x94)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x93)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x92)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x91)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x90)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x8F)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x8E)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x8D)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x8C)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x8B)	OCR1BH	Timer/Counter1 - Output Compare Register B High Byte									132
(0x8A)	OCR1BL	Timer/Counter1 - Output Compare Register B Low Byte									132
(0x89)	OCR1AH	Timer/Counter1 - Output Compare Register A High Byte									132
(0x88)	OCR1AL	Timer/Counter1 - Output Compare Register A Low Byte									132
(0x87)	ICR1H	Timer/Counter1 - Input Capture Register High Byte									133
(0x86)	ICR1L	Timer/Counter1 - Input Capture Register Low Byte									133
(0x85)	TCNT1H	Timer/Counter1 - Counter Register High Byte									132
(0x84)	TCNT1L	Timer/Counter1 - Counter Register Low Byte									132
(0x83)	Reserved	-	-	-	-	-	-	-	-		
(0x82)	TCCR1C	FOC1A	FOC1B	-	-	-	-	-	-	131	
(0x81)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	130	
(0x80)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	-	-	WGM11	WGM10	128	
(0x7F)	DIDR1	-	-	-	-	-	-	AIN1D	AIN0D	238	
(0x7E)	DIDR0	-	-	ADC5D	ADC4D	ADC3D	ADC2D	ADC1D	ADC0D	254	

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
(0x7D)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x7C)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	–	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	250
(0x7B)	ADCSRB	–	ACME	–	–	–	ADTS2	ADTS1	ADTS0	253
(0x7A)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	251
(0x79)	ADCH	ADC Data Register High byte								253
(0x78)	ADCL	ADC Data Register Low byte								253
(0x77)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x76)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x75)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x74)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x73)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x72)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x71)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x70)	TIMSK2	–	–	–	–	–	OCIE2B	OCIE2A	TOIE2	154
(0x6F)	TIMSK1	–	–	ICIE1	–	–	OCIE1B	OCIE1A	TOIE1	133
(0x6E)	TIMSK0	–	–	–	–	–	OCIE0B	OCIE0A	TOIE0	104
(0x6D)	PCMSK2	PCINT23	PCINT22	PCINT21	PCINT20	PCINT19	PCINT18	PCINT17	PCINT16	87
(0x6C)	PCMSK1	–	PCINT14	PCINT13	PCINT12	PCINT11	PCINT10	PCINT9	PCINT8	87
(0x6B)	PCMSK0	PCINT7	PCINT6	PCINT5	PCINT4	PCINT3	PCINT2	PCINT1	PCINT0	87
(0x6A)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x69)	EICRA	–	–	–	–	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	84
(0x68)	PCICR	–	–	–	–	–	PCIE2	PCIE1	PCIE0	
(0x67)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x66)	OSCCAL	Oscillator Calibration Register								32
(0x65)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x64)	PRR	PRTWI	PRTIM2	PRTIM0	–	PRTIM1	PRSPI	PRUSART0	PRADC	40
(0x63)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x62)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
(0x61)	CLKPR	CLKPCE	–	–	–	CLKPS3	CLKPS2	CLKPS1	CLKPS0	35
(0x60)	WDTCR	WDIF	WDIE	WDP3	WDCE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	52
0x3F (0x5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	9
0x3E (0x5E)	SPH	–	–	–	–	–	(SP10) <sup>5</sup>	SP9	SP8	11
0x3D (0x5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	11
0x3C (0x5C)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x3B (0x5B)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x3A (0x5A)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x39 (0x59)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x38 (0x58)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x37 (0x57)	SPMCSR	SPMIE	(RWWWSB) <sup>5</sup>	–	(RWWWSRE) <sup>5</sup>	BLBSET	PGWRT	PGERS	SELFPRGEN	269
0x36 (0x56)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x35 (0x55)	MCUCR	–	–	–	PUD	–	–	IVSEL	IVCE	
0x34 (0x54)	MCUSR	–	–	–	–	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	
0x33 (0x53)	SMCR	–	–	–	–	SM2	SM1	SM0	SE	37
0x32 (0x52)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x31 (0x51)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x30 (0x50)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	236
0x2F (0x4F)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x2E (0x4E)	SPDR	SPI Data Register								166
0x2D (0x4D)	SPSR	SPIF	WCOL	–	–	–	–	–	SPI2X	166
0x2C (0x4C)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	164
0x2B (0x4B)	GPOR2	General Purpose I/O Register 2								24
0x2A (0x4A)	GPOR1	General Purpose I/O Register 1								24
0x29 (0x49)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x28 (0x48)	OCR0B	Timer/Counter0 Output Compare Register B								
0x27 (0x47)	OCR0A	Timer/Counter0 Output Compare Register A								
0x26 (0x46)	TCNT0	Timer/Counter0 (8-bit)								
0x25 (0x45)	TCCR0B	FOC0A	FOC0B	–	–	WGM02	CS02	CS01	CS00	
0x24 (0x44)	TCCR0A	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	–	–	WGM01	WGM00	
0x23 (0x43)	GTCCR	TSM	–	–	–	–	–	PSRASY	PSRSYNC	137/158
0x22 (0x42)	EEARH	(EEPROM Address Register High Byte) <sup>5</sup>								19
0x21 (0x41)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte								19
0x20 (0x40)	EEDR	EEPROM Data Register								19
0x1F (0x3F)	EEDR	–	–	EEDR1	EEDR0	EERIE	EEMPE	EEPE	EERE	19
0x1E (0x3E)	GPOR0	General Purpose I/O Register 0								24
0x1D (0x3D)	EIMSK	–	–	–	–	–	–	INT1	INT0	85
0x1C (0x3C)	EIFR	–	–	–	–	–	–	INTF1	INTF0	85

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
0x1B (0x3B)	PCIFR	–	–	–	–	–	PCIF2	PCIF1	PCIF0	
0x1A (0x3A)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x19 (0x39)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x18 (0x38)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x17 (0x37)	TIFR2	–	–	–	–	–	OCF2B	OCF2A	TOV2	154
0x16 (0x36)	TIFR1	–	–	ICF1	–	–	OCF1B	OCF1A	TOV1	134
0x15 (0x35)	TIFR0	–	–	–	–	–	OCF0B	OCF0A	TOV0	
0x14 (0x34)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x13 (0x33)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x12 (0x32)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x11 (0x31)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x10 (0x30)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x0F (0x2F)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x0E (0x2E)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x0D (0x2D)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x0C (0x2C)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x0B (0x2B)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	81
0x0A (0x2A)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	81
0x09 (0x29)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	82
0x08 (0x28)	PORTC	–	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	81
0x07 (0x27)	DDRC	–	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	81
0x06 (0x26)	PINC	–	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	81
0x05 (0x25)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	81
0x04 (0x24)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	81
0x03 (0x23)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	81
0x02 (0x22)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x01 (0x21)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	
0x0 (0x20)	Reserved	–	–	–	–	–	–	–	–	

- Note:
1. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written.
  2. I/O Registers within the address range 0x00 - 0x1F are directly bit-accessible using the SBI and CBI instructions. In these registers, the value of single bits can be checked by using the SBIS and SBIC instructions.
  3. Some of the Status Flags are cleared by writing a logical one to them. Note that, unlike most other AVRs, the CBI and SBI instructions will only operate on the specified bit, and can therefore be used on registers containing such Status Flags. The CBI and SBI instructions work with registers 0x00 to 0x1F only.
  4. When using the I/O specific commands IN and OUT, the I/O addresses 0x00 - 0x3F must be used. When addressing I/O Registers as data space using LD and ST instructions, 0x20 must be added to these addresses. The ATmega48/88/168 is a complex microcontroller with more peripheral units than can be supported within the 64 location reserved in Opcode for the IN and OUT instructions. For the Extended I/O space from 0x60 - 0xFF in SRAM, only the ST/STS/STD and LD/LDS/LDD instructions can be used.
  5. Only valid for ATmega88/168

## 4. Instruction Set Summary

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
<b>ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS</b>					
ADD	Rd, Rr	Add two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr$	Z,C,N,V,H	1
ADC	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr + C$	Z,C,N,V,H	1
ADIW	Rd,K	Add Immediate to Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl + K$	Z,C,N,V,S	2
SUB	Rd, Rr	Subtract two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	Z,C,N,V,H	1
SUBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	$Rd \leftarrow Rd - K$	Z,C,N,V,H	1
SBC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr - C$	Z,C,N,V,H	1
SBCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg.	$Rd \leftarrow Rd - K - C$	Z,C,N,V,H	1
SBIW	Rd,K	Subtract Immediate from Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl - K$	Z,C,N,V,S	2
AND	Rd, Rr	Logical AND Registers	$Rd \leftarrow Rd \bullet Rr$	Z,N,V	1
ANDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \bullet K$	Z,N,V	1
OR	Rd, Rr	Logical OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \vee Rr$	Z,N,V	1
ORI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
EOR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rr$	Z,N,V	1
COM	Rd	One's Complement	$Rd \leftarrow 0xFF - Rd$	Z,C,N,V	1
NEG	Rd	Two's Complement	$Rd \leftarrow 0x00 - Rd$	Z,C,N,V,H	1
SBR	Rd,K	Set Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
CBR	Rd,K	Clear Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \bullet (0xFF - K)$	Z,N,V	1
INC	Rd	Increment	$Rd \leftarrow Rd + 1$	Z,N,V	1
DEC	Rd	Decrement	$Rd \leftarrow Rd - 1$	Z,N,V	1
TST	Rd	Test for Zero or Minus	$Rd \leftarrow Rd \bullet Rd$	Z,N,V	1
CLR	Rd	Clear Register	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rd$	Z,N,V	1
SER	Rd	Set Register	$Rd \leftarrow 0xFF$	None	1
MUL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULS	Rd, Rr	Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
FMUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
FMULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
FMULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
<b>BRANCH INSTRUCTIONS</b>					
RJMP	k	Relative Jump	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	2
IJMP		Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	2
JMP <sup>(1)</sup>	k	Direct Jump	$PC \leftarrow k$	None	3
RCALL	k	Relative Subroutine Call	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	3
ICALL		Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	3
CALL <sup>(1)</sup>	k	Direct Subroutine Call	$PC \leftarrow k$	None	4
RET		Subroutine Return	$PC \leftarrow STACK$	None	4
RETI		Interrupt Return	$PC \leftarrow STACK$	I	4
CPSE	Rd,Rr	Compare, Skip if Equal	if $(Rd = Rr)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or $3$	None	1/2/3
CP	Rd,Rr	Compare	$Rd - Rr$	Z, N, V, C, H	1
CPC	Rd,Rr	Compare with Carry	$Rd - Rr - C$	Z, N, V, C, H	1
CPI	Rd,K	Compare Register with Immediate	$Rd - K$	Z, N, V, C, H	1
SBRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	if $(Rr(b)=0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or $3$	None	1/2/3
SBRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if $(Rr(b)=1)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or $3$	None	1/2/3
SBIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if $(P(b)=0)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or $3$	None	1/2/3
SBIS	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	if $(P(b)=1)$ $PC \leftarrow PC + 2$ or $3$	None	1/2/3
BRBS	s, k	Branch if Status Flag Set	if $(SREG(s) = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if $(SREG(s) = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BREQ	k	Branch if Equal	if $(Z = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRNE	k	Branch if Not Equal	if $(Z = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCS	k	Branch if Carry Set	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRCC	k	Branch if Carry Cleared	if $(C = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRSH	k	Branch if Same or Higher	if $(C = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLO	k	Branch if Lower	if $(C = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRMI	k	Branch if Minus	if $(N = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRPL	k	Branch if Plus	if $(N = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if $(N \oplus V = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if $(N \oplus V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if $(H = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if $(H = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTS	k	Branch if T Flag Set	if $(T = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRTC	k	Branch if T Flag Cleared	if $(T = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if $(V = 1)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2
BRVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if $(V = 0)$ then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1/2

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
BRIE	k	Branch if Interrupt Enabled	if (I = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1/2
BRID	k	Branch if Interrupt Disabled	if (I = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1/2
<b>BIT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS</b>					
SBI	P,b	Set Bit in I/O Register	I/O(P,b) ← 1	None	2
CBI	P,b	Clear Bit in I/O Register	I/O(P,b) ← 0	None	2
LSL	Rd	Logical Shift Left	Rd(n+1) ← Rd(n), Rd(0) ← 0	Z,C,N,V	1
LSR	Rd	Logical Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), Rd(7) ← 0	Z,C,N,V	1
ROL	Rd	Rotate Left Through Carry	Rd(0) ← C, Rd(n+1) ← Rd(n), C ← Rd(7)	Z,C,N,V	1
ROR	Rd	Rotate Right Through Carry	Rd(7) ← C, Rd(n) ← Rd(n+1), C ← Rd(0)	Z,C,N,V	1
ASR	Rd	Arithmetic Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), n=0..6	Z,C,N,V	1
SWAP	Rd	Swap Nibbles	Rd(3..0) ← Rd(7..4), Rd(7..4) ← Rd(3..0)	None	1
BSET	s	Flag Set	SREG(s) ← 1	SREG(s)	1
BCLR	s	Flag Clear	SREG(s) ← 0	SREG(s)	1
BST	Rr, b	Bit Store from Register to T	T ← Rr(b)	T	1
BLD	Rd, b	Bit load from T to Register	Rd(b) ← T	None	1
SEC		Set Carry	C ← 1	C	1
CLC		Clear Carry	C ← 0	C	1
SEN		Set Negative Flag	N ← 1	N	1
CLN		Clear Negative Flag	N ← 0	N	1
SEZ		Set Zero Flag	Z ← 1	Z	1
CLZ		Clear Zero Flag	Z ← 0	Z	1
SEI		Global Interrupt Enable	I ← 1	I	1
CLI		Global Interrupt Disable	I ← 0	I	1
SES		Set Signed Test Flag	S ← 1	S	1
CLS		Clear Signed Test Flag	S ← 0	S	1
SEV		Set Twos Complement Overflow.	V ← 1	V	1
CLV		Clear Twos Complement Overflow	V ← 0	V	1
SET		Set T in SREG	T ← 1	T	1
CLT		Clear T in SREG	T ← 0	T	1
SEH		Set Half Carry Flag in SREG	H ← 1	H	1
CLH		Clear Half Carry Flag in SREG	H ← 0	H	1
<b>DATA TRANSFER INSTRUCTIONS</b>					
MOV	Rd, Rr	Move Between Registers	Rd ← Rr	None	1
MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	Rd+1:Rd ← Rr+1:Rr	None	1
LDI	Rd, K	Load Immediate	Rd ← K	None	1
LD	Rd, X	Load Indirect	Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (X), X ← X + 1	None	2
LD	Rd, -X	Load Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, Y	Load Indirect	Rd ← (Y)	None	2
LD	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Y), Y ← Y + 1	None	2
LD	Rd, -Y	Load Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, Rd ← (Y)	None	2
LDD	Rd, Y+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Y + q)	None	2
LD	Rd, Z	Load Indirect	Rd ← (Z)	None	2
LD	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Z), Z ← Z+1	None	2
LD	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, Rd ← (Z)	None	2
LDD	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Z + q)	None	2
LDS	Rd, k	Load Direct from SRAM	Rd ← (k)	None	2
ST	X, Rr	Store Indirect	(X) ← Rr	None	2
ST	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(X) ← Rr, X ← X + 1	None	2
ST	-X, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, (X) ← Rr	None	2
ST	Y, Rr	Store Indirect	(Y) ← Rr	None	2
ST	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Y) ← Rr, Y ← Y + 1	None	2
ST	-Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, (Y) ← Rr	None	2
STD	Y+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Y + q) ← Rr	None	2
ST	Z, Rr	Store Indirect	(Z) ← Rr	None	2
ST	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Z) ← Rr, Z ← Z + 1	None	2
ST	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, (Z) ← Rr	None	2
STD	Z+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Z + q) ← Rr	None	2
STS	k, Rr	Store Direct to SRAM	(k) ← Rr	None	2
LPM		Load Program Memory	R0 ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	Rd ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc	Rd ← (Z), Z ← Z+1	None	3
SPM		Store Program Memory	(Z) ← R1:R0	None	-
IN	Rd, P	In Port	Rd ← P	None	1
OUT	P, Rr	Out Port	P ← Rr	None	1
PUSH	Rr	Push Register on Stack	STACK ← Rr	None	2

# ATmega48/88/168

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
POP	Rd	Pop Register from Stack	Rd ← STACK	None	2
<b>MCU CONTROL INSTRUCTIONS</b>					
NOP		No Operation		None	1
SLEEP		Sleep	(see specific descr. for Sleep function)	None	1
WDR		Watchdog Reset	(see specific descr. for WDR/timer)	None	1
BREAK		Break	For On-chip Debug Only	None	N/A

Note: 1. These instructions are only available in ATmega168.

## ES110 and ES120 Series

### Packaged Temperature Probes with Integral Connectors



#### DESCRIPTION

Honeywell's ES110 Series and ES120 Series are a modular range of inflow thermistor-based sensors specifically designed for use in the transportation industry.

Thermistors can be very effective in sensing temperatures of gases, liquids or solids because of their enhanced sensitivity, accuracy and reliability.

The ES110 Series air/gas sensor has an exposed thermistor element that offers enhanced response for greater levels of control, while the ES120 Series is primarily used for immersion temperature measurements. Its fully enclosed brass body makes it often ideal for applications requiring direct contact with liquids.

#### FEATURES

- Air/gas or immersion sensing
- NTC (Negative Temperature Coefficient) or KTY (silicon-based positive temperature coefficient) type outputs
- Enhanced sensitivity
- Enhanced accuracy
- Enhanced reliability
- Robust packaging
- Fast response
- Wide operating temperature range
- Easy installation
- Customizable

Robust and easy-to-install threaded packaging often provides reliable operation in harsh application environments. Fast response times over a wide operating temperature range of -40 °C to 150 °C [-40 °F to 302 °F] allow application flexibility.

Custom configurations are available.

#### POTENTIAL APPLICATIONS

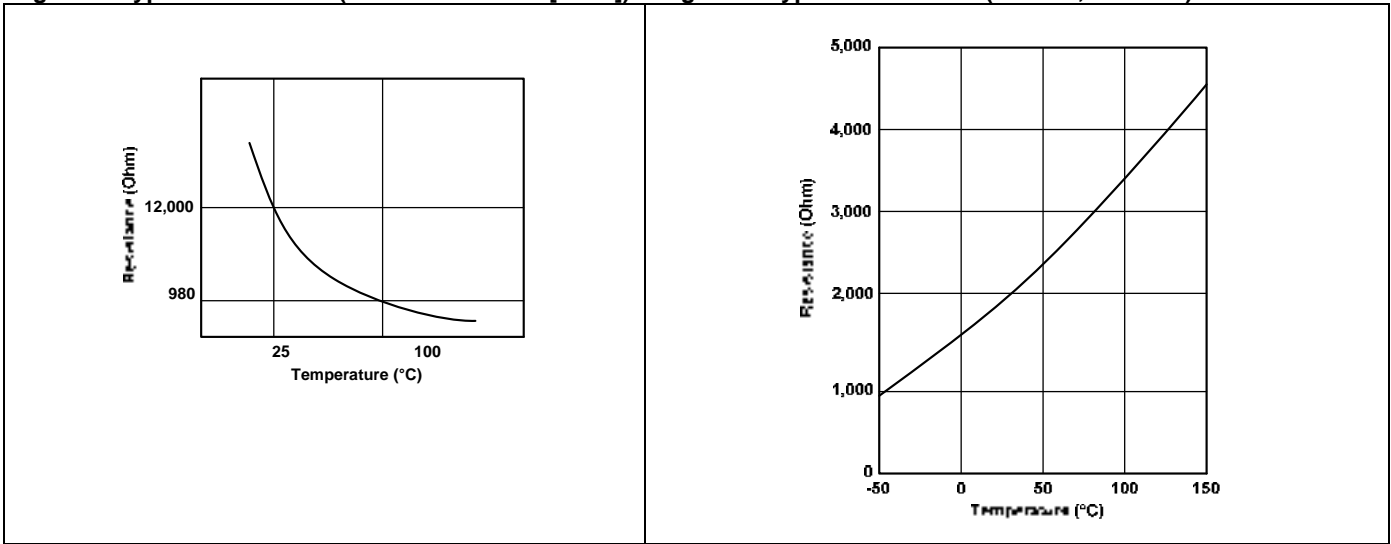
- Transportation: engine coolant, oil temperature, air intake, fuel and engine block sensing
- Industrial: compressor, duct, hydraulic oil temperature sensing

# ES110 and ES120 Series

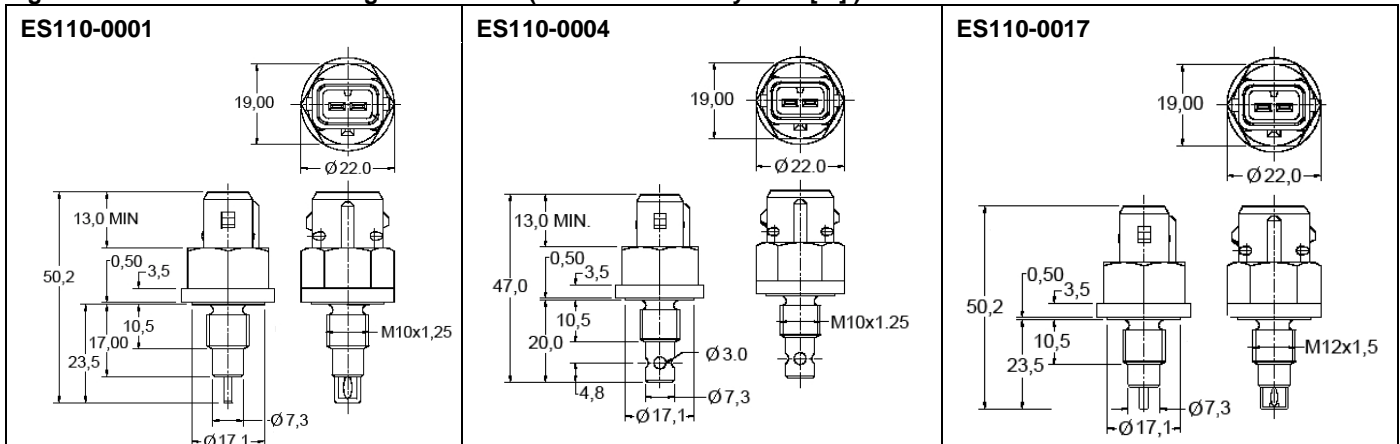
**Table 1. General Specifications**

Characteristic	Parameter
Temperature sensing type	ES110: air/gas ES120: immersion
Thermistor type	NTC or KTY
Nominal resistance at 25 °C [77 °F]	2000 Ohm
Operating temperature range	-40 °C to 150 °C [-40 °F to 302 °F]
Tolerance	±5.0%
Accuracy	20 °C [68 °F], 25 °C [77 °F]
Time constant in air (ES110 Series)	10.0 s
Dissipation constant in air (ES110 Series)	1 mW/°C
Time constant in water at 0.914 m/s [3 ft/s] (ES120 Series)	15.0 s
Dissipation constant in water at 0.914 m/s [3 ft/s] (ES120 Series)	6 mW/°C
Housing material	brass
Mounting method/mechanical interface	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M10x1.0 thread      • M12x1.5 thread      • 1/8 PTF 27 TPI</li> <li>• M10x1.25 thread    • M14x1.5 thread</li> </ul>
Electrical interface/connector type	<ul style="list-style-type: none"> <li>• overmolded connector/2 Pin MINI TIMER</li> <li>• overmolded connector/Delphi 90° METRI-PACK 150 Series</li> </ul>

**Figure 1. Typical NTC Curve (12 kOhm at 25 °C [77 °F])      Figure 2. Typical KTY Curve (R25 = 2,000 Ohm)**

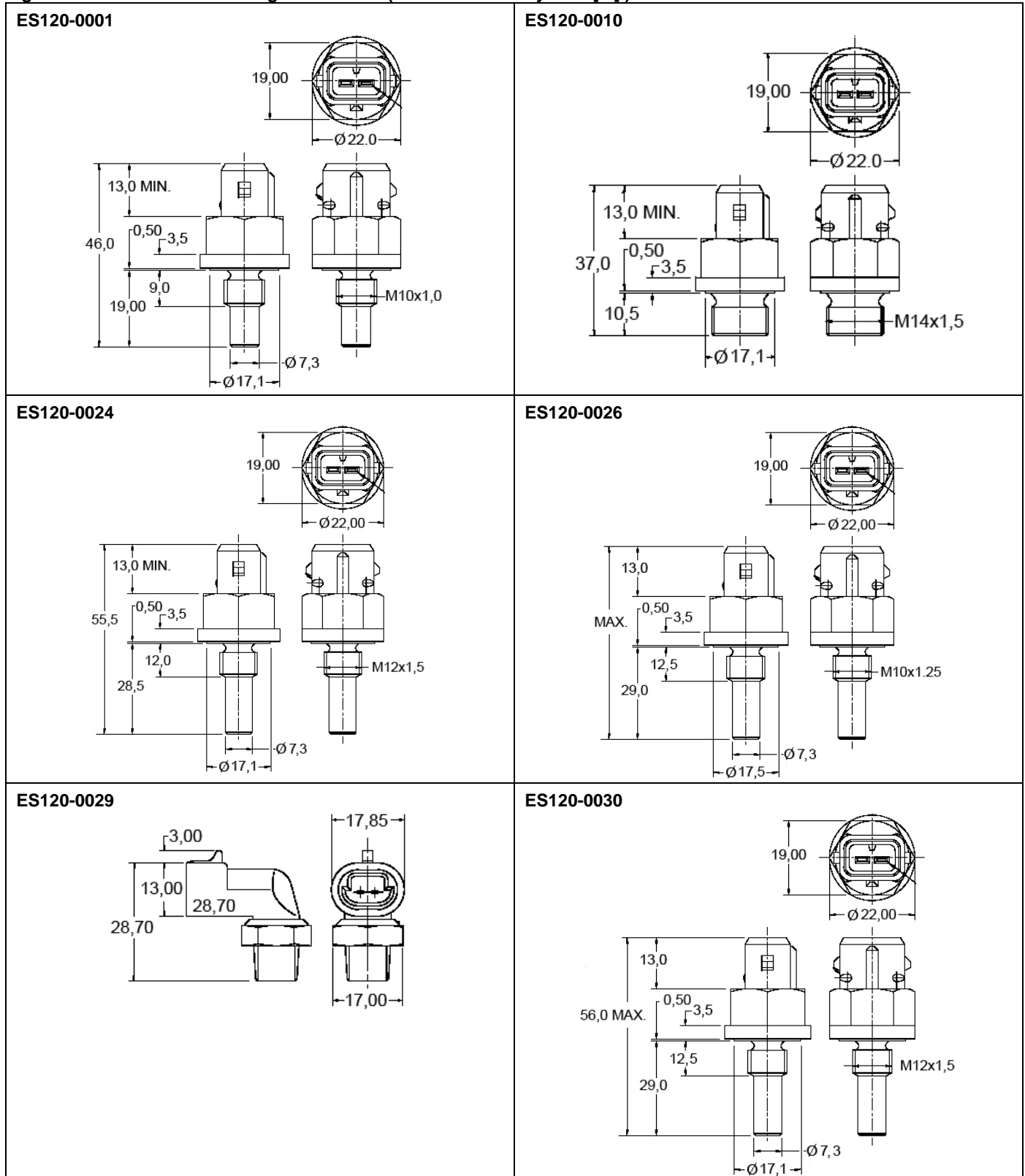


**Figure 3. ES110 Series Mounting Dimensions (For reference only: mm/[in.] )**




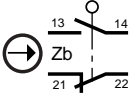
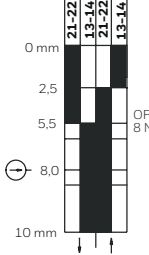
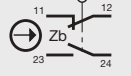
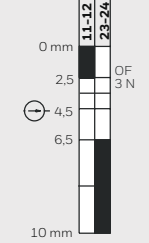
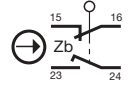
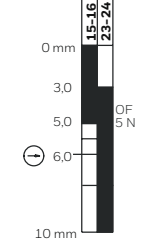
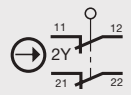
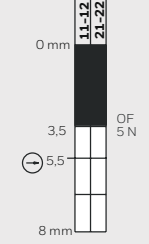
# Packaged Temperature Probes with Integral Connectors

Figure 4. ES120 Series Mounting Dimensions (For reference only: mm/[in.] )



# MICRO SWITCH Miniature Industrial Limit Switch, GLL Series

Table 12. Top Vertical Roller Lever

	Contacts	Contact Type	Contact Material	Operating Force max. N [lb]	Bar Chart <sup>1</sup>	0.5-14 NPT Conduit	20 mm Conduit
	1NC-1NO	Snap action 	silver	8 [1.8]		<b>GLLA01F</b>	<b>GLLC01F</b>
	1NC-1NO	BBM, slow action 	silver	3 [0.67]		<b>GLLA03F</b>	<b>GLLC03F</b>
	1NC-1NO	MBB, slow action 	silver	5 [1.12]		<b>GLLA04F</b>	<b>GLLC04F</b>
	2NC	Slow action 	silver	5 [1.12]		<b>GLLA06F</b>	<b>GLLC06F</b>

<sup>1</sup>Contact closed ■; Contact open □. \*Positive opening occurs.

# MICRO SWITCH Miniature Industrial Limit Switch, GLL Series

Figure 10. GLL Top Horizontal Roller Lever Dimensions

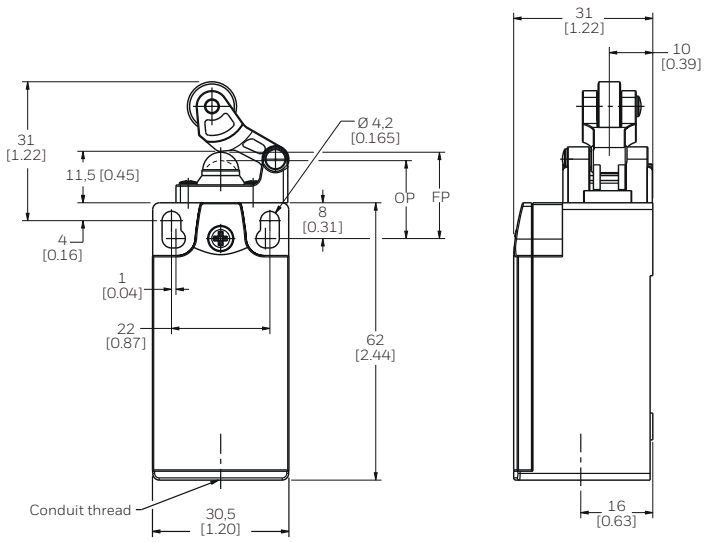
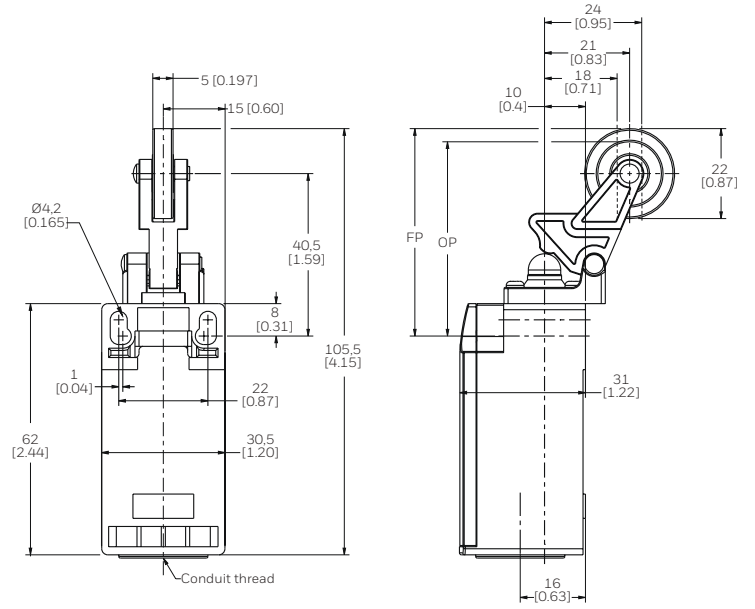
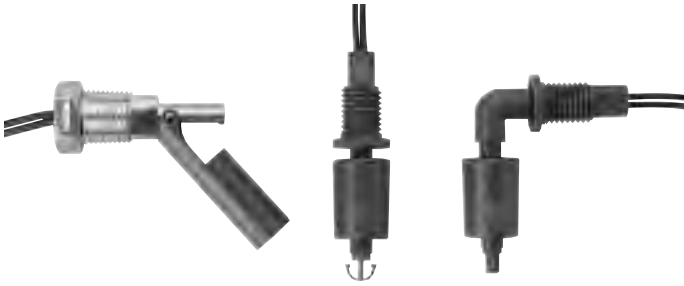


Figure 11. GLL Top Vertical Roller Lever Dimensions



# LRN Series

## Reed float switch



### Features

- High or low level sensing
- Normally open, normally closed or change over contact action
- Ratings up to 100 W
- Operates in liquid down to S.G. of 0.65
- Internal or external fitting
- Easy to install
- Cost effective

### Description

The Honeywell range of horizontal, vertical and right angled float switches offers the design engineer a combination of versatility and reed switch reliability. A magnet located in the float is used to activate the reed switch either on a rising or falling liquid level and the design allows for high or low level sensing simply by rotating the switch through 180°. A range of internal or external mounting options is available and a universal mounting kit allows both internal and external mounting. Available in Nylon 6.6 and Glass Filled Polypropylene materials and a range of switching options. LRN float switches are suitable for use in the automotive, chemical, petroleum and food processing industries in signalling and control applications.

### Typical applications

- Low coolant level sensing
- Fuel or oil level sensing
- Boiler level warning
- Solution monitoring
- Flood control
- Catering and vending machine
- Domestic appliance
- Medical equipment

### Technical information

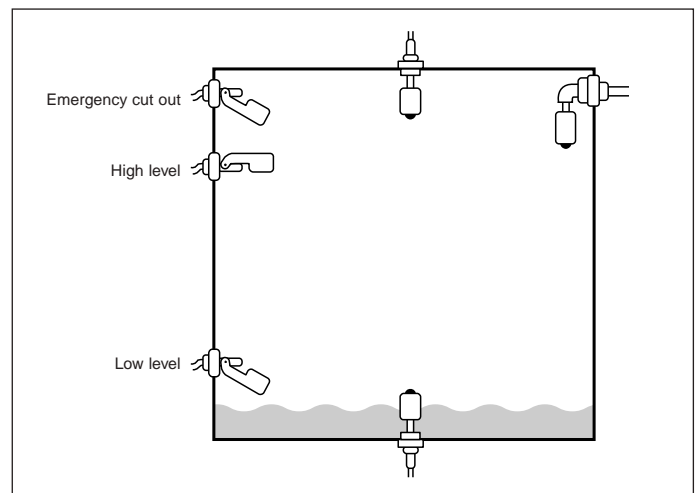
Mechanical						
Minimum operate angle (horizontal models)	5° from mounting angle					
Maximum release angle (horizontal models)	40° from mounting angle					
Shock *	50 g for 11 milliseconds duration					
Vibration *	35 up to 500 Hz					
Nominal cable length	0.5 m					
Environmental						
	Nylon 6.6	Diecast metal** body	Glassfilled**** polypropylene			
Operating Temperature Range	-30 °C to +130 °C	-30 °C to +130 °C	-30 °C to +110 °C			
Minimum SG of liquid	0.85	0.85	0.65			
Minimum Viscosity of Liquid (centipoise)	100	100	100			
Plastic Housing Water absorption of equilibrium	at 20 °C and 100 % RH	1.3 %	5.6 %	0.03 %		
	at 100 °C and 100 % RH	1.6 %	5.6 %	<0.5 %		
Heat distortion temperature 4.5 kg/cm <sup>2</sup> (67.6 psig)	180 °C	245 °C	105 °C			
Electrical						
Switching options	0	1	2	3	4	5
Switch action	SPST		SPST	SPDT	SPST	TRIAC TRIAC
Maximum Switching Voltage (Vdc) (VRMS)	100	100	100	100		
	120	250	70	120	250	250
Maximum Switching Current (A)	1.0	1.0	0.50	3.0	3.0	1.0
dc Contact Rating (W)	15 ***	15 ***	3 ***	100 ***	750	250
Minimum Breakdown Voltage (Vdc)	300	800	200	400	-	-
Initial Contact Resistance (Ω)	0.25	0.25	0.25	0.75	-	-

\* Reed Switch Only

\*\* Diecast metal model is fitted with Nylon 6.6 float as standard

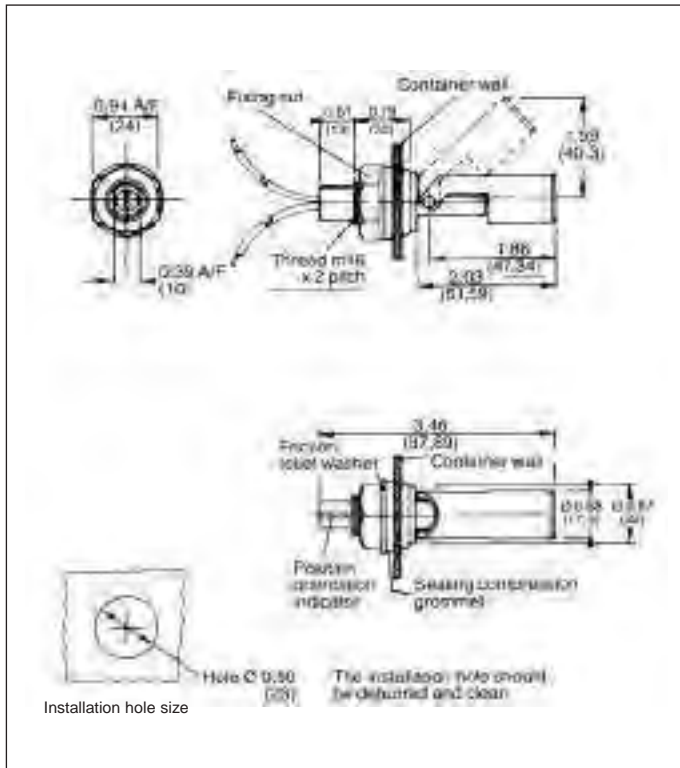
\*\*\* The switching performance can be drastically affected if switch ratings are exceeded. For inductive, capacitive and tungsten filament lamp loads, derate by 50%. All switch ratings are at dc resistive loads.

\*\*\*\* For boiling water applications the maximum operating temperature limits are:-  
Continuous boiling water 80 °C  
Non continuous boiling water 100 °C

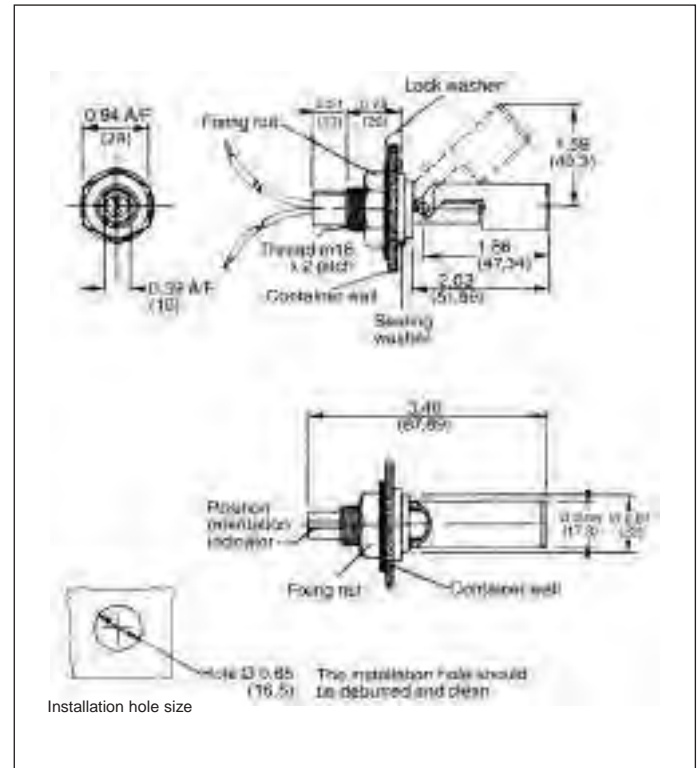


**Dimensions in inches (mm)**  
**LRN - Horizontal models**

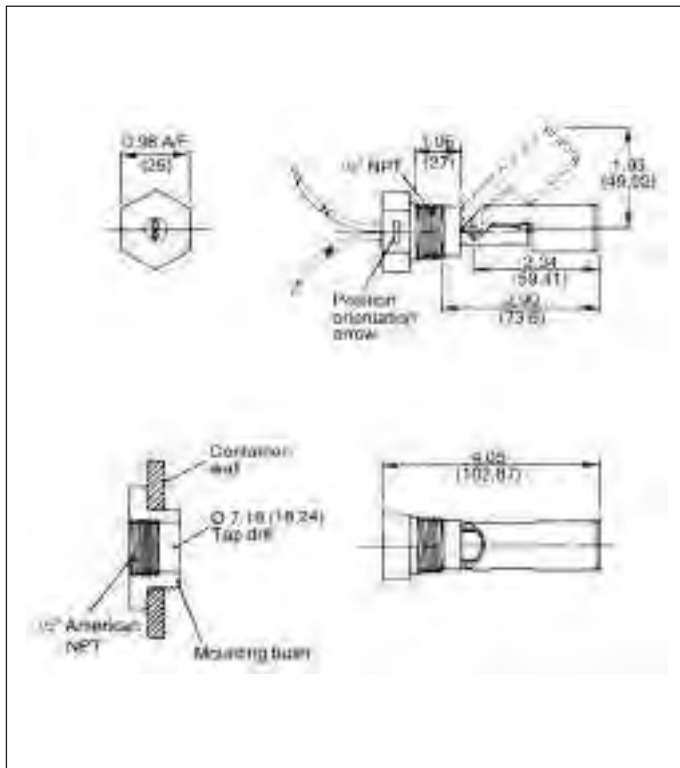
**External fitting (compression grommet)**



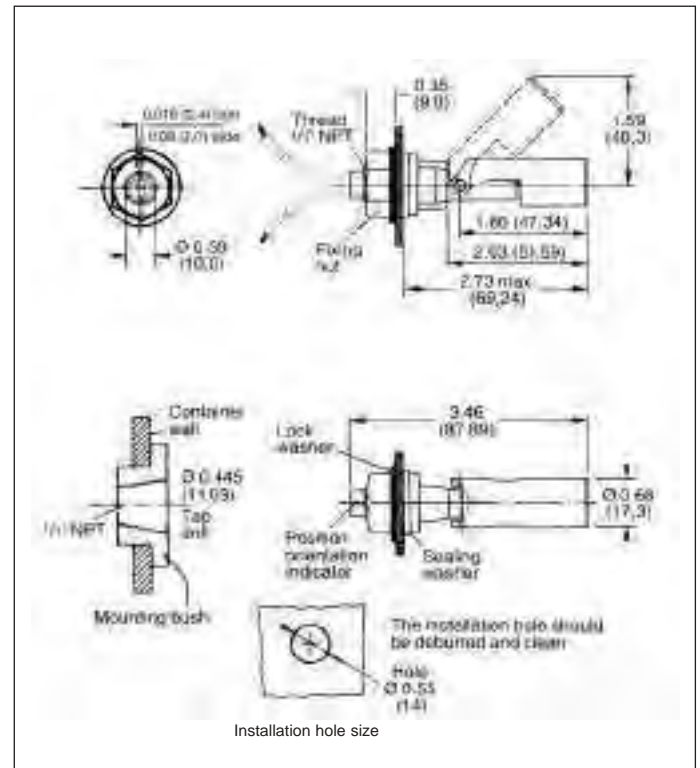
**Internal fitting**



**External fitting 1/2" NPT**  
 (American National Pipe Thread)



**Internal fitting 1/4" NPT**  
 (American National Pipe Thread)





Data Sheet  
 Sensor: IRA-S210ST01  
 Lens: IML-0685 / IML-0688

**Sensor : IRA-S210ST01**  
**Lens : IML-0685/0688**



## Pyro Electric Infrared Sensor Fresnel Lens

### Features

- Excellent S/N
- Low voltage operation available

### Applications

- Intrusion Detectors
- Lighting Automation

Please select IML-0685 or IML-0688 depend on your application and target detection area

## Overview

### Sensor

Pyroelectric infrared sensors detect infrared rays using the pyroelectric effect of pyroelectric ceramics, a kind of piezoelectric ceramics. IRA series offers pyroelectric infrared sensor that deliver high sensitivity and reliable performance made possible by Murata's ceramic technology and Hybrid IC technique expertise. Used mainly in security equipment. IRA-E series includes high quality and reliable performance products by improving the manufacturing process. Combining performance with low costs, the IRA-S series makes it easier to use pyroelectric infrared sensor in security application and general consumer equipment.

### Lens

Lens series offer fresnel lens for Murata pyroelectric infrared sensor.

---

### Attention:

This datasheet is downloaded from the website of Murata Manufacturing Co., Ltd. Therefore, it's specifications are subject to change or our products in it may be discontinued without advance notice. Please check with our sales representatives or product engineers before ordering.

## 2. Specifications and Measurement Direction

### 2.1 Sensor

#### 2.1.1 Dimension of infrared ray receiving electrode (For reference)

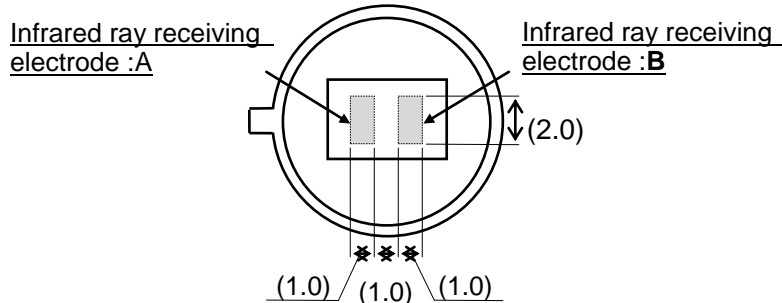


Fig.1 Top view

#### 2.1.2 Internal circuit diagram

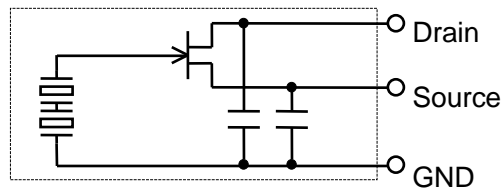


Fig.2 Circuit diagram

#### 2.1.3 Basic (rated) operation conditions

Table.1 Operation conditions

Parameter	Spec	Notes
Supply Voltage	2.0 to 15.0 VDC (With circuit condition shown in Fig.7)	Supply Voltage means the difference of electrical potential between Drain terminal and Ground terminal,
Operating Temperature range	-40 to 70 °C	
Storage Temperature range	-40 to 85 °C	

#### 2.1.4 Performances (Unless otherwise noted 25°C±3°C)

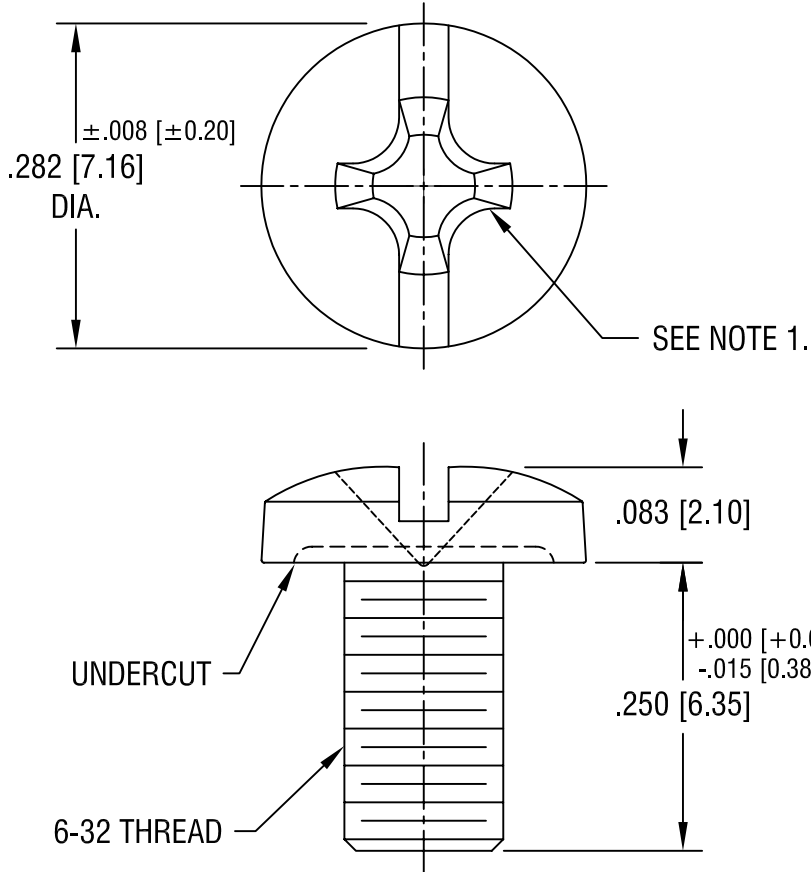
Table.2 Performance of electric specifications

Parameter	Unit	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Test condition	
Responsivity	mV	$R_A$ $R_B$	3.6	(4.6)	-	Refer to (Note 1)	
Balance of Responsivity	%	-	-	-	10	-	
White Noise	mVpp	$W_n$	-	-	150	Refer to (Note 2)	
Source Voltage	at 25°C	V	$V_s$	0.2	-	1.5	Refer to (Note 3)

#### Attention:

This datasheet is downloaded from the website of Murata Manufacturing Co., Ltd. Therefore, its specifications are subject to change or our products in it may be discontinued without advance notice. Please check with our sales representatives or product engineers before ordering.

THIS DOCUMENT IS THE PROPERTY OF KEYSTONE ELECTRONICS CORP. AND SHALL NOT BE REPRODUCED, DISTRIBUTED OR USED AS A BASIS FOR MANUFACTURE WITHOUT PRIOR WRITTEN PERMISSION FROM KEYSTONE ELECTRONICS CORP.



NOTE:  
1. TO ACCEPT STANDARD SLOT OR PHILLIPS DRIVE.

10.8.03	CHANGE AS PER ECN 03-073	D
8.11.03	CHANGE AS PER ECN 03-055	C
10.4.96	CHANGE AS PER ECR 96-042	B
1.27.94	MAT'L WAS STEEL	A
DATE	DESCRIPTION	REV.

<b>KEYSTONE ELECTRONICS CORP.</b>			
ASTORIA, N.Y. 11105-2017			
PART NAME			
COMBINATION BINDING HEAD SCREW			
MATERIAL			
BRASS			
FINISH		DRN BY	DATE
NICKEL PLATE		BOONE	8.18.93
		APPD	SCALE
		LN	6X
TOLERANCES	INCH [MM]	CODE	DWG NO.
DECIMAL	± .005 [± 0.15]	C	<b>8190-1</b>
ANGULAR	± 1°		
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED			

## Cable gland - G-INS-M16-S68N-PNES-GY - 1411124

Please be informed that the data shown in this PDF Document is generated from our Online Catalog. Please find the complete data in the user's documentation. Our General Terms of Use for Downloads are valid (<http://phoenixcontact.com/download>)




Cable gland, cable gland material: PA, external cable diameter 5 mm ... 10 mm, shielding: no, connecting thread: M16 x 1.5, color: silver-gray RAL 7001

### Your advantages

- Plastic material conforms to UL 746C f1


**RoHS**

### Key Commercial Data

Packing unit	10 pc
Minimum order quantity	10 pc
GTIN	 4 046356 922524
GTIN	4046356922524

### Technical data

#### Dimensions

Length	39 mm
Wrench size, union nut	22 mm
Wrench size, support	22 mm
Hexagon angular dimension	25 mm
Length of the connecting thread	10 mm
Feed-through hole diameter	16.1 mm ... 16.2 mm
External cable diameter	5 mm ... 10 mm
	5 mm ... 10 mm (for UL 514 B)

#### Ambient conditions

Degree of protection	IP68 (5 bar / 0.5 h)
	IP66
Ambient temperature (operation)	-20 °C ... 100 °C (static)

#### General



# **Future Technology Devices International Ltd**

## **TTL-232R-PCB**

### **TTL to USB Serial Converter PCB**

### **Datasheet**

**Document Reference No.: FT\_000065**

**Version 1.01**

**Issue Date: 2010-09-02**

**Future Technology Devices International Limited (FTDI)**

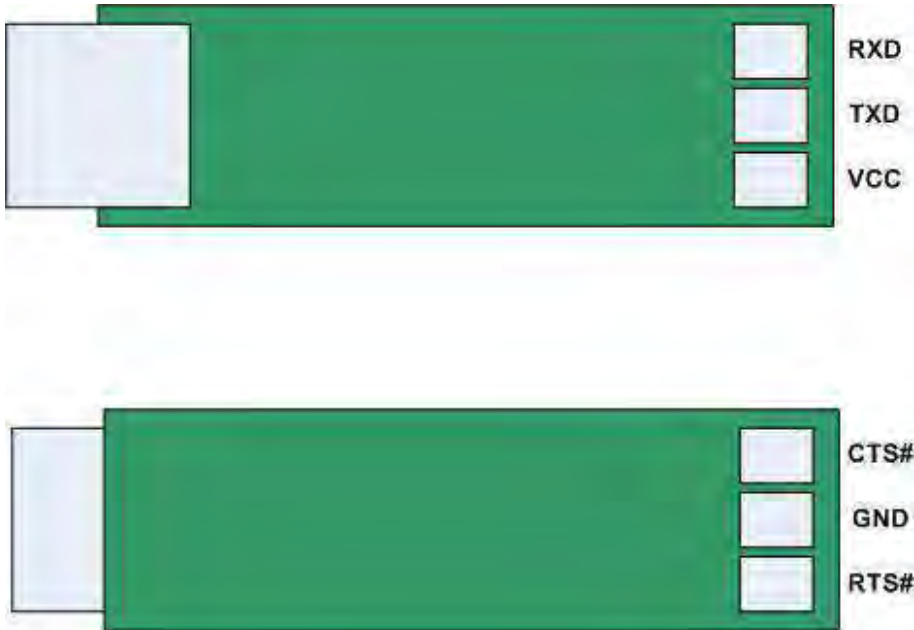
Unit 1, 2 Seaward Place, Glasgow G41 1HH, United Kingdom

Tel.: +44 (0) 141 429 2777 Fax: + 44 (0) 141 429 2758

E-Mail (Support): [support1@ftdichip.com](mailto:support1@ftdichip.com) Web: <http://www.ftdichip.com>

Neither the whole nor any part of the information contained in, or the product described in this manual, may be adapted or reproduced in any material or electronic form without the prior written consent of the copyright holder. This product and its documentation are supplied on an as-is basis and no warranty as to their suitability for any particular purpose is either made or implied. Future Technology Devices International Ltd will not accept any claim for damages howsoever arising as a result of use or failure of this product. Your statutory rights are not affected. This product or any variant of it is not intended for use in any medical appliance, device or system in which the failure of the product might reasonably be expected to result in personal injury. This document provides preliminary information that may be subject to change without notice. No freedom to use patents or other intellectual property rights is implied by the publication of this document. Future Technology Devices International Ltd, Unit 1, 2 Seaward Place, Centurion Business Park, Glasgow, G41 1HH, United Kingdom. Scotland Registered Number: SC136640

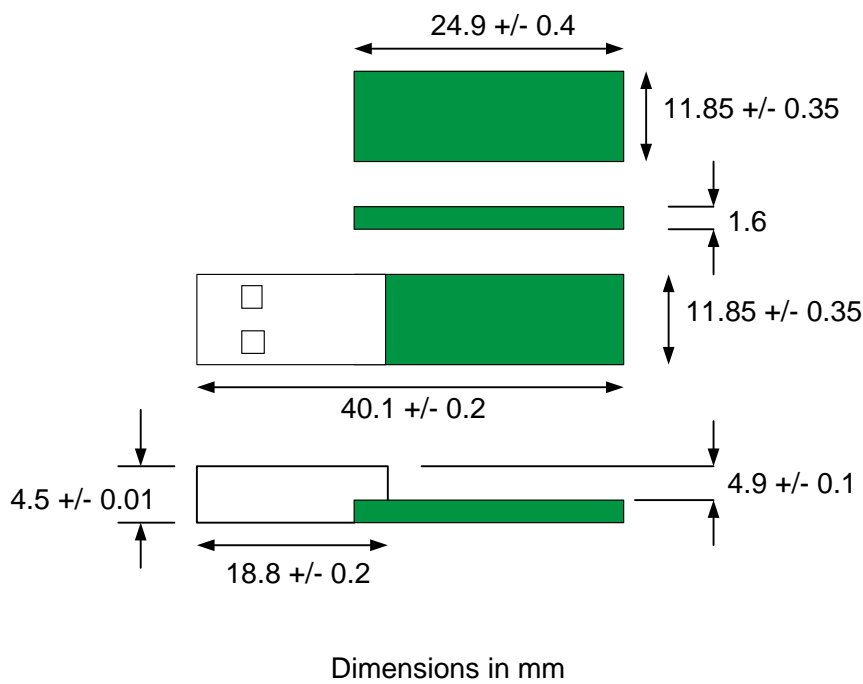
#### 4 TTL-232R-PCB Connector Pin Out and Mechanical details



### TTL232R PCB PADS

**Figure 4.1 TTL-232R-PCB Pin Out (Top is TOP View, Bottom is BOTTOM View)**

The mechanical details of the PCB are shown in the following diagram Figure 4.2



**Figure 4.2 TTL-232R TTL-232R-PCB, Mechanical Details**



#### 4.1 TTL-232R-PCB Signal Descriptions

Name	Type	Description
GND	GND	Device ground supply pin.
CTS#	Input	Clear to Send Control input / Handshake signal.
VCC	Output	+5V output.
TXD	Output	Transmit Asynchronous Data output.
RXD	Input	Receive Asynchronous Data input.
RTS#	Output	Request To Send Control Output / Handshake signal.

**Table 4.1 TTL-232R-PCB Signal Descriptions**

#### 4.2 TTL-232R-PCB +5V/+3.3V Selection

Selection of whether the UART signal are +3.3V levels or +5V levels is done using resistors. The following table gives details of what resistors are required for the two different voltage levels. Note that the VCC output signal will always drive at +5V.

Resistor R1	Resistor R2	Description
Fitted	Not Fitted	UART signals are +5V level signals
Not Fitted	Fitted	UART signals are +3.3V level signals

**Table 4.2 UART Signal Level Selection**

#### 4.3 TTL-232R-PCB Electrical Parameters

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
VCC	Output Power Voltage	4.25	5.0	5.25	V	Dependant on the USB port that the TTL-232R-PCB is connected to
I <sub>o</sub>	Output Power Current	-		75	mA	
T	Operating Temperature Range	-40		+85	°C	

**Table 4.3 TTL-232R-PCB I/O Operating Parameters**

Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
V <sub>oh</sub>	Output Voltage High	3.2	4.1	4.9	V	I source = 6mA
V <sub>ol</sub>	Output Voltage Low	0.3	0.4	0.6	V	I sink = 6mA
V <sub>in</sub>	Input Switching Threshold	1.0	1.2	1.5	V	
V <sub>Hys</sub>	Input Switching Hysteresis	20	25	30	mV	

**Table 4.4 TTL-232R-PCB I/O Pin Characteristics (+5V level signals)**



Parameter	Description	Minimum	Typical	Maximum	Units	Conditions
Voh	Output Voltage High	2.2	2.8	3.2	V	I source = 3mA
Vol	Output Voltage Low	0.3	0.4	0.6	V	I sink = 8mA
Vin	Input Switching Threshold	1.0	1.2	1.5	V	
VHys	Input Switching Hysteresis	20	25	30	mV	

**Table 4.5 TTL-232R-PCB I/O Pin Characteristics (+3.3V level signals)**

## 5 TTL-232R-PCB Circuit Schematic

The circuit schematic of the TTL-232R-PCB, utilising the FTDI FT232R, is shown in Figure 5.1

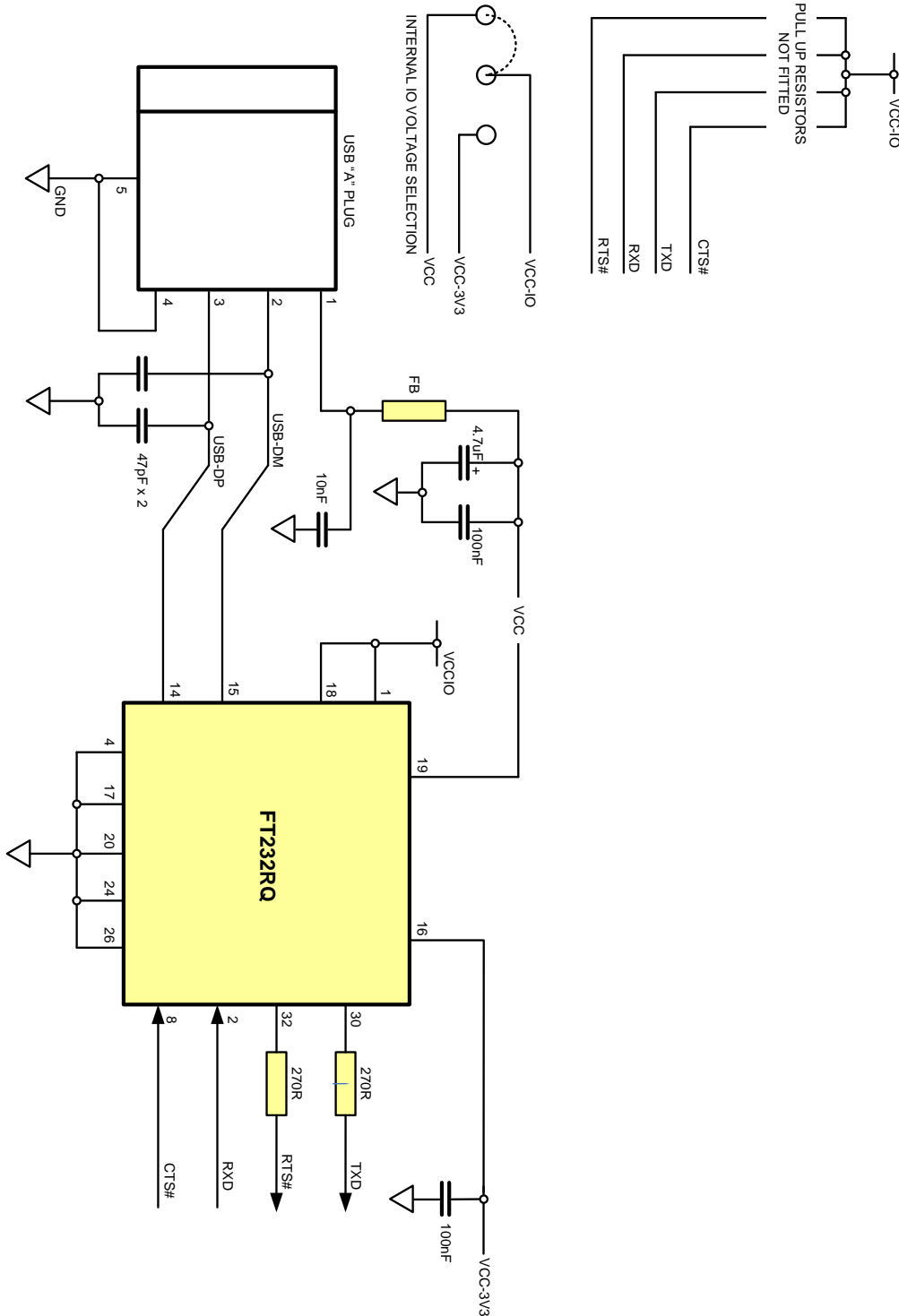


Figure 5.1 Circuit Schematic of TTL-232R-PCB.

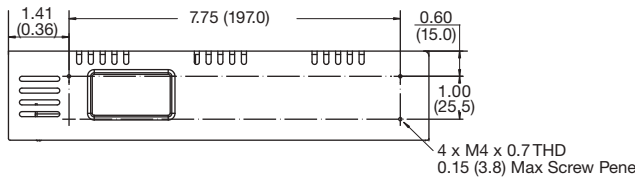
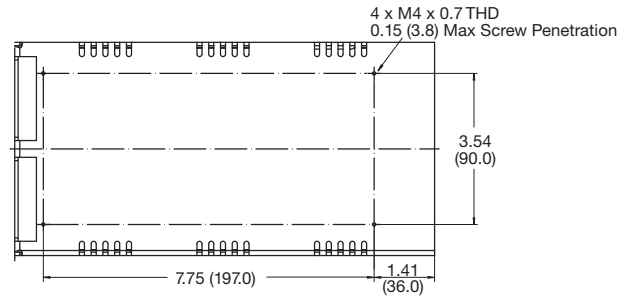
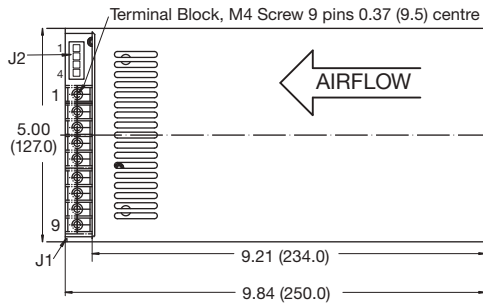
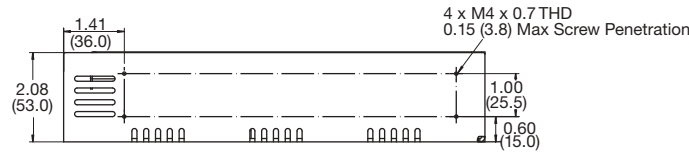
**Model and Ratings**

Output Power <sup>(1)</sup>	Output Voltage	Trim Range	Output Current	Ripple & Noise <sup>(2)</sup>	Model Number
500 W	12.0 V	11.0-13.0 V	42.0 A	120 mV pk-pk	LCL500PS12
	13.5 V	12.5-14.5 V	37.0 A	150 mV pk-pk	LCL500PS13
	15.0 V	14.0-16.0 V	34.0 A	150 mV pk-pk	LCL500PS15
	24.0 V	23.0-25.0 V	21.0 A	150 mV pk-pk	LCL500PS24
	27.0 V	26.0-28.0 V	18.5 A	150 mV pk-pk	LCL500PS27
	48.0 V	47.0-49.0 V	10.5 A	240 mV pk-pk	LCL500PS48†

**Notes**

1. Output power derates linearly from 100% at 90 VAC to 90% at 85 VAC.
2. Measured with 20 MHz bandwidth.

**Mechanical Details**



J1 Pin Connections	
Pin	Function
1	+Vout
2	+Vout
3	+Vout
4	-Vout
5	-Vout
6	-Vout
7	Ground
8	Neutral
9	Line

J2 Pin Connections	
Pin	Function
1	Remote On/Off -
2	Remote On/Off +
3	Sense -
4	Sense +

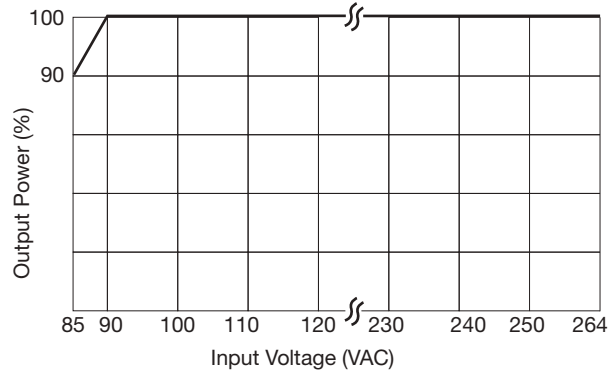
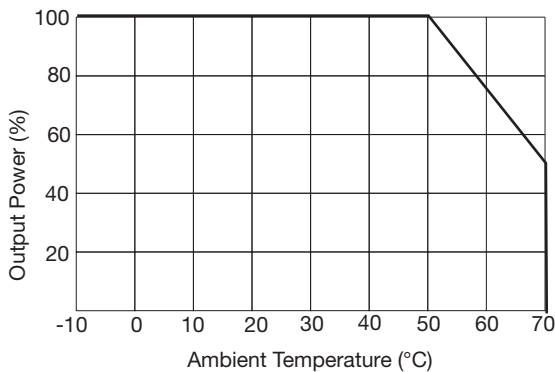
Applying >4.5 V to Pin 2 with respect to Pin 1 turns output off. Applying <0.8 V to Pin 2 with respect to Pin 1 or open circuit turns output on.

Mating Connectors (J2):  
WST P4-I25002 housing  
WST I25002BS contacts

**Notes**

1. Dimensions shown in inches (mm).
2. Weight: 3.2 lbs (1.45 kg) approx.
3. Tolerance is ±0.05 (±0.2) maximum.

**Derating Curves**



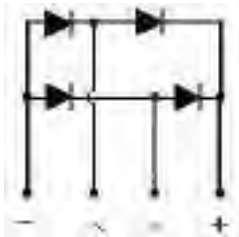
**KBP2005G THRU KBP210G**  
**SINGLE PHASE 2.0AMP GLASS PASSIVATED BRIDGE RECTIFIER**



**Features**

- Glass passivated die construction
- Low forward voltage drop
- High current capability
- High surge current capability
- Plastic material-UL flammability 94V-0
- This is a Pb – Free Device
- All SMC parts are traceable to the wafer lot
- Additional testing can be offered upon request

**Circuit Diagram**



**Mechanical Data**

- Case: KBP, molded plastic
- Terminals: plated leads solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: as marked on case
- Mounting position: Any
- Lead Free: For RoHS / Lead Free Version

**Maximum Ratings: @T<sub>A</sub>=25°C unless otherwise specified**

Single Phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load. For capacitive load, derate current by 20%.

Type number	Symbol	KBP 2005G	KBP 201G	KBP 202G	KBP 204G	KBP 206G	KBP 208G	KBP 210G	Units
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V <sub>RRM</sub>	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	V <sub>RMS</sub>	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current @ T <sub>A</sub> =50°C	I <sub>o</sub>	2.0							A
Peak forward surge current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I <sub>FSM</sub>	60							A



**Electrical Characteristics:**

Type Number	Symbol	KBP 2005G	KBP 201G	KBP 202G	KBP 204G	KBP 206G	KBP 208G	KBP 210G	Units
Forward Voltage per element @ $I_F=2.0A$	$V_F$	1.1							V
Peak Reverse Current @ $T_A=25^\circ C$ At Rated DC Blocking Voltage @ $T_A=125^\circ C$	$I_R$	5.0 500							$\mu A$

\* Pulse width < 300  $\mu s$ , duty cycle < 2%

**Thermal-Mechanical Specifications:**

Type Number	Symbol	KBP 2005G	KBP 201G	KBP 202G	KBP 204G	KBP 206G	KBP 208G	KBP 210G	Units
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient (Note 1)	$R_{\theta JA}$	25							$^\circ C/W$
Typical Thermal Resistance Junction to Lead (Note 1)	$R_{\theta JL}$	8							
Junction Temperature	$T_J$	-55 to +150							$^\circ C$
Storage Temperature Range	$T_{STG}$	-55 to +150							$^\circ C$
Approximate Weight	wt	1.4							g
Case Style		KBP							

Note: 1. Mounted on glass epoxy PC board with 1.3mm<sup>2</sup> solder pad.

**Ratings and Characteristics Curves**

Fig. 1 Forward Current Derating Curve

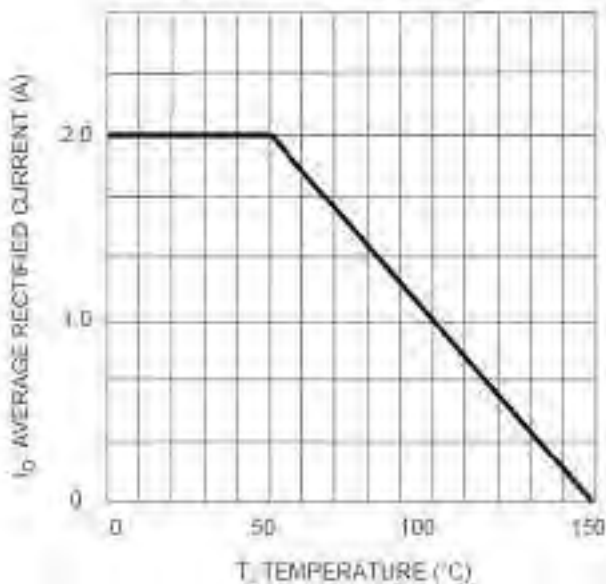
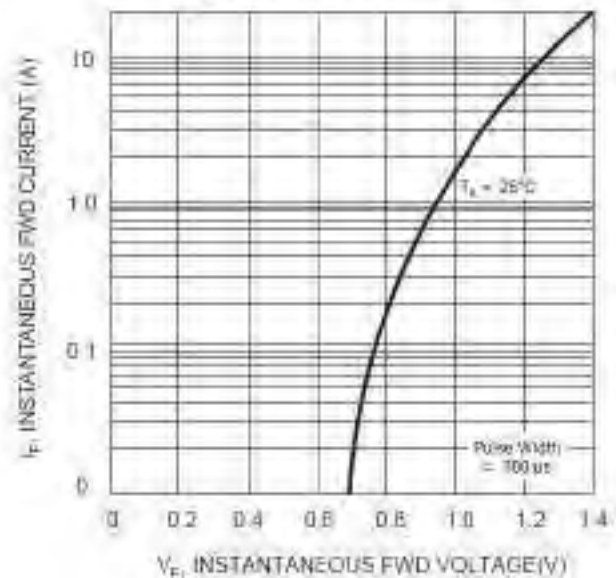


Fig. 2 Typical Fwd Characteristics



- China - Germany - Korea - Singapore - United States •
- <http://www.smc-diodes.com> - [sales@smc-diodes.com](mailto:sales@smc-diodes.com) •

## 5x25mm/ No. 241



## Indicator, 250V

### Time-Current Characteristic

Medium Time Lag (M)

### Standard

None

### Approvals

None

## Specifications

### Packaging

002: Pack (100 pcs.)

### Materials

Tube: Ceramic  
End Caps: Nickel-plated brass

### Operating Temperature

-25°C to +70°C (consider de-rating)

### Climatic Category

-25°C/+70°C/21 days (EN 60068-1..3)

### Stock Conditions

+10°C to +60°C  
relative humidity ≤ 75% yearly average,  
without dew

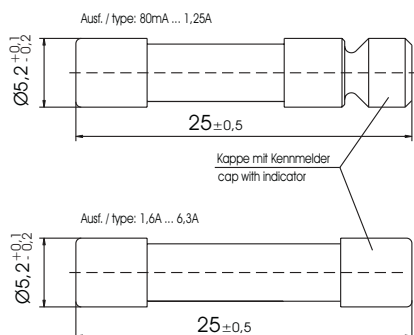
### Vibration Resistance

24 cycles at 15 min. each (EN 60068-2-6)  
10 - 60Hz at 0.75mm amplitude  
60 - 2000Hz at 10g acceleration

### Marking

M, Current Rating, 250V

## Dimensions (mm)



## Limits for Pre-arcing Time

Rated Current	$1.5 \times I_{Rated}$	$2.1 \times I_{Rated}$	$2.75 \times I_{Rated}$	$4 \times I_{Rated}$	$10 \times I_{Rated}$
80mA ... 100mA		<2min		40ms ... 500ms	5ms ... 70ms
125mA ... 1.25A	>1h	<2min	-	60ms ... 2s	5ms ... 70ms
1.6A ... 10A		<30min		60ms ... 2s	5ms ... 70ms

## Permissible continuous operating current is ≤ 80% at ambient temperature of 23°C (73.4°F).

Rated Current	Amp Code	Voltage Rating	Breaking Capacity	Voltage Drop $1.0 \times I_{Rated}$ max. (mV)	Power Dissipation $1.5 \times I_{Rated}$ max. (W)	Melting Integral $10 \times I_{Rated}$ min. (A <sup>2</sup> s)	color of indicator
80mA	0080	250V		520		0.015	grey
100mA	0100	250V		500		0.030	red
125mA	0125	250V		500		0.053	velvet
160mA	0160	250V	80A @ 250 V AC 50Hz	400		0.11	orange
200mA	0200	250V	cos φ = 1.0	400		0.23	blue
250mA	0250	250V		375		0.38	yellow
315mA	0315	250V		410		0.60	black
400mA	0400	250V		280		0.75	brown
500mA	0500	250V		250		1.5	white
630mA	0630	250V		220	on request	2.3	green
800mA <sup>4</sup>	0800	250V		400		3.0	grey
1A <sub>4</sub>	1100	250V		350		4.5	red
1.25A <sub>4</sub>	1125	250V		315		6.8	velvet
1.6A <sub>1</sub>	1160	250V		480		2.3	orange
2A <sub>1</sub>	1200	250V		360		4.5	blue
2.5A <sub>1</sub>	1250	250V	1500A @ 250 V AC 50Hz	300		7.5	yellow
3.15A <sub>1</sub>	1315	250V	cos φ = 0.7	250		30	black
4A <sub>1</sub>	1400	250V		180		34	brown
6.3A <sub>1</sub>	1630	250V		160		140	green
8A <sub>1 2</sub>	1800	250V		160		170	grey
10A <sub>1 2</sub>	2100	250V		150		260	red

<sup>1</sup> 1.6 ... 10A looks like No. 240 <sup>2</sup> not mentioned in the norms <sup>3</sup> operating temperature ≥ 10V <sup>4</sup> according to DIN 41576, T.2

Note: 1.00 means the number one with two decimal places. 1,000 means the number one thousand.

## Order Information

Qty.	Order-Number	Series	Amp Code	Packaging
		241		

# LM317M, NCV317MA, NCV317M

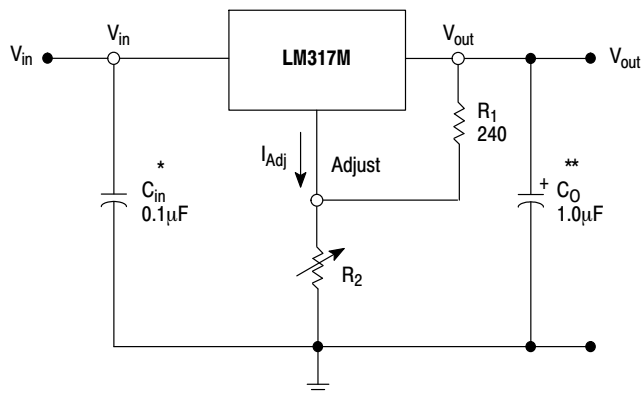
## 500 mA Adjustable Output, Positive Voltage Regulator

The LM317M is an adjustable three-terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 500 mA over an output voltage range of 1.2 V to 37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow-out proof.

The LM317M serves a wide variety of applications including local, on-card regulation. This device also makes an especially simple adjustable switching regulator, a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM317M can be used as a precision current regulator.

### Features

- Output Current in Excess of 500 mA
- Output Adjustable between 1.2 V and 37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Eliminates Stocking Many Fixed Voltages
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable
- These are Pb-Free Devices



\* =  $C_{in}$  is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.

\*\* =  $C_o$  is not needed for stability, however, it does improve transient response.

$$V_{out} = 1.25 V \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} R_2$$

Since  $I_{Adj}$  is controlled to less than 100  $\mu A$ , the error associated with this term is negligible in most applications.

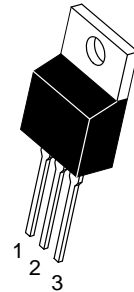
Figure 1. Simplified Application



[www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

Heatsink surface  
connected to Pin 2

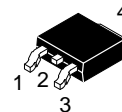
TO-220AB  
T SUFFIX  
CASE 221AB



SOT-223  
ST SUFFIX  
CASE 318E



DPAK  
DT SUFFIX  
CASE 369C



Heatsink Surface (shown as terminal 4 in  
case outline drawing) is connected to Pin 2.

### PIN ASSIGNMENT

PIN ASSIGNMENT	
1	Adjust
2	$V_{out}$
3	$V_{in}$

### ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

### DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.



## Cemented Leaded Wirewound Precision Resistors



### FEATURES

- High power dissipation in small volume
- Ideal for pulse application
- TCR  $\pm 100$  ppm/K
- Maximum permissible hot spot temperature is 275 °C
- Lead (Pb)-free
- Tolerance 1 %
- Material categorization: for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)



**RoHS**  
COMPLIANT  
HALOGEN  
**FREE**  
**GREEN**  
(5-2008)

The resistor element is a resistive wire which is wound in a single layer on a ceramic rod. Metal caps are pressed over the ends of the rod. The ends of the resistance wire and the leads are connected to the caps by welding. Tinned copper-clad iron leads with poor heat conductivity are employed permitting the use of relatively short leads to obtain stable mounting without overheating the solder joint.

The resistor is coated with a green silicon cement which is not resistant to aggressive fluxes. The coating is non-inflammable, will not drip even at high overloads and is resistant to most commonly used cleaning solvents, in accordance with IEC 60068-2-45.

### STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS

MODEL	POWER RATING $P_{25\text{ }^\circ\text{C}}$ W	LIMITING VOLTAGE $U_{\text{max.}}$	RESISTANCE RANGE <sup>(2)</sup> $\Omega$	TOLERANCE $\pm$ %
PAC01	1	$\sqrt{P \times R}$	0.10 to 2.2K	1
PAC02 <sup>(1)</sup>	2	$\sqrt{P \times R}$	0.10 to 3.6K	1
PAC03	3	$\sqrt{P \times R}$	0.10 to 4.7K	1
PAC04	4	$\sqrt{P \times R}$	0.10 to 8.2K	1
PAC05	5	$\sqrt{P \times R}$	0.10 to 12K	1
PAC06	6	$\sqrt{P \times R}$	0.10 to 12K	1

#### Notes

- For Pulse Diagrams see AC.. Series ([www.vishay.com/doc?28730](http://www.vishay.com/doc?28730))
- <sup>(1)</sup> PAC02 WSZ:  $P_{25\text{ }^\circ\text{C}} = 1.8$  W
- <sup>(2)</sup> Resistance value to be selected for  $\pm 1$  % tolerance from E24 and E96

# CF/CFM Series

## Carbon Film Resistor

Stackpole Electronics, Inc.  
Resistive Product Solutions

- Features:
- General purpose resistor ideal for commercial/industrial applications
  - Flame retardant coatings standard
  - Flameproof version available as CFF
  - Panasert available on selected sizes; contact factory
  - Auto sequencing/insertion compatible
  - CFM (mini) ideal choice when size constraints apply
  - Cut and formed product is available on select sizes; contact factory
  - Standard lead wire for CF/CFM is copper plated steel, with 100% tin over plate
  - 100% tin plate on copper wire is available as type CFQ/CFQM
  - RoHS compliant, lead-free and halogen-free

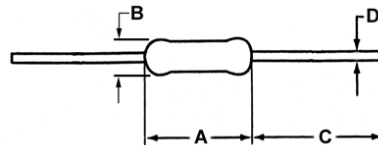


### Electrical Specifications

Type/Code	Power Rating (Watts) @ 70°C	Maximum Working Voltage <sup>(1)</sup>	Maximum Overload Voltage	Dielectric Withstanding Voltage	Resistance Temperature Coefficient per Ohmic Range	Ohmic Range (Ω) and Tolerance	
						2%	5%
CF18	0.125W	250V	500V	350V	$<10\Omega = \pm 400\text{ppm}/^\circ\text{C}$ $10\Omega \text{ to } 9.99\text{K}\Omega = 0 \sim -400\text{ppm}/^\circ\text{C}$ $10\text{K}\Omega \text{ to } 99\text{K}\Omega = 0 \sim -500\text{ppm}/^\circ\text{C}$ $100\text{K}\Omega \text{ to } 999\text{K}\Omega = 0 \sim -850\text{ppm}/^\circ\text{C}$ $1\text{M}\Omega \text{ and above} = 0 \sim -1500\text{ppm}/^\circ\text{C}$	10 - 1M	1 - 22M
CF14	0.25W	350V	600V	350V		1 - 1M	
CF12	0.5W	350V	700V	600V		10 - 1M	
CF1	1W	500V	1,000V	600V		1 - 1M	1 - 10M
CF2	2W	500V	1,000V	600V			
CFM14	0.25W	250V	500V	350V			
CFM12	0.5W	350V	600V	350V			
CFM1	1W	600V	1,000V	600V			

(1) Lesser of  $\sqrt{P \cdot R}$  or maximum working voltage.

### Mechanical Specifications



Type/Code	A Body Length	B Body Diameter	C Lead Length (Bulk)	D - Lead Diameter CF/CFM	D - Lead Diameter CFQ/CFQM	Unit
CF/CFQ18	0.130 ± 0.012 3.30 ± 0.30	0.067 ± 0.012 1.70 ± 0.30	1.102 ± 0.118 28.00 ± 3.00	0.016 ± 0.003 0.40 ± 0.08	0.018 ± 0.003 0.45 ± 0.08	inches mm
CF/CFQ14	0.236 ± 0.012 6.00 ± 0.30	0.091 ± 0.012 2.30 ± 0.30	1.102 ± 0.118 28.00 ± 3.00	0.022 ± 0.003 0.55 ± 0.08	0.022 ± 0.003 0.55 ± 0.08	inches mm
CF/CFQ12	0.335 ± 0.039 8.50 ± 1.00	0.106 ± 0.020 2.70 ± 0.50	1.102 ± 0.118 28.00 ± 3.00	0.022 ± 0.003 0.55 ± 0.08	0.028 ± 0.004 0.70 ± 0.10	inches mm
CF/CFQ1	0.433 ± 0.039 11.00 ± 1.00	0.177 ± 0.020 4.50 ± 0.50	1.181 ± 0.118 30.00 ± 3.00	0.031 ± 0.004 0.80 ± 0.10	0.031 ± 0.004 0.80 ± 0.10	inches mm
CF/CFQ2	0.591 ± 0.039 15.00 ± 1.00	0.197 ± 0.020 5.00 ± 0.50	1.339 ± 0.157 34.00 ± 4.00	0.031 ± 0.004 0.80 ± 0.10	0.031 ± 0.004 0.80 ± 0.10	inches mm
CFM/CFQM14	0.130 ± 0.012 3.30 ± 0.30	0.067 ± 0.012 1.70 ± 0.30	1.102 ± 0.118 28.00 ± 3.00	0.016 ± 0.003 0.40 ± 0.08	0.018 ± 0.003 0.45 ± 0.08	inches mm
CFM/CFQM12	0.236 ± 0.012 6.00 ± 0.30	0.091 ± 0.012 2.30 ± 0.30	1.102 ± 0.118 28.00 ± 3.00	0.022 ± 0.003 0.55 ± 0.08	0.022 ± 0.003 0.55 ± 0.08	inches mm
CFM/CFQM1	0.354 ± 0.020 9.00 ± 0.50	0.138 ± 0.020 3.50 ± 0.50	1.102 ± 0.118 28.00 ± 3.00	0.028 ± 0.002 0.70 ± 0.05	0.028 ± 0.002 0.70 ± 0.05	inches mm

# Split/Tran™, Specialty Purpose & Class 2 Transformers • Printed Circuit Mount



## Split Bobbin with High Isolation



Signal's ST and DST transformers use a split bobbin that provides superior isolation and low capacitive coupling.

### General Specifications

- Power - 1.1 VA to 36 VA
- Dielectric Strength - 2500 Vrms Hipot
- Primaries - Single or dual primaries, 115 V or 115/230 V, 50/60 Hz
- Secondaries - Series or parallel
- Electrostatic Shield - Not necessary, split bobbin construction
- Insulation System - Class B, 130° C
- Mounting Hardware - see chart

### Agency Certifications

- UL 1446 Class B insulation systems, File # E66312
- UL Recognized 506 / UL 5085-1, 2, File # E63829
- CSA certified to C22.2 #66.1, File # 221070
- cCSAus certified to C22.2 #66.3 / UL 5085-3, File #221070
- Class 2 – marked with (\*) or (\*\*) or (#)
- \*\*CSA certified as Inherently Limited

\* CSA certified as Non Inherently Limited – see recommended fuse rating on next page  
# UL Recognized UL5085-3, Inherently Limited File # E116583



Part Number		Secondary RMS Rating	
Single 115V 6 Pin	Dual 115/230V 8 Pin	Series	Parallel
ST-2-10**	DST-2-10**	10VCT @ 0.11A	5V @ 0.22A
ST-3-10*	DST-3-10*	10VCT @ 0.25A (5)	5V @ 0.5A (9)
ST-4-10*	DST-4-10*	10VCT @ 0.6A (9)	5V @ 1.2A (11)
ST-5-10*	DST-5-10*	10VCT @ 1.2A (11)	5V @ 2.4A (12)
ST-6-10	DST-6-10	10VCT @ 2.0A	5V @ 4.0A
ST-7-10	DST-7-10	10VCT @ 3.6A	5V @ 7.2A
ST-2-12**	DST-2-12**	12.6VCT @ 0.09A	6.3V @ 0.18A
ST-3-12*	DST-3-12*	12.6VCT @ 0.2A (4)	6.3V @ 0.4A (8)
ST-4-12*	DST-4-12*	12.6VCT @ 0.5A (9)	6.3V @ 1.0A (11)
ST-5-12*	DST-5-12*	12.6VCT @ 1.0A (11)	6.3V @ 2.0A (13)
ST-6-12	DST-6-12	12.6VCT @ 1.6A	6.3V @ 3.2A
ST-7-12	DST-7-12	12.6VCT @ 2.85A	6.3V @ 5.7A
ST-2-16**	DST-2-16**	16VCT @ 0.07A	8V @ 0.14A
ST-3-16*	DST-3-16*	16VCT @ 0.15A (3)	8V @ 0.3A (6)
ST-4-16*	DST-4-16*#	16VCT @ 0.4A (7)	8V @ 0.8A (10)
ST-5-16*	DST-5-16*	16VCT @ 0.8A (10)	8V @ 1.6A (11)
ST-6-16	DST-6-16	16VCT @ 1.25A	8V @ 2.5A
ST-7-16	DST-7-16	16VCT @ 2.25A	8V @ 4.5A
ST-2-20**	DST-2-20**	20VCT @ 0.055A	10V @ 0.11A
ST-3-20*	DST-3-20*	20VCT @ 0.12A (2)	10V @ 0.24A (5)
ST-4-20*	DST-4-20*	20VCT @ 0.3A (6)	10V @ 0.6A (9)
ST-5-20*	DST-5-20*	20VCT @ 0.6A (9)	10V @ 1.2A (11)
ST-6-20	DST-6-20	20VCT @ 1.0A	10V @ 2.0A
ST-7-20	DST-7-20	20VCT @ 1.8A	10V @ 3.6A
ST-2-24**	DST-2-24**	24VCT @ 0.045A	12V @ 0.09A
ST-3-24*	DST-3-24*	24VCT @ 0.1A (1)	12V @ 0.2A (4)
ST-4-24*	DST-4-24*#	24VCT @ 0.25A (5)	12V @ 0.5A (9)
ST-5-24*	DST-5-24*#	24VCT @ 0.5A (9)	12V @ 1.0A (11)
ST-6-24	DST-6-24	24VCT @ 0.8A	12V @ 1.6A
ST-7-24	DST-7-24	24VCT @ 1.5A	12V @ 3.0A

Part Number		Secondary RMS Rating	
Single 115V 6 Pin	Dual 115/230V 8 Pin	Series	Parallel
ST-2-28	DST-2-28	28VCT @ 0.04A	14V @ 0.08A
ST-3-28	DST-3-28	28VCT @ 0.085A	14V @ 0.17A
ST-4-28	DST-4-28	28VCT @ 0.2A	14V @ 0.4A
ST-5-28	DST-5-28	28VCT @ 0.42A	14V @ 0.84A
ST-6-28	DST-6-28	28VCT @ 0.7A	14V @ 1.4A
ST-7-28	DST-7-28	28VCT @ 1.3A	14V @ 2.6A
ST-2-36	DST-2-36	36VCT @ 0.03A	18V @ 0.06A
ST-3-36	DST-3-36	36VCT @ 0.065A	18V @ 0.13A
ST-4-36	DST-4-36	36VCT @ 0.17A	18V @ 0.34A
ST-5-36	DST-5-36	36VCT @ 0.35A	18V @ 0.7A
ST-6-36	DST-6-36	36VCT @ 0.55A	18V @ 1.1A
ST-7-36	DST-7-36	36VCT @ 1.0A	18V @ 2.0A
ST-2-48	DST-2-48	48VCT @ 0.023A	24V @ 0.046A
ST-3-48	DST-3-48	48VCT @ 0.05A	24V @ 0.1A
ST-4-48	DST-4-48	48VCT @ 0.125A	24V @ 0.25A
ST-5-48	DST-5-48	48VCT @ 0.25A	24V @ 0.5A
ST-6-48	DST-6-48	48VCT @ 0.4A	24V @ 0.8A
ST-7-48	DST-7-48	48VCT @ 0.75A	24V @ 1.5A
ST-2-56	DST-2-56	56VCT @ 0.02A	28V @ 0.04A
ST-3-56	DST-3-56	56VCT @ 0.045A	28V @ 0.09A
ST-4-56	DST-4-56	56VCT @ 0.11A	28V @ 0.22A
ST-5-56	DST-5-56	56VCT @ 0.22A	28V @ 0.44A
ST-6-56	DST-6-56	56VCT @ 0.35A	28V @ 0.7A
ST-7-56	DST-7-56	56VCT @ 0.65A	28V @ 1.3A
ST-2-120	DST-2-120	120VCT @ 0.01A	60V @ 0.02A
ST-3-120	DST-3-120	120VCT @ 0.02A	60V @ 0.04A
ST-4-120	DST-4-120	120VCT @ 0.05A	60V @ 0.1A
ST-5-120	DST-5-120	120VCT @ 0.1A	60V @ 0.2A
ST-6-120	DST-6-120	120VCT @ 0.16A	60V @ 0.32A
ST-7-120	DST-7-120	120VCT @ 0.3A	60V @ 0.6A

Custom versions available upon request.

©2015 Signal Transformer Inc. Specifications subject to change without notice. 07.15



# Hypertherm®

## Powermax125®

Professional-grade plasma metal cutting and gouging system for handheld cutting 1½" and mechanized piercing 1".



Capacity	Thickness	Cut speed
	Cutting	
Recommended	1-1/2"	18 ipm
	1-3/4"	10 ipm
Severance (hand cutting)	2-1/4"	5 ipm
Pierce*	1"	

\* Pierce rating for handheld use or with automatic torch height control

Capacity	Metal removal rate	Groove profile*
	Gouging	
Typical gouge	27.6 lbs/hr	0.17-0.31" D x 0.24-0.39" W

\* Actual groove profile varies with torch angle, arc stretch, and technique

### Maximum productivity

- Finish jobs faster with cut speeds 5 times greater than oxyfuel on 1/2" mild steel.
- Spend less time on grinding and edge preparation due to superior cut and gouge quality.
- Maximize your cutting time with 100% duty cycle.

### Low operating costs

- Reduce costs with consumable life up to four times longer than other systems in this amperage range.
- Electrode end-of-life detection protects the torch and workpiece from damage by automatically stopping power when the electrode is overused.

### Easy-to-use for cutting and gouging

- No need to change the air pressure. Smart Sense™ technology ensures that it is always correctly set.
- Tackle different jobs with multiple, easy-to-use torch styles.

### Built and tested to withstand the harshest conditions

- Duramax® Hyamp™ torches are designed for high-impact and heat resistance.
- SpringStart™ technology ensures consistent starting and a more reliable torch.
- Low maintenance maximizes uptime.

### Duramax® Hyamp™ standard torch styles

(for more torch options, see [www.hypertherm.com](http://www.hypertherm.com))



85° hand torch



15° hand torch

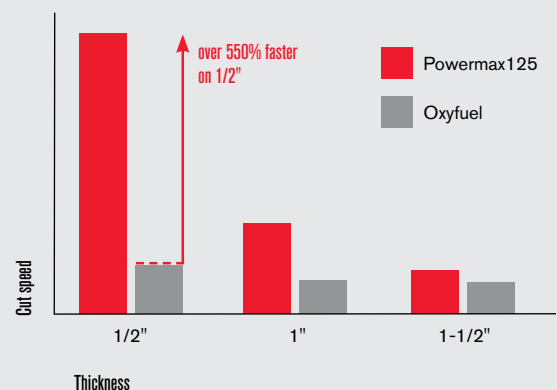


180° mini machine torch



180° full-length machine torch

### Relative cut performance on mild steel



**Specifications**

Input voltages	480/600 V, 3-PH, 50/60 Hz
Kilowatt output	21.9 kW
Input current @ 21.9 kW	480/600 V, 31/24 A
Output current	30-125 A
Rated output voltage	175 VDC
Duty cycle @ 104° F	100% @ 125 A, 480/600 V, 3-PH
Open circuit voltage (OCV)	320 VDC
Dimensions with handles	23.3" D; 10.8" W; 20.0" H
Weight w/25' torch	480 V 105.7 lbs 600 V 104.7 lbs
Gas supply	Clean, dry, oil-free air or nitrogen
Recommended gas inlet flow rate/pressure	Cutting: 260 l/min (550 scfh) @ 5.9 bar (85 psi) Gouging: 212 l/min (450 scfh) @ 4.1 bar (60 psi)
Input power cable length	10'
Power supply type	Inverter - IGBT
Engine drive requirement	40 kW for full 125 A output
Certifications	CSA-certified for use in the Americas and Asia, except China.
Warranty	Power supplies have a 3-year warranty and torches a 1-year warranty.



**Ordering information**

Below are the standard system configurations, which include a power supply, torch and work cable.

		85° hand torch		85° and 15° hand torch		180° full-length machine torch						180° full-length machine torch and 85° hand torch
		25'	50'	25'	50'	25'		50'			50'/25'	
Power supplies	Voltage configuration			without remote pendant	with remote pendant	without remote pendant	with I/O cables (no pendant)	with remote pendant	without remote pendant	with I/O cables (no pendant)	with remote pendant	
Power supply with CPC port and voltage divider	480 V	059536	059537	059538	059569	059539		059540			059541	
	600 V	059546	059547	059555	059570	059552		059553			059554	
Power supply with CPC port, voltage divider, and serial port	480 V						059542	059544		059543	059545	
	600 V						059550	059548		059551	059549	

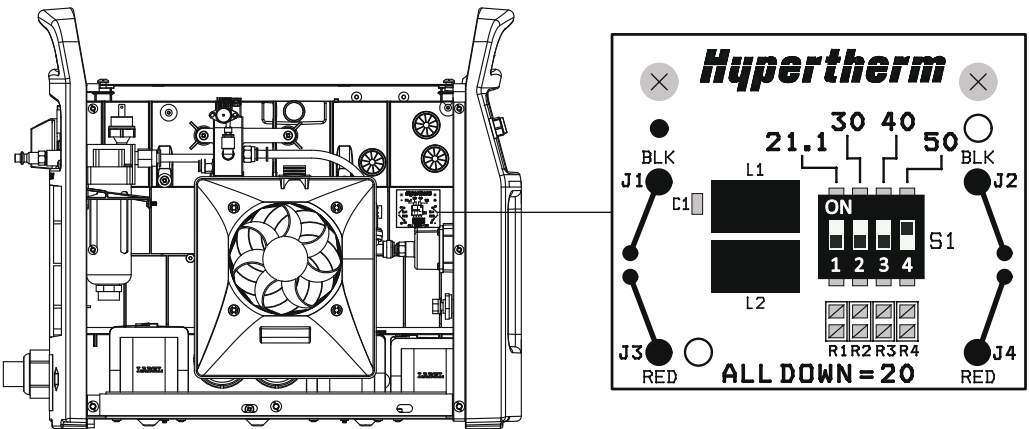


**Setting the five-position voltage divider on the Powermax65/85**

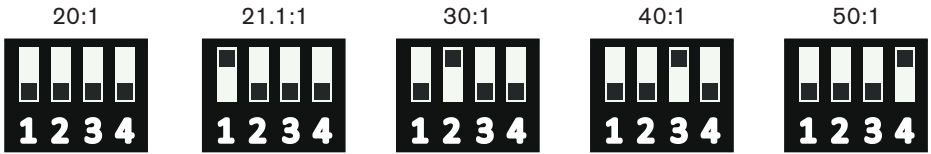
The factory presets the voltage divider to 50:1. To change the voltage divider to a different setting:

1. Turn OFF the power supply and disconnect the power cord.
2. Remove the power supply cover.
3. Remove the component barrier from the left side of the power supply.
4. Locate the voltage divider DIP switches on the left side of the power supply.

The figure below shows the default setting (50:1) with the number 4 switch up.



5. Set the DIP switches to one of the following settings.



6. Replace the component barrier. Be careful to get the barrier inside the frame without pinching any wires.
7. Replace the power supply cover.

## INTERFACE CABLE REPLACEMENT

---

### Connect the machine interface cable

This field service bulletin covers the installation of a 25 ft (7.6 m) or 50 ft (15.2 m) machine interface cable terminated with spade connectors. If you want to connect the Powermax system to Hypertherm's Edge Ti or Sensor PHC products, order part number 123896 for a cable already terminated with the appropriate D-sub connector.

Note: The cover on the machine interface receptacle prevents dust and moisture from damaging the receptacle when not in use. This cover should be replaced if damaged or lost (part number 127204).

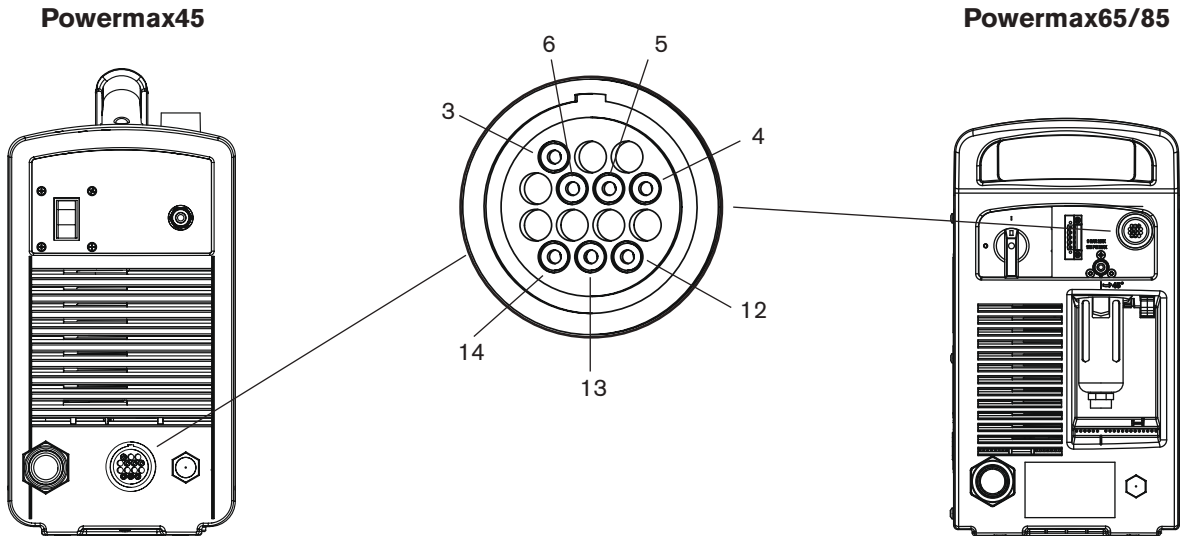
Installation of the machine interface cable must be performed by a qualified service technician. To install a machine interface cable:

1. Turn OFF the power and disconnect the power cord.
2. Remove the machine interface receptacle's cover from the rear of the power supply.
3. Connect the Hypertherm machine interface cable to the power supply.
4. Terminate the machine interface cable inside the electrical enclosure of listed and certified torch height controllers or CNC controllers to prevent unauthorized access to the connections after installation. Verify that the connections are correct and that all live parts are enclosed and protected before operating the equipment.

Note: The integration of Hypertherm equipment and customer-supplied equipment including interconnecting cords and cables, if not listed and certified as a system, is subject to inspection by local authorities at the final installation site.

The connector sockets for each type of signal available through the machine interface cable are shown below. The table on the next page provides details about each signal type.

**INTERFACE CABLE REPLACEMENT**



Refer to the following table when connecting the Powermax system to a torch height controller or CNC controller with a machine interface cable.

Signal	Type	Notes	Connector sockets	Cable wires
Start (start plasma)	Input	Normally open. 18 VDC open circuit voltage at START terminals. Requires dry contact closure to activate.	3, 4	Green, black
Transfer (start machine motion)	Output	Normally open. Dry contact closure when the arc transfers. 120 VAC/1 A maximum at the machine interface relay or switching device (supplied by the customer).	12, 14	Red, black
Ground	Ground		13	
Voltage divider	Output	Powermax45: Divided arc signal of 50:1 (provides a maximum of 7 V)  Powermax65/85: Divided arc signal of 20:1, 21.1:1, 30:1, 40:1, 50:1 (provides a maximum of 18 V).	5 (-), 6 (+)	Black (-), white (+)

# **Hypertherm®**

## **Powermax125®**

Plasma Arc Cutting System

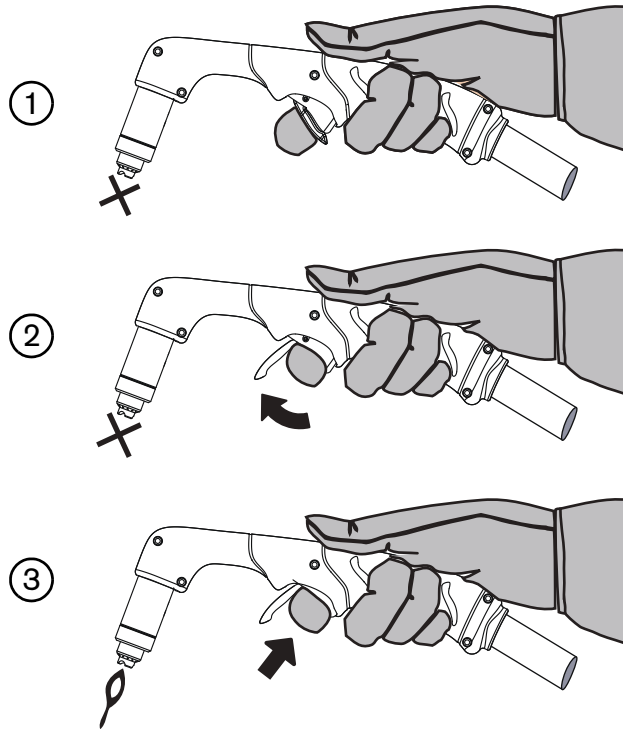


Operator Manual

808080 | Revision 3 | English

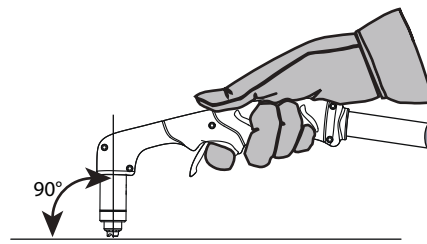
## Operate the safety trigger

The hand torches are equipped with a safety trigger to prevent accidental firings. When you are ready to use the torch, flip the trigger's safety cover forward (toward the torch head) and press the red torch trigger.



## Hand torch cutting guidelines

- Drag the torch tip lightly along the workpiece to maintain a steady cut.
- While cutting, make sure that sparks exit from the bottom of the workpiece. The sparks should lag slightly behind the torch as you cut (15 – 30° angle from vertical).
- If sparks spray up from the workpiece, move the torch more slowly, or set the output current higher.
- With either hand torch, hold the torch nozzle perpendicular to the workpiece so that the nozzle is at a 90° angle to the cutting surface. Observe the cutting arc as the torch cuts.

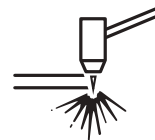


- If you fire the torch unnecessarily, you will shorten the life of the nozzle and electrode.



- Pulling, or dragging, the torch along the cut is easier than pushing it.
- For straight-line cuts, use a straight edge as a guide. To cut circles, use a template or a radius cutter attachment (a circle cutting guide).

### Start a cut from the edge of the workpiece



1. With the ground clamp attached to the workpiece, hold the torch nozzle perpendicular (90°) to the edge of the workpiece.



2. Press the torch's trigger to start the arc. Pause at the edge until the arc has cut completely through the workpiece.

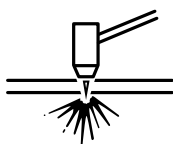


## 5 – Hand Cutting

3. Drag the torch tip lightly across the workpiece to proceed with the cut. Maintain a steady, even pace.



### Pierce a workpiece

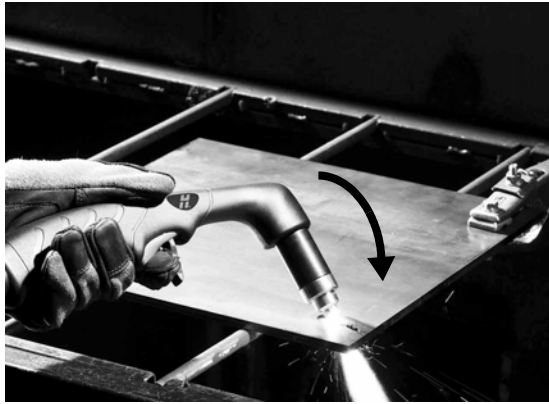


		<p><b>WARNING!</b></p> <p><b>SPARKS AND HOT METAL CAN INJURE EYES AND BURN SKIN</b></p>
<p><b>When firing the torch at an angle, sparks and hot metal will spray out from the nozzle. Point the torch away from yourself and others. Always wear proper protective equipment including gloves and eye protection.</b></p>		

1. With the ground clamp attached to the workpiece, hold the torch at an approximate 30° angle to the workpiece with the torch tip within 1.5 mm (1/16 inch) of the workpiece before firing the torch.



2. Fire the torch while still at an angle to the workpiece. Slowly rotate the torch to a perpendicular (90°) position.

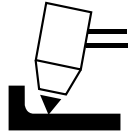


3. Hold the torch in place while continuing to press the trigger. When sparks exit below the workpiece, the arc has pierced the material.



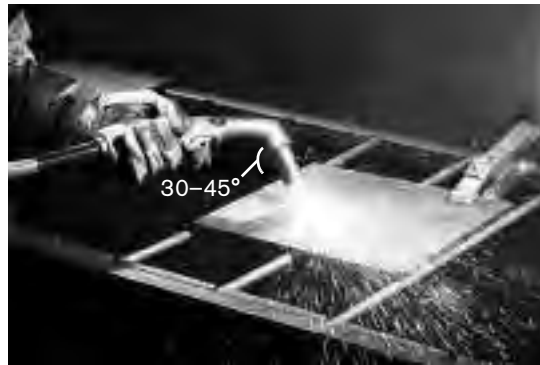
4. When the pierce is complete, drag the nozzle lightly along the workpiece to proceed with the cut.

## Gouge a workpiece

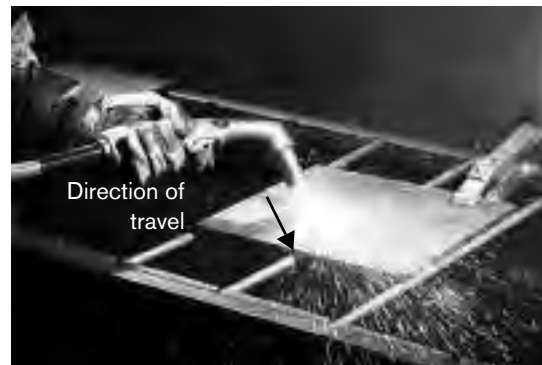


		<p><b>WARNING!</b></p> <p><b>SPARKS AND HOT METAL CAN INJURE EYES AND BURN SKIN</b></p>
<p><b>When firing the torch at an angle, sparks and hot metal will spray out from the nozzle. Point the torch away from yourself and others. Always wear proper protective equipment including gloves and eye protection.</b></p>		

1. Hold the torch so that the torch tip is slightly above the workpiece before firing the torch.
2. Hold the torch at a 30 – 45° angle to the workpiece, with a small gap between the torch tip and the workpiece. Press the trigger to obtain a pilot arc. Transfer the arc to the workpiece.



3. Change the torch's angle as needed to achieve the desired dimensions for the gouge. Refer to *Varying the gouge profile* on page 60 and *125 A gouging profile chart* on page 60.
4. Maintain the same angle to the workpiece as you feed into the gouge. Push the plasma arc in the direction of the gouge you want to create. Keep a small distance between the torch tip and the molten metal to avoid reducing consumable life or damaging the torch.



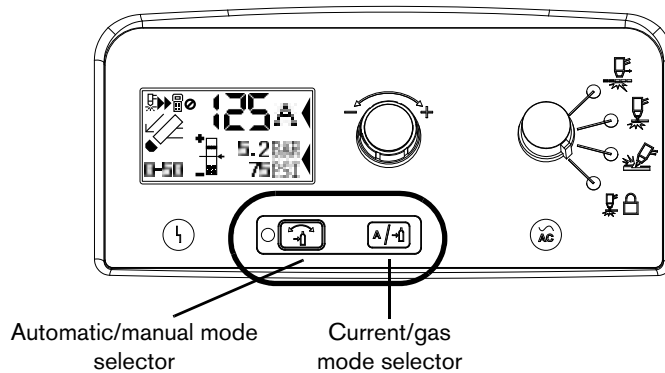
## 8 – Maintenance and Repair

### Display the service screen

You can view system information that aids troubleshooting by accessing the service screen. This screen displays recent fault codes, arc hours, the software version your system is running, and several additional details. You can also run a gas test from this screen.

For example, if a fault code displays on the status screen (in the format *N-nn*) while you are operating the system, you can check the service screen for an additional four-digit fault code (in the format *N-nn-n*). If qualified service technicians must service the system, these four-digit fault codes help them diagnose the problem.

To display the service screen, simultaneously press the automatic/manual and current/gas mode selectors for approximately two seconds.



To navigate the service screen, move the field selector (\*) between fields by pressing the current/gas mode selector. The asterisk (\*) indicates the selected field.


To exit the service screen, simultaneously press the automatic/manual and current/gas mode selectors. The operator screen displays.



Designator	Description
I	Current set/read
C	LCD contrast
B	LCD brightness (percent)
P	Pressure set/read
G	Gas test enable (1)/disable (0)

Designator	Description
VL	Incoming AC line voltage
TI	Inverter module temperature (°C)
VB	DC bus voltage
AH	Arc hours
F	Live four-digit fault code for diagnosing system errors
T	Torch identifier (amperage/hand (H) or machine (M)/lead length in feet)
S	DSP/control board software versions
(callouts 1 – 6)	Fault log of recent fault codes recorded by the system (0-00-0) and the last three digits of the arc hour count when the fault occurred (000).

### Run a gas test

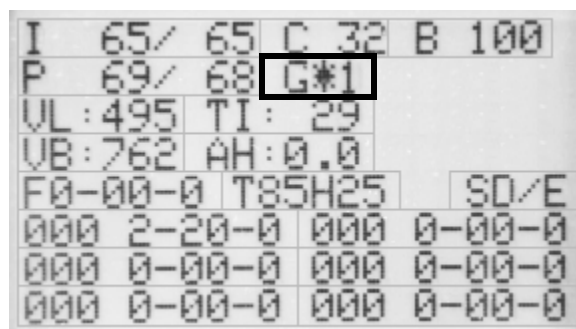


CAUTION!

**Point the torch away from you before performing a gas test. Always keep hands, clothes, and objects clear of the torch tip, and never point the torch toward yourself or others.**

1. Display the service screen by simultaneously pressing the automatic/manual and current/gas mode selectors for approximately two seconds.
2. Select the gas test field by pressing the current/gas mode selector until the asterisk (\*) is next to the "G."
3. Use the adjustment knob to set the gas test field from 0 to 1.

If gas does not flow, call your Hypertherm distributor or authorized Hypertherm repair facility, or call the nearest Hypertherm office listed in the front of this manual.

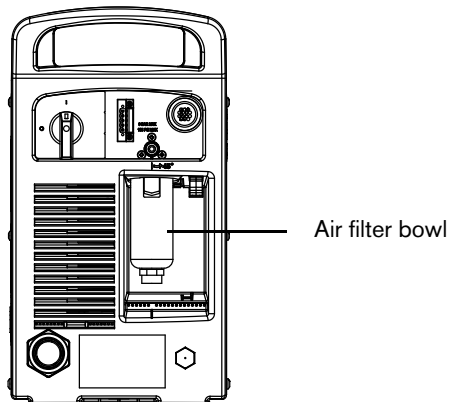


4. Use the adjustment knob to set the gas test field back to 0.
5. Simultaneously press the automatic/manual and current/gas mode selectors to exit the service screen.

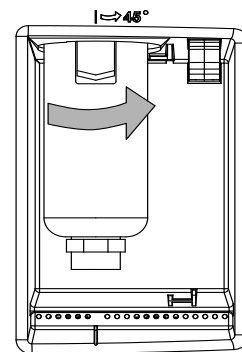
## Replace the air filter element and air filter bowl

### Remove the air filter bowl

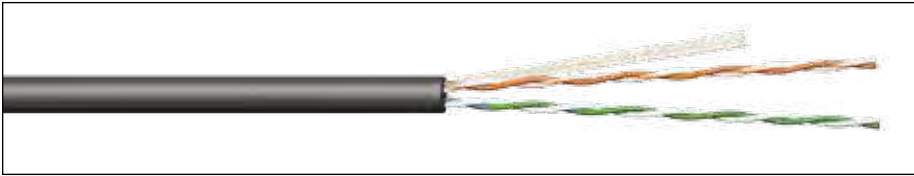
1. Turn OFF the power, disconnect the power cord, and make sure the gas supply is disconnected. Position the rear of the power supply so the removable gas filter bowl is easily accessible.



2. If the consumables case is positioned next to the air filter bowl, remove it first.
3. Grasp the filter bowl with your right hand. Push down the thumb latch and turn the filter bowl approximately 45 degrees to the right.
4. Pull the filter bowl straight down to remove.



# Industrial Ethernet Category 5e - 2 Pair Unshielded Twisted Pair Cable



**Applications:**

- IEEE 802.3: 100 BASE-TX, 10 BASE-T, PoE, PoE+
- CDDI, Token Ring, ATM
- Broadband and Baseband Analog Video
- Voice, T1
- Harsh Industrial Environments
- ODVA EtherNet/IP™

**Compliances:**

- UL Verified to ANSI/TIA 568-C.2 Category 5e
- NEC/CEC Type: UL Listed CMX OUTDOOR - CMR
- NEC/CEC Type CMR (UL 1666)
- UL AWM Style 21047 (UL: 75°C, 600 V)
- UV RES per UL 444
- RoHS II Compliant (EU DIRECTIVE 2011/65/EU)

**Features and Benefits:**

- Third-party verified for guaranteed performance
- TRU-Mark® print legend
- Industrial-grade oil- and sunlight-resistant jacket

**Print Legend:**

\*\*\*\*GENERAL CABLE\* GCR1402 INDUSTRIAL CAT 5E 2PR/24AWG RISER C(UL)US CMX OUTDOOR - CMR 75C UV RES---VERIFIED (UL) ANSI/TIA-568C.2 CAT-5E AWM 21047 75C 600 V---FT4 OIL RES ODVA ETHERNET/IP (TM) VEN 1293 PAT 5767441 ##-## ##### CAT 5E

CATALOG NUMBER	SPEC NUMBER	NOMINAL O.D.		CABLE WEIGHT MFT		NO. PAIRS	COND. AWG SIZE	PAIR COLOR CODE	INSULATION MATERIAL	SHIELD COVERAGE	RIPCORD	JACKET MATERIAL	JACKET THICKNESS		JACKET COLORS
		INCHES	mm	LBS	kg								INCHES	mm	
GCR1402	7507	0.200	5.080	18	8	2	24	1: Orange/White, Orange 2: Green/White, Green	HDPE	Unshielded	Polyester	Oil- and Sunlight-Resistant PVC	0.032	0.813	Red, Black

Frequency (MHz)	Insertion Loss (dB/100 m)	Next (dB)	PSNext (dB)	ACR (dB/100 m)	PSACR (dB/100 m)	ACRF (dB/100 m)	PSACRF (dB/100 m)	Return Loss (dB)
	max.	min.	min.	min.	min.	min.	min.	min.
1	2.0	65.3	62.3	63.3	60.3	63.8	60.8	20.0
4	4.1	56.3	53.3	52.2	49.2	51.7	48.7	23.6
10	6.5	50.3	47.3	43.8	40.8	43.8	40.8	26.0
16	8.2	47.3	44.3	39.0	36.1	39.7	36.7	26.0
20	9.3	45.8	42.8	36.5	33.5	37.7	34.7	26.0
25	10.4	44.3	41.3	33.9	30.9	35.8	32.8	25.5
31.25	11.7	42.9	39.9	31.2	28.2	33.9	30.9	25.0
62.5	17.0	38.4	35.4	21.4	18.4	27.8	24.8	23.5
100	22.0	35.3	32.3	13.3	10.3	23.8	20.8	22.5
155	28.1	32.4	29.4	4.4	1.4	20.0	17.0	18.8
200	32.4	30.8	27.8	—	—	17.8	14.8	18.0
250	36.9	29.3	26.3	—	—	15.8	12.8	17.3
300	41.0	28.1	25.1	—	—	14.3	11.3	16.6
350	44.9	27.1	24.1	—	—	12.9	9.9	16.3

Values over 200 Mhz are for informational purposes.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Maximum DC Resistance	8.9 Ohms/100 m @ 20° C
Maximum DC Resistance Unbalance, Ind Pair	3%
Maximum Mutual Capacitance	17 pF/ft @ 1 KHz
Maximum Delay Skew	45 ns/100 m
Nominal Velocity of Propagation	70% Speed of Light
Characteristic Impedance (Frequency 1-200 MHz)	Ohms: 100±15

**MECHANICAL CHARACTERISTICS**

Maximum Pulling Force	20 lbs.
Minimum Bend Radius	0.25"
Installation Temperature Rating	-20°C to +75°C
Operation Temperature Rating	-40°C to +75°C



# Industrial Ethernet Category 5e Interlocking Armored Cable



**Applications:**

- IEEE 802.3: 100 BASE-TX, 10 BASE-T, PoE, PoE+
- CDDI, Token Ring, ATM
- Broadband and Baseband Analog Video
- Voice, T1
- Harsh Industrial Environments
- ODVA EtherNet/IP™

**Compliances:**

- UL Verified to ANSI/TIA 568-C.2 Category 5e
- NEC/CEC Type: UL Listed CMX OUTDOOR - CMR
- NEC/CEC Type CMR (UL 1666)
- UL AWM Style 21047 (UL: 75°C, 600 V)
- UV RES per UL 444
- RoHS II Compliant (EU DIRECTIVE 2011/65/EU)

**Features and Benefits:**

- Protects against environmental elements that can cause electrical performance failures
- TRU-Mark® print legend contains footage markings from 1000' to 0'
- Prevents moisture migration
- Made in U.S.A.

**Print Legend:**

\*\*\* GENERAL CABLE F GCR1410 INDUSTRIAL ARMORED CAT 5E 4PR/24AWG RISER C(UL) US CMX OUTDOOR - CMR 75C UV RES VERIFIED (UL) ANSI/TIA-568C.2 CAT 5E AWM 21074 75C 600 V---FT4 OIL RES ODVA ETHERNET/IP™ VEN 1293 PAT 5767441 ##### CAT 5E

CATALOG NUMBER	SPEC NUMBER	NOMINAL O.D.		CABLE WEIGHT MFT		NO. PAIRS	COND. AWG SIZE	PAIR COLOR CODE	INSULATION MATERIAL	SHIELD COVERAGE	RIPCORD	JACKET MATERIAL	JACKET THICKNESS		JACKET COLORS
		INCHES	mm	LBS	kg								INCHES	mm	
GCR1410	7508	0.270	6.858	34	15	4	24	1: Blue/White, Blue 2: Orange/White, Orange 3: Green/White, Green 4: Brown/White, Brown	HDPE	Unshielded	Polyester	Oil- and Sunlight-Resistant PVC	0.032	0.813	Red, Black

Frequency (MHz)	Insertion Loss (dB/100 m)		Next (dB)		PSNext (dB)		ACR* (dB/100 m)		PSACR* (dB/100 m)		ACRF (dB/100 m)		PSACRF (dB/100 m)		Return Loss (dB)	
	max.		min.		min.		min.		min.		min.		min.		min.	
1	2.0	65.3	62.3	63.3	60.3	63.8	60.8	20.0								
4	4.1	56.3	53.3	52.2	49.2	51.7	48.8	23.0								
10	6.5	50.3	47.3	43.8	40.8	43.8	40.8	25.0								
16	8.2	47.2	44.2	39.0	36.0	39.7	36.7	25.0								
20	9.3	45.8	42.8	36.5	33.5	37.7	34.7	25.0								
25	10.4	44.3	41.3	33.9	30.9	35.8	32.8	24.3								
31.25	11.7	42.9	39.9	31.2	28.2	33.9	30.9	23.6								
62.5	17.0	38.4	35.4	21.4	18.4	27.8	24.8	21.5								
100	22.0	35.3	32.3	13.3	10.3	23.8	20.8	20.1								
155	28.1	32.4	29.4	4.4	1.4	20.0	17.0	-								
200	32.4	30.8	27.8	-	-	17.8	14.8	-								
250	36.9	29.3	26.3	-	-	15.8	12.8	-								
300	41.0	28.1	25.1	-	-	14.3	11.3	-								
350	44.9	27.1	24.1	-	-	12.9	9.9	-								

Values above 100 MHz are for informational purposes.  
\*PSACR & ACR not specified in ANSI/TIA 568-C.2.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Maximum DC Resistance	9.38 Ohms/100 m @ 20° C
Maximum DC Resistance Unbalance, Ind Pair	3%
Maximum Mutual Capacitance	17 pF/ft @ 1 KHz
Maximum Delay Skew	45 ns/100 m
Nominal Velocity of Propagation	69% Speed of Light
Characteristic Impedence (Frequency 1-100 MHz)	Ohms: 100±15

**MECHANICAL CHARACTERISTICS**

Nominal Cable Diameter	0.340"
Nominal Cable Weight	50 lbs.
Maximum Pulling Force	25 lbs.
Minimum Bend Radius	1.00"
Installation Temperature Rating	-30°C to +60°C
Operation Temperature Rating	-40°C to +80°C



## Loose Tube Single Jacket Cable Outdoor\*



CATALOG NUMBER	FIBER COUNT	NO. OF LOOSE TUBES	NO. OF FILLERS	NOMINAL CABLE DIAMETER		NOMINAL CABLE WEIGHT		MAXIMUM TENSILE LOAD			
				IN	MM	LBS/1000'	KG/KM	INSTALLATION		IN-SERVICE	
								LBS	N	LBS	N
XX0124M1A-DWB	12	1	4	0.44	11.1	55	82	600	2700	180	800
XX0244M1A-DWB	24	2	3	0.44	11.1	55	82	600	2700	180	800
XX0484M1A-DWB	48	4	1	0.44	11.1	55	82	600	2700	180	800
XX0724M1A-DWB	72	6	0	0.47	12.0	66	98	600	2700	180	800

XX denotes glass type.

NOTE: More fiber counts are available upon request. See Fiber Optic Catalog for complete product information.

\* Not for aerial or direct burial applications.

## Loose Tube Dual Jacket Cable Outdoor\*

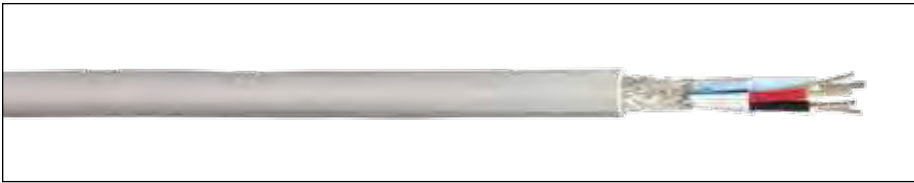


CATALOG NUMBER	FIBER COUNT	NO. OF LOOSE TUBES	NO. OF FILLERS	NOMINAL CABLE DIAMETER		NOMINAL CABLE WEIGHT		MAXIMUM TENSILE LOAD			
				IN	mm	LBS/1000'	kg/km	INSTALLATION		IN-SERVICE	
								LBS	N	LBS	N
XX0124H1A-DWB	12	1	4	0.51	13.0	78	116	600	2700	180	800
XX0244H1A-DWB	24	2	3	0.51	13.0	78	116	600	2700	180	800
XX0484H1A-DWB	48	4	1	0.51	13.0	78	116	600	2700	180	800
XX0724H1A-DWB	72	6	0	0.54	13.7	90	134	600	2700	180	800

XX denotes glass type.

NOTE: More fiber counts are available upon request. See Fiber Optic Catalog for complete product information.

# Multi-Paired, Shielded/Individually Shielded



**Product Construction:**

**Conductor:**

- Fully annealed stranded tinned copper per ASTM B33

**Insulation:**

- Foam-Polyethylene
- Polypropylene
- FEP
- Foam - HDPE
- Polyolefin (GCR1301)

**Jacket:**

- PVC
- Flexguard
- FEP (C8101)

**Shield:**

- Flexfoil with tinned copper braid
- Flexfoil

**Applications:**

- Modbus applications
- HART® applications
- RS-485 applications
- Interlocked armored (steel or aluminum)
- Industrial type applications

**Compliances:**

- UL, c(UL)
- See below for individual product compliances

**INDIVIDUALLY FOIL SHIELDED**

CATALOG NUMBER	NO. OF PAIRS	AWG SIZE	COND. STRAND	INSULATION NOMINAL O.D.		INSULATION MATERIAL	SHIELD TYPE	JACKET TYPE	NOM. JACKET THICKNESS		CABLE NOMINAL O.D.		OVERALL ARMOR TYPE	NOM. CAP. pF/FT	NOM. IMP. OHMS	NEC UL C(UL)US TYPE	PAIRS COLOR CODE
				INCHES	mm				INCHES	mm	INCHES	mm					
GCR1310	1.5	22	7/30 TC	0.090	2.29	Foam-Polyethylene/PVC	100% Flex Foil + 65% Tinned Copper Braid	PVC	0.045	1.14	0.285	7.24	N/A	11.0	120.0	PLTC, CM CMG C(UL), FT4 -20C to +75C/300 V	1/P: White/Orange Orange/White 1/C: Blue/White
GCR1320	3	22	7/30 TC	0.052	1.32	Polypropylene	100% Flex Foil over each pair	PVC	0.035	0.89	0.280	7.11	N/A	30.0	50.0	CM, AWM 2919 -20C to +80C/300 V	Black, Red Black, White Black, Green
GCR1320A	3	22	7/30 TC	0.052	1.32	Polypropylene	100% Flex Foil over each pair	PVC	0.035	0.89	0.590	14.99	Aluminum Interlock Armor/PVC	30.0	50.0	CM, AWM 2919 -20C to +80C/300 V	Black, Red Black, White Black, Green
GCR1320S	3	22	7/30 TC	0.052	1.32	Polypropylene	100% Flex Foil over each pair	PVC	0.035	0.89	0.590	14.99	Galvanized Steel Interlock Armor/PVC	30.0	50.0	CM, AWM 2919 -20C to +80C/300 V	Black, Red Black, White Black, Green
GCR1320P	3	22	7/30 TC	0.050	1.27	FEP	100% Flex Foil over each pair	Flex-Guard	0.015	0.38	0.234	5.94	N/A	30.0	50.0	CMP c(UL) -10C to +75C/300 V	Black, Red Black, White Black, Green
GCR1320FP	3	22	7/30 TC	0.050	1.27	FEP	100% Flex Foil over each pair	FEP	0.015	0.38	0.230	5.84	N/A	30.0	50.0	CMP c(UL) -70C to +200C/300 V	Black, Red Black, White Black, Green

# Super Vu-Tron® Canadian Type G-GC Round

90°C, 2000 Volt Portable Power Cable

**Product Construction:**

**Conductor:**

- 6 AWG through 4/0 AWG fully annealed stranded bare copper

**Insulation:**

- Premium-grade, color-coded 90°C EPDM
- Color code: See chart below
- Insulated yellow ground check

**Jacket:**

- Super Vu-Tron® 90°C, black
- Temperature range: -40°C to +90°C

**Jacket Marking:**

- CAROL SUPER VU-TRON® SIZE (mm<sup>2</sup>)  
TYPE G-GC 2 KV 90°C (-40°C) FT5 CSA LR92874  
P-7K-123049-MSHA MADE IN USA



**3 CONDUCTOR – TYPE G-GC – 2000 VOLT**

CATALOG NUMBER	NO. OF COND.	AWG SIZE	COND. STRAND	NOMINAL COND. O.D.		YELLOW GROUND CHECK AWG SIZE	GROUND COND. AWG SIZE	NOMINAL INS. THICKNESS		NOMINAL O.D.		CURR. AMPS <sup>(1)</sup>	APPROX. NET WT. LBS/ M <sup>(2)</sup>
				INCHES	mm			INCHES	mm	INCHES	mm		
<b>83103</b>	3	8	133	0.160	4.06	10	2#10	0.060	1.52	0.945	24.00	65	827
<b>83113</b>	3	6	259	0.198	5.03	10	2#10	0.060	1.52	1.025	26.04	87	770
<b>83123</b>	3	4	259	0.245	6.22	10	2#8	0.060	1.52	1.140	28.96	114	1015
<b>83133</b>	3	2	259	0.297	7.54	8	2#6	0.080	2.03	1.345	34.16	152	1480
<b>83143</b>	3	1	259	0.353	8.97	8	2#6	0.080	2.03	1.455	36.96	177	1795
<b>83153</b>	3	1/0	259	0.385	9.78	8	2#4	0.080	2.03	1.585	40.26	205	2245
<b>83163</b>	3	2/0	259	0.442	11.23	8	2#4	0.080	2.03	1.685	42.80	237	2570
<b>83183</b>	3	4/0	259	0.555	14.10	8	2#2	0.080	2.03	1.975	50.17	316	3700

<sup>(1)</sup> Ampacity rating based on CEC/CSA.

<sup>(2)</sup> Actual shipping weight may vary.

**Applications:**

- Industrial and light- to medium-duty mining applications
- Heavy-duty service as power supply cable
- Mobile and portable electrical equipment
- 3- and 4-conductor—use on three-phase AC systems where grounding is required

**Features:**

- Excellent impact and abrasion resistance
- Withstands exposure to oil, acids, alkalis, heat, moisture and most chemicals
- Indent-printed for easy identification
- Rope lay stranding for maximum flex life
- Cable core bound for superior flexibility and toughness
- Non-wicking rubber fillers (GGC)
- Canadian color code
- Sunlight-resistant

**Industry Approvals:**

- CSA Flexible Cord - C22.2-96
- MSHA Approved
- RoHS Compliant

**Packaging:**

- Lengths cut to order

**COLOR CODE CHART**

NO. OF CONDUCTORS	COLOR
<b>3</b>	Black, Red, Blue

**CCW<sup>®</sup> Armored Power, 8 kV 133%, Shielded, 3/C VFD**

UL Type MC-HL or MV-105, CSA Type HL, EPR, 105°C, Cable Tray Use, Sunlight-Resistant Direct Burial, ABS CWCMC

**Product Construction:****Conductor:**

- Bare annealed copper per ASTM B3
- Compact stranding per ASTM B496

**Extruded Strand Shield (ESS):**

- Extruded thermoset semi-conductor stress control layer over the conductor per ICEA S-93-639 and UL 1072

**Insulation:**

- 140 mils Ethylene Propylene Rubber (EPR) insulation per ICEA S-93-639 and UL 1072

**Extruded Insulation Shield (EIS):**

- Thermoset semi-conducting polymeric layer, free stripping from the insulation per ICEA S-93-639 and UL 1072

**Shield:**

- 5 mil annealed bare copper tape with 25% overlap

**Phase Identification:**

- Color-coded polymeric identification tape laid under the shield - black, red and blue

**Grounding Conductors:**

- Three (3) split Class B stranded bare annealed copper grounding conductors
- Sized in accordance with UL 1072 and NEC Article 250

**Cable Assembly:**

- Insulated and grounding conductors are cabled together with non-hygroscopic fillers when required
- Binder tape is applied over the cabled core

**CCW Armor:**

- Impervious, continuously welded and corrugated aluminum alloy sheath per UL 1072 and UL 1569
- CCW armor conductivity meets the grounding requirements of the NEC

**Jacket:**

- Flame-retardant, moisture- and sunlight-resistant Polyvinyl Chloride (PVC), yellow
- Low temperature performance meets ASTM D746 brittleness temperature at or below -40°C

**Applications:**

- Variable Frequency Drives: 3-conductor CCW armored cables with three (3) symmetrical grounding wires are the preferred wiring method for use with AC motors controlled by pulse-width modulated inverters in VFD applications
- CCW armored medium-voltage power cables offer an economical, rugged and reliable alternative to labor-intensive cable in conduit wiring methods
- For use on feeders and branch circuits in industrial power distribution systems per NEC Articles 328 and 330
- For use in Class I, II and III, Divisions 1 and 2; and Class I, Zones 1 and 2 hazardous locations per NEC Articles 501, 502, 503 and 505
- Installed on metal racks, troughs, in raceways, in cable trays or secured to supports spaced not more than six feet apart
- Installed in both exposed and concealed work, wet or dry locations, directly buried or embedded in concrete
- Recognized for use on fixed or floating offshore petroleum facilities as recommended by the American Petroleum Institute

**Features:**

- CCW armor provides an impervious barrier to moisture, gas and liquids and meets the grounding requirements of UL 1072 and the NEC

**Features (cont'd.):**

- Triple Extrusion: The strand shield, EPR insulation and insulation shield are all extruded in one operation
- General Cable's EPR insulation system has outstanding corona resistance and high dielectric strength, and it provides electrical stability under stress
- Cable meets cold impact at -40°C
- 105°C continuous operating temperature, wet or dry
- 140°C emergency rating
- 250°C short circuit rating

**Specifications:****Design Adherence:**

- ICEA S-93-639/WC74, 5-46 kV Shielded Power Cable
- AEIC CS8 Specification for Shielded Power Cable, 5-46 kV
- UL 1072 Medium-Voltage Power Cables
- UL 1569 Metal Clad Cables
- UL 2225 Cables and Cable Fittings for Use in Hazardous Locations
- UL 1309 Marine Shipboard Cable
- CSA 68.10

**Flame Tests:**

- ICEA T-29-520 (210,000 BTU/hr)
- IEEE 383 (70,000 BTU/hr)
- CSA FT4
- IEEE 1202 (70,000 BTU/hr)
- UL 1072
- IEC 60332-3 Category A

**Compliances:**

- UL Type MV-105 or MC-HL, SUN RES, CT USE, DIR BUR, -40°C, FT4, UL File # E90501
- UL Listed Marine Shipboard, UL File # E85994
- CSA Type HL, SR, FT4, -40°C, CSA File # 27161
- American Bureau of Shipping (ABS) Listed for CWCMC

# Multiple Position Glass Fuse Blocks



## Omni-Blok® Fuse Blocks with 1/4" Quick Connect Terminals

For 1/4" x 1-1/4" glass fuses. Available in one through twelve pole units. Units may be easily broken apart as needed to obtain the desired number of poles. Rated at 20A, 300 V

Download additional technical information at: [littelfuse.com/Fuseholders](http://littelfuse.com/Fuseholders)



PART NUMBERS		POLES	VOLTAGE	AMP	PART NUMBERS		POLES	VOLTAGE	AMP
BULK	CARDED				BULK	CARDED			
03540801ZXGY	-	1	300V	20A	03540807ZXGY	-	7	300V	20A
03540802ZXGY	00MN0002XP	2	300V	20A	03540808ZXGY	-	8	300V	20A
03540803ZXGY	-	3	300V	20A	03540809ZXGY	-	9	300V	20A
03540804ZXGY	00MN0004XP	4	300V	20A	03540810ZXGY	-	10	300V	20A
03540805ZXGY	-	5	300V	20A	03540811ZXGY	-	11	300V	20A
03540806ZXGY	-	6	300V	20A	03540812ZXGY	-	12	300V	20A

## Common Hot Feed Glass Fuse Block

Fiber base with 11/64" (4.4mm) diameter mounting holes. Solid brass busbar, phosphor-bronze fuse clips. Brass terminals and screws.

Download additional technical information at: [littelfuse.com/Fuseholders](http://littelfuse.com/Fuseholders)



PART NUMBERS			MAX FUSE RATING PER CIRCUIT	FUZE POSITIONS	DIMENSIONS	BUSBAR
BULK	BOXED	RETAIL				
M-414-01	-	M-414-01-BP	20A	4	2.75"L x 2.24"W x .625"H	•
M-415-01	-	-	20A	5	3.50"L x 2.24"W x .625"H	•
M-641-01	M-641-01-BX	M-641-01-BP	20A	6	4.25"L x 2.24"W x .625"H	•
M-643-01	M-643-01-BX	M-643-01-BP	20A	8	5.75"L x 2.24"W x .625"H	•
M-647-01	-	-	20A	12	8.75"L x 2.24"W x .625"H	•

## M-674 • Combination Glass Fuse Block and Terminal Block

Combination Fuse Block & Terminal Block For SFE 20A or 3AG (AGC) fuses. Common hot feed to four independently-fused circuits, and common ground strip for four circuits. Solid brass busbars, terminals and terminal screws. Nickel-plated phosphor-bronze fuse clips. Two eyelet holes for mounting with 3/16" (4.8mm) screws, 2.25" (57.2mm) on centers.

Download additional technical information at: [littelfuse.com/Fuseholders](http://littelfuse.com/Fuseholders)



PART NUMBERS			MAX FUSE RATING PER CIRCUIT	FUZE POSITIONS	DIMENSIONS	BUSBAR
BULK	BOXED	RETAIL				
M-674	M-674-BX	M-674-BP	20A	4	3.50"L x 2.75"W x .781"H	•

## Laminated Base Fuse Block with Screw Terminals

For 1/4" x 1-1/4" glass fuses. Available in one through twelve pole units. Rated at 20A, 300V.

Download additional technical information at: [littelfuse.com/Fuseholders](http://littelfuse.com/Fuseholders)



PART NUMBERS		POLES	VOLTAGE	AMP	PART NUMBERS		POLES	VOLTAGE	AMP
BULK	BOXED				BULK	BOXED			
03560001Z	-	1	300V	20A	03560007Z	-	7	300V	20A
03560002Z	-	2	300V	20A	03560008Z	-	8	300V	20A
03560003Z	-	3	300V	20A	03560009Z	-	9	300V	20A
03560004Z	-	4	300V	20A	03560010Z	-	10	300V	20A
03560005Z	-	5	300V	20A	03560011Z	-	11	300V	20A
03560006Z	-	6	300V	20A	03560012Z	-	12	300V	20A

## Modular Relay Sockets • Bi-Stable Relay

Accepts Littelfuse brand relays and standard ISO relays.



- Modular – sockets dovetail together
- Accepts standard quick-connect terminals
- Easy mount bracket
- Constructed of rugged glass-filled polyamide
- Temperature range: -40°C to 85°C

PART NUMBERS			RELAY TYPE		FORM	NOTES
BULK	BOXED	RETAIL CLAMSHELL	AMPERAGE	TERMINAL WIDTH		
99025	99025-BX	–	70A	.375"	A	Use with Tyco (AMP) terminals 280756 or 280755 (consult terminal manufacturers for full specs)
99026	99026-BX	–	40A	.250"	A or C	Use with Tyco (AMP) terminals 42281 or Ark-Les 3000H112A series (consult terminal manufacturers for full specs)

5

## Plug-In Relay & MicroRelay Schematics and Terminal Layout

General purpose relays fit many vehicles and applications.

FORM	RELAY SCHEMATICS	RELAY TERMINAL LAYOUTS (40A .250" terminals – 70A .375" terminals)	MICRORELAY TERMINAL LAYOUTS
Form A			
Form C			
Form 2			– Not Available –

# Battery & Master Disconnect Switches

Master Disconnect Switches are available for any application and suitable for 12V to 48V and up to 500A continuous (at 12V). Other features include: single or dual pole configurations, stem or flange mount, with lockout/tagout and lever or keyed actuators.

## Lockouts & Tagouts

Lockouts and tagouts prevent operators, technicians and maintenance personnel from unanticipated power-ups that might cause injury or death.

According to OSHA, "A lockout device utilizes a positive means such as a lock to hold an energy isolating device in a safe position and prevent the energization of a machine." A tagout is a tag or seal that states 'Do not operate or remove this tag' and is signed by the person who places the tagout. Procedures specify that nobody but that person may remove the tag.

A lockout on a battery switch not only keeps a vehicle safe, but also immobilizes it. A locked out vehicle is less vulnerable to battery drain or theft.

## What is a Hencol Key?

Hencol is a Cole Hersee brand name used to describe our non-bitted common keys. Hencol keys are often used for ignition switches installed in forklifts or equipment that will have multiple operators. The non-bitted key allows any authorized user with a Hencol key to start and operator the vehicle.

The term Hencol is named after one of the Cole Hersee founders and is a mash-up of their name, Henry Cole.



# Heavy Duty Ignition Switches

## 956 Series • Heavy Duty General Purpose Metal Body Ignition Switches

Dependable diecast zinc housing switches with an array of options for every application. Switches mount through the panel and have lever action or are keyed (hencol key or coded tumbler lock). On keyed switches the key is removable at Off position only.

- Two Terminal Options: Brass blade 1/4" (6.4mm) wide accept Delphi (Packard) connector 2962912 or equivalent  
 Screw Terminals include lock washers
- Two Mounting Sizes: 1"-24 bushings fit panels .030" - .090" (.76mm - 2.3mm)  
 3/4"-24 bushings fit panels .060" - .110" (1.5mm - 2.7mm)

2D Prints and additional information: [littelfuse.com/IgnitionSwitches](http://littelfuse.com/IgnitionSwitches)



Coded tumbler lock with 2 keys



Patented Hencol lock with 2 keys (83357)



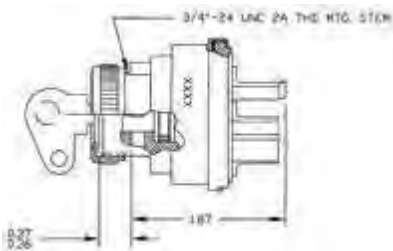
Short handle lever (81254)



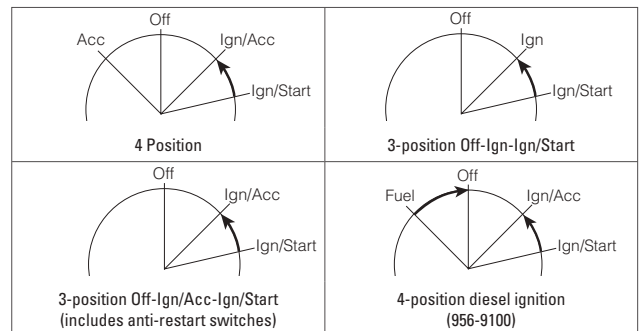
956-5109 - Military Lever

PART NUMBERS			AMP RATING (12V DC)					POSITIONS				ACTUATOR / KEY TYPE	TERMINALS	SPRING RETURN	ANTI-RESTART	GROUND TERMINAL	SILVER CONTACTS			SEAL TYPE	BUSHING SIZE	REPLACEMENT KEY BLANK
BULK	BOXED	RETAIL	ACC	IGN	START	GROUND	TOTAL	1	2	3	4						SHUTTER LOCK	GASKET	O-RING			
956-4100	956-4100-BX	-	10	10	5	1	4	Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Coded	4 blade	•			•			1"-24	Unavailable - OB	
956-4104	956-4104-BX	-	10	10	5	1		Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Coded	4 screw	•				•			1"-24	Unavailable - OB
956-4107	956-4107-BX	-	10	10	5	1		Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Hencol	4 screw	•				•	•	•	1"-24	83357
956-4111	956-4111-BX	-	10	10	5	1		Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	S. Lever	4 blade	•							1"-24	81254
956-4113	-	-	30	10	5	-		Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Hencol	4 blade	•					•		1"-24	83357
956-4124	956-4124-BX	-	10	10	5	1		Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	S. Lever	4 screw	•					•	•	1"-24	81254
956-4138	956-4138-BX	-	30	20	10	-		Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Coded	4 blade	•							1"-24	Unavailable - OB
956-4141	956-4141-BX	-	30	20	10	-		Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Hencol	4 screw	•				•	•	•	1"-24	83357
956-4154	956-4154-BX	-	10	10	5	1		Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Coded	5 screw	•		•			•		1"-24	Unavailable - OB
956-4307	956-4307-BX	-	10	10	5	1		Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Hencol	4 screw	•					•	•	3/4"-24	83357
956-4311	956-4311-BX	-	10	10	5	1	Acc	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Coded	4 blade	•						•	3/4"-24	Unavailable - OB	
956-9100	956-9100-BX	-	10	5	5	-	Fuel	Off	Ign/Acc	Ign/Start	Hencol	5 screw	•					•	•	1"-24	83357	
956-3122	956-3122-BX	-	10	10	5	-	3	Off	Ign/Acc	Ign/Start	-	Coded	5 screw	•	•	•		•	•	•	1"-24	Unavailable - OB
956-3124	956-3124-BX	-	10	10	5	-		Off	Ign/Acc	Ign/Start	-	S. Lever	5 screw	•	•	•				•	1"-24	81254
956-3125	956-3125-BX	-	30	10	10	-		Off	Ign/Acc	Ign/Start	-	Coded	4 screw	•	•				•		1"-24	Unavailable - OB
956-3126	956-3126-BX	-	10	10	5	-		Off	Ign/Acc	Ign/Start	-	Hencol	4 screw	•	•					•	1"-24	83357
956-3127	956-3127-BX	-	30	10	10	-		Off	Ign/Acc	Ign/Start	-	S. Lever	3 screw	•	•				•	•	1"-24	81254
-	956-5109-BX	-	20	10	10	-		Off	Ign/Acc	Ign/Start	-	Mil. Lever	4 screw	•			•		•	•	1"-24	n/a
956-5122	-	-	20	20	10	-		Off	Ign/Acc	Ign/Start	-	Coded	5 screw	•		•			•	•	1"-24	Unavailable - OB
956-5124	-	-	10	10	5	-		Off	Ign/Acc	Ign/Start	-	Hencol	4 screw	•					•	•	3/4"-24	83357
956-5307	956-5307-BX	-	10	10	5	1		Acc	Off	Ign/Acc	-	Hencol	3 screw	•					•	•	3/4"-24	83357
956-6107	-	-	10	10	-	-		Acc	Off	Ign/Acc	-	Hencol	3 screw						•	•	1"-24	83357
956-6307	-	-	10	10	-	-	Acc	Off	Ign/Acc	-	Hencol	3 screw						•	•	3/4"-24	83357	
956-6310	-	-	30	10	-	-	Acc	Off	Ign/Acc	-	Hencol	3 screw	•					•	•	3/4"-24	83357	

Typical Hencol Switch Dimensions



5 Screw Terminals

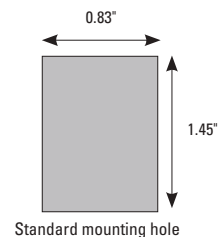


# Sealed Rocker Switches



## 58328 Series • 25A Incandescent Pilot Light Rocker Switches

- Series available with small pilot lights, large pilot lights or unlit
- Dependent or independent illumination
- Faceted lenses are on the actuator
- Matte black finish on the plastic housing, bezel and actuator
- Brass blade or screw terminals available
- See accessories section for bezels and mounting kits
- -BP (clamshell retail pack) retail unit contains separate lenses of all colors that easily snap into place



2D Prints and additional information: [littelfuse.com/RockerSwitches](http://littelfuse.com/RockerSwitches)



58328-1XX-BP



PART NUMBERS			RATING	POLE & THROW	ACTION	ILLUMINATION	LED PILOT LIGHTS		TERMINALS	CONTACTS	SEALING
BULK	BOXED	RETAIL CLAMSHELL					LENS COLOR 1	LENS COLOR 2			
58328-01	58328-01-BX	-	25A at 12V DC	SPST	On-Off	Independent	Red	-	4 blade	Silver	IP66
58328-02	58328-02-BX	-		SPST	On-Off	Independent	Green	-	4 blade	Silver	IP66
58328-10	58328-10-BX	-		SPST	On-Off	Independent	Amber	-	4 blade	Silver	IP66
-	-	58328-101-BP		SPST	On-Off	Independent	One lens of each color	-	4 blade	Silver	IP66
58328-04	58328-04-BX	-	25A at 12V DC	SPST	On-Off	Dependent	Red	-	3 blade	Silver	IP66
58328-11	58328-11-BX	-		SPST	On-Off	Dependent	Green	-	3 blade	Silver	IP66
58328-12	58328-12-BX	-		SPST	On-Off	Dependent	Clear	-	3 blade	Silver	IP66
58328-13	58328-13-BX	-		SPST	On-Off	Dependent	Amber	-	3 blade	Silver	IP66
-	-	58328-100-BP		SPST	On-Off	Dependent	One lens of each color	-	3 blade	Silver	IP66
-	-	58328-102-BP	25A at 12V DC	SPDT	On-On	Dependent	One lens of each color		4 blade	Silver	IP66
58328-35	58328-35-BX	-	25A at 12V DC	SPDT	On-Off-On	Dependent	Red	Amber	4 blade	Silver	IP66
-	-	58328-103-BP	25A at 12V DC	SPDT	On-Off-On	Dependent	One lens of each color		4 blade	Silver	IP66
-	-	58328-104-BP	25A at 12V DC	SPST	On-Off	1 Dependent & 1 Independent	One lens of each color		4 blade	Silver	IP66

# Momentary Push-Button Switches

## 35A • Heavy Duty Cylindrical Housing Push-Button Switches

For applications to 36V DC. On with button depressed, spring return to Off.

Additional information: [littelfuse.com/Push-Button-Switches](http://littelfuse.com/Push-Button-Switches)



PART NUMBERS			RATING	POLE & THROW	ACTION	NORMAL POSITION	ACTUATOR		TERMINALS	CONTACTS	MOUNTING STEM	NOTES
BULK	BOXED	RETAIL CLAMSHELL					DETAIL	CAP				
9095	9095-BX	-	35A at 12V DC 20A at 24V DC	SPST	Off-On	Normally Off	Chrome Plated Button	-	2 Screw	Silver	5/8"-32 thread 21/32" long	-
9245	9245-BX	9245-BP	35A at 12V DC 20A at 24V DC	SPST	Off-On	Normally Off	Black Plastic Button	Snap-On Black Rubber	2 Screw	Silver	5/8"-32 thread 21/32" long	O-ring Seal
90036-02	90036-02-BX	-	35A at 12V DC 20A at 24V DC	SPST	Off-On	Normally Off	Chrome Plated Button	-	2 Blade	Silver	5/8"-32 thread 21/32" long	Fits Delphi (Packard) 2-way Connector 2973407
9155	-	-	35A at 12V DC 20A at 24V DC	SPST	Off-On	Normally Off	Chrome Plated Large 5/16"Ø Button	-	2 Screw	Silver	5/8"-32 thread 21/32" long	-
9231	9231-BX	-	35A at 12V DC 20A at 24V DC	SPST	Off-On	Normally Off	Recessed Chrome Plated Button	-	2 Screw	Silver	5/8"-32 thread 21/32" long	Protected Button with Recessed Design
90030	90030-BX	90030-BP	35A at 12V DC 20A at 24V DC	SPST	Off-On	Normally Off	Black Plastic Button	Screw-On Black Rubber	2 Screw	Silver	5/8"-32 thread 21/32" long	-
90030-01	90030-01-BX	-	35A at 12V DC 20A at 24V DC	SPST	Off-On	Normally Off	Black Plastic Button	Screw-On Brown Oil-Resistant Rubber	2 Screw	Silver	5/8"-32 thread 21/32" long	-
90030-04	90030-04-BX	-	35A at 12V DC 20A at 24V DC	SPST	Off-On	Normally Off	Black Plastic Button	Screw-On Red Rubber	2 Screw	Silver	5/8"-32 thread 21/32" long	-

## 10A • Heavy Duty Rectangular Housing Push-Button Switches

For applications up to 36V DC. On with button depressed, spring return to Off.

Additional information: [littelfuse.com/Push-Button-Switches](http://littelfuse.com/Push-Button-Switches)



PART NUMBERS			RATING	POLE & THROW	ACTION	NORMAL POSITION	ACTUATOR		TERMINALS	MOUNTING STEM	NOTES
BULK	BOXED	RETAIL CLAMSHELL					DETAIL	CAP			
9044	9044-BX	-	10A at 12V DC	SPST	Off-On	Off	Chrome Plated Button	-	2 Screw	5/8"-32 thread 1.06" long	Gasket Seal
9023	9023-BX	-	15A Resistive, 10A Inductive at 12V DC 8A Resistive, 5A Inductive at 24V DC	SPST	Off-On	Off	Chrome Plated Button	-	2 Screw	5/8"-32 thread .87" long	-
9238	9238-BX	-	15A Resistive, 10A Inductive at 12V DC 8A Resistive, 5A Inductive at 24V DC	SPST	Off-On	Off	Chrome Plated Button	-	2 Blade	5/8"-32 thread .87" long	-
9115	9115-BX	-	10A at 12V DC	SPST	On-Off	On	Chrome Plated Button	-	2 Screw	5/8"-32 thread 7/8" long	-
9211	9211-BX	-	10A at 12V DC	DPST	On-Off	On	White Plastic .33"Ø Button	-	4 Blade	7/16"-20 thread	Commonly used in school bus stepwell and door control
9109	9109-BX	-	10A at 12V DC	SPST	Off-On	Off	Shaft has 3/32" hole for cable or lever attachment	-	2 Screw	1/2"-20 thread 5/8" long	Pull On, Spring Return to Off
9212	9212-BX	-	10A at 12V DC	SPST	On-Off	On	1/2" Plunger	Nylon Cap	2 Blade	7/16"-20 thread 1/2" long	Brass Contacts
9165	9165-BX	-	10A at 12V DC	DPST	Off-On	Off	Chrome Plated Button	-	3 Screw	5/8"-32 thread 21/32" long	2 steel hexnuts and facenut on stem

10

# Vehicle Connectors



Heavy duty sockets, plugs and assemblies that withstand the rigors of trucking in dust, dirt, rain and snow, heat and cold, yet maintain electrical continuity between tractor unit and trailer.

## Best Practices for Connectors

Properly installed tractor-trailer connectors are critical to the safe performance of a rig so connectors are routinely subjected to vibration, extreme weather conditions, as well as mechanical forces. We highly recommend that a trained technician performs the installation. It is the responsibility of the end-user to take into account the mounting location and environment, conductor type, size, flexibility and other installation parameters.

Review the assembly procedure before assembly. A common error is to not slide a clamp, boot or housing onto the cable before connecting the wires. Recommended tools: screwdriver (preferably with torque limiter); soldering iron (preferably a solder pot), solder and flux; wire stripper and cutter; and ruler. Cut the cable, and strip the jacket to the recommended length. Strip the wires to the recommended length, and tin them. Maintain a tight strand bundle before tinning, so that there are no loose strands. Re-tin if necessary. This makes it easier to insert the wires into the terminal, and helps to properly position the tinned strands at the right depth.

Slide the housing, spring coil or boot over the cable. Properly insert and position the tinned conductor into each terminal. Locate the tinned portion under the terminal screw before tightening the screw. Tighten the termination screws to the appropriate torques.

Inspect the terminated connection for cut or loose strands, fragments of wire insulation between the terminal/conductor connection, bent terminals, loose or stripped terminal screws and other visible problems.

Check that the correct connections have been made, by re-checking that the conductor jacket color matches the insulator coding.

Carefully slide the insulator into the connector housing, making sure that the insulator is fully seated. Don't twist or lever the terminated conductor after it has been inserted and locked into the insulator. This may damage the terminal and put stress on the terminated connection. Finally tighten the housing screw or cable clamp.

In order to keep a plug clean when not inserted in a socket, we recommend the use of the 11750 Stor-A-Way Plug Holder.



## 7-Pole Connector Sockets

Sockets and plugs conform to ATA, RCCC (RP-102), SAE (J560b), FMVSS-121, FIEI TTMA (RP 40-73) standards or recommendations, and are compatible with other standard (J560b) connectors.

Ground terminal accepts wires up to 8AWG, other terminals up to 10AWG. Solid brass contacts are aligned to assure proper contact and minimal voltage drop. Wiring codes are embossed on the insulator.

The door is spring-loaded and fits over a mating ridge on the socket face to minimize penetration of dirt and moisture. Housings are constructed from corrosion-resistant diecast metal or rugged glass-filled plastic. Contacts are either self-grounding or insulated.

Additional information: [littelfuse.com/VehicleConnectors](http://littelfuse.com/VehicleConnectors)



PART NUMBERS			POLES	MOUNTING HOLES	MATERIAL	COLOR	TERMINALS		DIMENSIONS		SPRING LOADED DOOR	NOTES
BULK	BOXED	RETAIL					PIN TYPE	MATERIAL	MOUNTING FLANGE	THROUGH-HOLE		
12310	12310-BX	-	7	3	Glass-Filled Plastic	Black	Solid	Brass	0.33" (8.4mm) Ø 2.93" (74.6mm) on centers	-	•	Gasket-Sealed with Rain Hood
12080	12080-BX	-	7	2	Glass-Filled Plastic	Black	Solid	Brass	0.488" x 0.328" (12.4x8.3mm) oval 2.93" (74.6mm) on centers	2" (50.8mm) Ø	•	Insulated
12080-01	-	-	7	2	Glass-Filled Plastic	Black	Split	Brass	0.488" x 0.328" (12.4x8.3mm) oval 2.93" (74.6mm) on centers	2" (50.8mm) Ø	•	Insulated
12080-11	12080-11-BX	-	7	2	Glass-Filled Plastic	Green	Solid	Brass	0.488" x 0.328" (12.4x8.3mm) oval 2.93" (74.6mm) on centers	2" (50.8mm) Ø	•	Door marked "Trailer ABS"
12063	12063-BX	-	7	2	Diecast Metal	-	Solid	Brass	0.488" x 0.328" (12.4x8.3mm) oval 2.93" (74.6mm) on centers	2" (50.8mm) Ø	•	Self-Grounding
12063-01	12063-01-BX	-	7	2	Diecast Metal	-	Split	Brass	0.488" x 0.328" (12.4x8.3mm) oval 2.93" (74.6mm) on centers	2" (50.8mm) Ø	•	Self-Grounding
12077-01 <sup>†</sup>	12077-01-BX	-	7	2	Diecast Metal	-	1x Spring Grip Female 6x Solid Male	Brass	0.488" x 0.328" (12.4x8.3mm) oval 2.93" (74.6mm) on centers	2" (50.8mm) Ø	•	For ISO-Type Polarized ground terminal - Insulated Mates with 11100-02 and 11100-01

<sup>†</sup> Polarized ground terminal, insulated. Replacement for ISO 3731-1976 (E) road vehicles, type 24S (supplementary).

## Typical RV 7-Pole Wiring Color Codes

## SAE Coding Convention for 7-Pole Connectors

WIRE COLOR	FUNCTION
<b>White</b>	Ground
<b>Black</b>	Auxiliary power/battery charge
<b>Yellow</b>	Auxiliary
<b>Red</b>	Left turn and brake lights
<b>Green</b>	Taillights and clearance lights
<b>Brown</b>	Right turn and brake lights
<b>Blue</b>	Electric trailer brakes

WIRE COLOR	CONDUCTOR NUMBER	LITTELFUSE TERMINAL MARKING	FUNCTION
<b>White</b>	1	W	Ground return to towing vehicle
<b>Black</b>	2	BK	Clearance, side marker, and identification lamps
<b>Yellow</b>	3	Y	Left turn signal and hazard lamps
<b>Red</b>	4	R	Stop lamps and antilock device
<b>Green</b>	5	G	Right turn signal and hazard lamps
<b>Brown</b>	6	BR	Tail and license plate lamps
<b>Blue</b>	7	BL	Continuous ABS power/Auxiliary

## 12V LED Pilot Lights

Rugged light-emitting diode that ensures long hours of service, never needing bulb replacement. Additional information: [littelfuse.com/PilotLights](http://littelfuse.com/PilotLights)

### PL-521 Series • 12V LED Pilot Lights

- Approx. 1" bezel, fits 11/16" diameter hole (17.2mm).



PART NUMBERS			RATING	COLOR	TERMINALS	BEZEL SIZE	HOLE SIZE
BULK	BOXED	RETAIL					
PL-521-RC	PL-521-RC-BX	–	12V DC	Red	¼" blade	1"	11/16" Ø
PL-521-AC	PL-521-AC-BX	–	12V DC	Amber	¼" blade	1"	11/16" Ø
PL-521-GC	PL-521-GC-BX	–	12V DC	Green	¼" blade	1"	11/16" Ø

### PL-522 Series • 12V LED Pilot Lights

- Approx. 3/4" bezel, fits 5/8" diameter hole (15.9mm).



PART NUMBERS			RATING	COLOR	TERMINALS	BEZEL SIZE	HOLE SIZE
BULK	BOXED	RETAIL					
PL-522-RC	PL-522-RC-BX	–	12V DC	Red	¼" blade	¾"	5/8" Ø
PL-522-AC	PL-522-AC-BX	–	12V DC	Amber	¼" blade	¾"	5/8" Ø
PL-522-GC	PL-522-GC-BX	–	12V DC	Green	¼" blade	¾"	5/8" Ø

### PL-523 Series • 12V LED Pilot Lights

- Approx. 3/4" bezel, fits 5/8" diameter hole (15.9mm).



PART NUMBERS			RATING	COLOR	TERMINALS	BEZEL SIZE	HOLE SIZE
BULK	BOXED	RETAIL					
PL-523-RC	PL-523-RC-BX	–	12V DC	Red	¼" blade	¾"	5/8" Ø
PL-523-AC	PL-523-AC-BX	–	12V DC	Amber	¼" blade	¾"	5/8" Ø
PL-523-GC	PL-523-GC-BX	–	12V DC	Green	¼" blade	¾"	5/8" Ø
PL-523-BC	PL-523-BC-BX	–	12V DC	Blue	¼" blade	¾"	5/8" Ø
PL-523-CC	PL-523-CC-BX	–	12V DC	Clear	¼" blade	¾"	5/8" Ø

### PL-524 Series • 12V LED Pilot Lights

- Approx. 5/8" bezel, fits 1/2" diameter hole (15.9mm), 0.5 to 5.5mm thick.



PART NUMBERS			RATING	COLOR	TERMINALS	BEZEL SIZE	HOLE SIZE
BULK	BOXED	RETAIL					
PL-524-RC	PL-524-RC-BX	–	12V DC	Red	¼" blade	5/8"	½" Ø
PL-524-AC	PL-524-AC-BX	–	12V DC	Amber	¼" blade	5/8"	½" Ø
PL-524-GC	PL-524-GC-BX	–	12V DC	Green	¼" blade	5/8"	½" Ø

### PL-525 & PL-526 Series • 12V LED Pilot Lights

- Approx. 3/8" bezel, snaps into 21/64" diameter hole (8.3mm), 0.5 to 2.0mm thick. 6-3/4" wire leads.
- PL-525 series is maintained illuminations; PL-526 series in blinking illumination.



PART NUMBERS			RATING	COLOR	TERMINALS	BEZEL SIZE	HOLE SIZE	BLINKING ILLUMINATION
BULK	BOXED	RETAIL						
PL-525-RC	–	–	12V DC	Red	6 ¾" wire leads	3/8"	21/64" Ø	
PL-525-AC	–	–	12V DC	Amber	6 ¾" wire leads	3/8"	21/64" Ø	
PL-525-GC	–	–	12V DC	Green	6 ¾" wire leads	3/8"	21/64" Ø	
PL-526-RC	–	–	12V DC	Red	6 ¾" wire leads	3/8"	21/64" Ø	•
PL-526-AC	–	–	12V DC	Amber	6 ¾" wire leads	3/8"	21/64" Ø	•
PL-526-GC	–	–	12V DC	Green	6 ¾" wire leads	3/8"	21/64" Ø	•

### PL-612 & PL-624 Series • 12V & 24V LED Pilot Lights

- 0.63" bezel diameter, fits panels 5.1 to 7.6mm thick. 1.25" (31.7mm) body length.



PART NUMBERS			RATING	COLOR	TERMINALS	BEZEL SIZE	BODY LENGTH
BULK	BOXED	RETAIL					
PL-612-R	PL-612-R-BX	PL-612-R-BP	12V DC	Red	¼" blade	0.63"	1.25"
PL-612-A	PL-612-A-BX	PL-612-A-BP	12V DC	Amber	¼" blade	0.63"	1.25"
PL-612-G	PL-612-G-BX	PL-612-G-BP	12V DC	Green	¼" blade	0.63"	1.25"
PL-612-B	PL-612-B-BX	PL-612-B-BP	12V DC	Blue	¼" blade	0.63"	1.25"
PL-624-R	PL-624-R-BX	–	24V DC	Red	¼" blade	0.63"	1.25"
PL-624-A	PL-624-A-BX	–	24V DC	Amber	¼" blade	0.63"	1.25"
PL-624-G	PL-624-G-BX	–	24V DC	Green	¼" blade	0.63"	1.25"
PL-624-B	PL-624-B-BX	–	24V DC	Blue	¼" blade	0.63"	1.25"



## 4099 • 12 & 24V DC Universal Buzzer

Hundreds of uses; for 'door ajar' warning, bus driver alert, low air pressure, temperature, etc. Works with any temperature, pressure, door or momentary switch. Electrical contacts are designed for instant response and uninterrupted signal.

- Impact resistant ABS resin case
- Moisture repellent insulator

Additional information: [littelfuse.com/Alarms](http://littelfuse.com/Alarms)

PART NUMBERS			VOLTAGE	DIMENSIONS	TERMINALS	NOTES
BULK	BOXED	RETAIL				
4099	4099-BX	4099-BP	12V DC	1 7/8" x 2 1/2" x 2 17/32" (30.9 x 63.2 x 64.3mm)	2 Screw	Replaces: Ford FDM-2938-A, GMC 1116882, Superior Coach 76032, Divco-Wayne E-11811-A
40151	40151-BX	-	24V DC			

## 40100 • Buzzer Pull Switch



For use by passengers in buses and rapid transit vehicles, the end of the switch attaches to a cord. Use with Littelfuse buzzers or buzzer/flashers: 4099, 4112 RC, 4124-RD.

SPST Off-Mom. On. Normally Off, pull to On, spring return to Off. Neutral gray enamel finish cover. Operates with a pull cord.

Additional information: [littelfuse.com/Alarms](http://littelfuse.com/Alarms)

PART NUMBERS			VOLTAGE	DIMENSIONS	TERMINALS	NOTES
BULK	BOXED	RETAIL				
40100	40100-BX	-	Up to 36V DC	-	2 Screw	Replaces: Delco 1998723, 18998802, 1998020



## 4112-RC • 12 & 24V DC Buzzer and LED Indicator "Dual Alarm"

Rugged combination warning light and buzzer gives audible and visible alert. Device is a universal application and can be used with any electrical switch. Red lens, long-life LED. 11/16" (17.46mm) diameter mounting stem, 17/32" (13.88mm) long.

Additional information: [littelfuse.com/Alarms](http://littelfuse.com/Alarms)

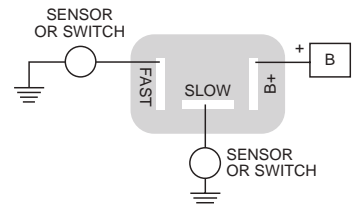
PART NUMBERS			VOLTAGE	DIMENSIONS	TERMINALS	NOTES
BULK	BOXED	RETAIL				
4112-RC000	4112-RC000-BX	4112-RC-BP	12V DC	1 7/8" x 1" x 1 11/32" (47.6 x 25.4 x 34.1mm)	2 Screw	-
4124-RD000	4124-RD000-BX	-	24V DC	1 7/8" x 1" x 1 11/32" (47.6 x 25.4 x 34.1mm)	2 Screw	-

## 40212 • 12V DC Dual Rate Electronic Alarm

Utilizes advanced integrated circuit surface mount technology. Negative ground. Use with two input sources to warn of two different hazardous conditions. Sounds at two different rates: one sensor triggers a fast-rate alarm, the second actuates a slower rate alarm tone.

- Minimum sound level: 90dB
- Lightweight molded plastic housing
- Solid-state circuitry
- Plugs into Littelfuse connector 3032 or 3029, Delphi (Packard) 12033871, or accepts connectors for 1/4" (6.4mm) blades

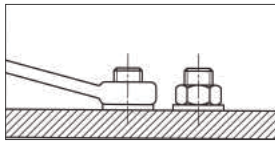
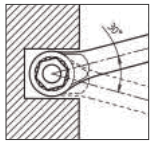
Additional information: [littelfuse.com/Alarms](http://littelfuse.com/Alarms)



PART NUMBERS			VOLTAGE	DIMENSIONS	TERMINALS	NOTES
BULK	BOXED	RETAIL				
40212	40212-BX	-	12V DC	2.005" x 1.185" x .930" (50.4 x 30.3 x 23.66mm)	1/4" Blades	Minimum sound level: 90dB

## LLAVES COMBINADAS DIN 3113

**RED LINE**



### Principales Ventajas:

- Sistema POWERDRIVE.
- Cuerpo estrecho para facilitar el acceso en lugares de espacio reducido.

### Productos asociados:

- Tornillos.
- Rost Off
- Caja de herramientas

### Descripción del producto

Llaves manuales combinadas para ajustar y aflojar tuercas y tornillos. Lado estrella con sistema POWERDRIVE que permite mayor transmisión de fuerza con menos esfuerzo del operario.

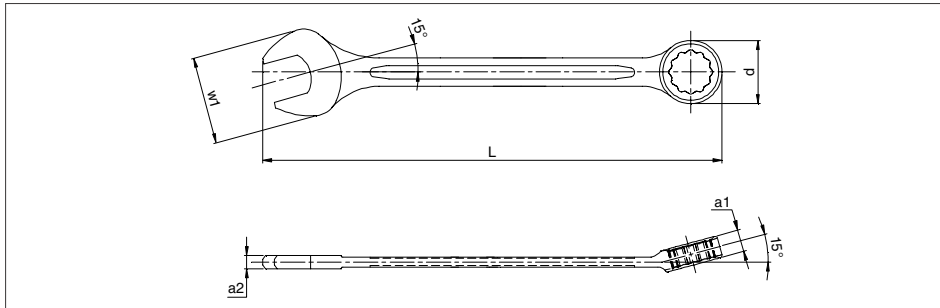
### Características


- Fabricadas en acero Cromo-Vanadio con tratamiento térmico.
- Dureza de 39 HRc.
- Acabado pulido contra corrosión.
- Lado abierto en ángulo de 15°.
- Lado estrella POWERDRIVE con inclinación de 15°
- Cuerpo estrecho que facilita el acceso en lugares con espacio reducido.
- Cumple con la norma DIN 3113


### Restricciones de uso

- Nunca utilice esta herramienta para operaciones de ajuste que requieran de un torque específico.
- Nunca utilice accesorios para aumentar el torque.
- Nunca utilice accesorios para prolongar la herramienta.

## LLAVES COMBINADAS DIN 3113



	L	W1	dia. D	a1	a2	Art. No.	U/E
mm	mm	mm	mm	mm	mm		
6	100	16	10.4	4.8	3.4	<b>5754 301 06</b>	1/100
7	110	16.8	11.8	5.4	3.5	<b>5754 301 07</b>	
8	115	18.7	13	5.6	3.8	<b>5754 301 08</b>	
9	125	20.6	14.1	6	4	<b>5754 301 09</b>	
10	135	22.4	16	6.3	4.5	<b>5754 301 10</b>	
11	145	24	17.2	6.8	4.9	<b>5754 301 11</b>	1/50
12	155	26.3	18.5	7.2	5	<b>5754 301 12</b>	
13	165	28.3	19.8	8.3	5.6	<b>5754 301 13</b>	
14	171	30	21.2	8.5	5.7	<b>5754 301 14</b>	
15	185	31.9	22.6	9.2	6.1	<b>5754 301 15</b>	
16	195	34	24.1	9.3	6.5	<b>5754 301 16</b>	1/10
17	210	35.2	25.3	9.6	6.8	<b>5754 301 17</b>	
18	220	37.5	27.2	10.1	7.2	<b>5754 301 18</b>	
19	230	39.7	28.4	10.2	7.3	<b>5754 301 19</b>	
20	240	41.4	29.5	10.8	7.4	<b>5754 301 20</b>	
21	245	43.2	31.4	11.1	7.6	<b>5754 301 21</b>	1/10
22	248	45.3	32.4	11.7	7.9	<b>5754 301 22</b>	
23	260	47.5	34.8	12.2	8.1	<b>5754 301 23</b>	
24	270	49.5	35.5	12.8	8.4	<b>5754 301 24</b>	
25	282	51	36.4	13	8.7	<b>5754 301 25</b>	
26	290	53.5	37.9	13.3	9.1	<b>5754 301 26</b>	1/5
27	300	54.8	39.4	13.9	9.1	<b>5754 301 27</b>	
28	310	56.8	42	14.8	9.7	<b>5754 301 28</b>	
29	330	60.1	43.2	15.2	9.9	<b>5754 301 29</b>	
30	330	60.1	43.2	15.2	9.9	<b>5754 301 30</b>	
32	350	64	46.5	15.9	10.2	<b>5754 301 32</b>	1/5
34	380	71.4	50.3	16.6	11	<b>5754 301 34</b>	
36	400	76.7	52.8	19.3	11.6	<b>5754 301 36</b>	

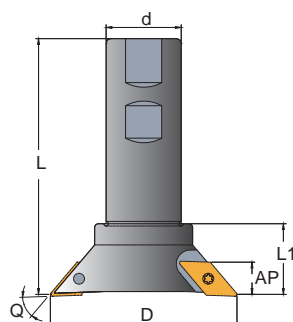
Set		Art. No.	U/E
	mm		
17 pcs	6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22	<b>5754 301 41</b>	1





# PRODUCT SPECIFICATIONS

## Dovetails

- Insert P. 255
- Cutting Data P. 255 - 256



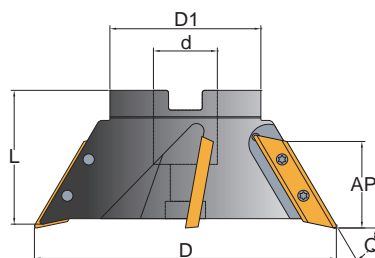
XD



Order code	Dimensions(mm)								MAX RPM	Insert	Screw	Key
	D	d	Q	L	AP	L1						
XD2040-50	40	20	50	100	10	30	2	0.5	17000	XDGT 120308	C03507	T10P
XD2040-55			55		10.5							
XD2040-60			60		11							
XD3260-50	60	32	50	110	14	30	3	0.9	7500	XDGT 190408	C04011	T15P
XD3260-55			55		15							
XD3260-60			60		16							
XD3280-50	80	32	50	110	14	30	4	1.2	6500	XDGT 190408	C04011	T15P
XD3280-55			55		15							
XD3280-60			60		16							

## Dovetail Milling Cutter

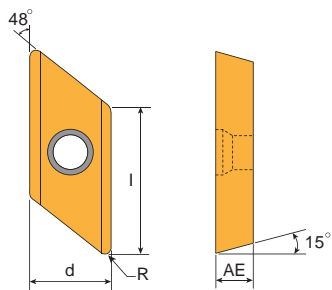
- Insert P. 255
- Cutting Data P. 255 - 256

XV



Order code	Dimensions(mm)							 KG	MAX RPM	Insert	Screw	Key
	D	D1	d	L	AP	Q						
XV120-50-25.4	120	60	25.4	55	31	50	4	1.2	6000	XDGT 400408	C04011	T15P
XV120-55-25.4					33	55						
XV120-60-25.4					35	60						
XV120-50-27			27		31	50						
XV120-55-27					33	55						
XV120-60-27					35	60						

## Recommended Insert Grade



Tolerances (± mm)

	d	AE	l
XDGT12	±0.03	±0.025	±0.03
XDGT19	±0.03	±0.025	±0.03
XDGT40	±0.03	±0.025	±0.03

Size	Dimensions in mm				
	l	d	AE	Q	Q1
12	12	8.5	3.18	-	-
19	19	10.6	4.76	-	-
40	40	10.6	4.76	-	-

Inserts	Part No .	Grades									
		Coated					cermet		Uncoated		
		B100	C200	C250	F20	F30	CE25	CE60	K10	CE	
	XDGT120308R-E										
	XDGT120308R-ME	◎									
	XDGT120308TR-M	◎									
	XDGT190408R-E										
	XDGT190408R-ME	◎									
	XDGT190408TR -M	◎									
	XDGT400408R-E										
	XDGT400408R-ME	◎									
	XDGT400408TR-M	◎									

Inserts 10 PCS / Box

Inserts 2 PCS / Box

- Steel ■ Stainless Steel ◎ Steel / Stainless Steel ■ Cast Iron ■ Aluminum
- Correct price and stock are based on current situation
- Please specify model number and grade of insert, ie.: XDGT120308R-E, F20

### XDGT Instert Grade Selection

### Data reference

Material Group No.	Recom. feed fz mm/tooth	Insert		
		XDGT ... M	XDGT ... ME	XDGT ... E
1	0.08-0.25	C250/B100	B100	-
2	0.08-0.25	C250/B100	B100	-
3	0.08-0.25	C250/B100	B100	-
4	0.08-0.25	C250/B100	B100	-
5	0.06-0.20	C250/B100	B100	-
6	0.06-0.20	C250/B100	B100	-
7	0.08-0.15	C250/B100	B100	-
8	0.08-0.15	-	B100	-
9	0.07-0.15	-	B100	-
10	0.06-0.15	-	B100	-
11	0.10-0.15	-	B100	-
12	0.10-0.25	-	F30	-
13	0.10-0.25	-	F30	-
14	0.10-0.20	-	F30	-
15	0.05-0.20	-	F30	-
16	0.05-0.25	-	-	F20
17	0.06-0.25	-	-	F20
18	0.06-0.25	-	-	F20
19	0.05-0.08	-	B100	-
20	0.05-0.08	-	B100	-
21	0.06-0.08	-	B100	-
22	0.05-0.08	-	B100	-

## Mounting methods

**Mounting** Due to the different types and sizes of rolling bearings, they cannot all be mounted using the same method. A distinction is made between mechanical, hydraulic and thermal methods.

In the mounting of non-separable bearings, *Figure 1*, the mounting forces must always be applied to the ring with a tight fit. Any forces applied to the ring with a loose fit would be transmitted by the rolling elements, which could cause damage to the raceways and rolling elements. Heating of the housing causes expansion of the bearing seat and thus makes the mounting process considerably easier.

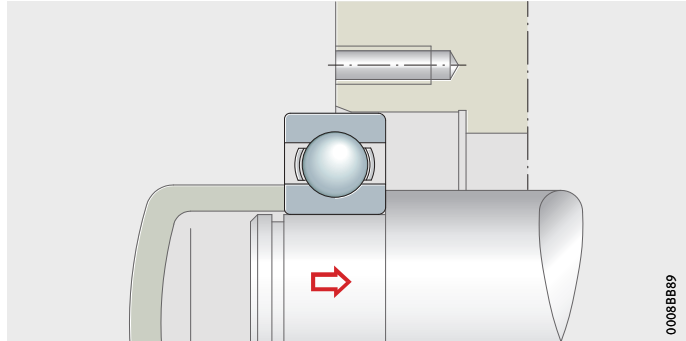


Figure 1  
Mounting  
of a non-separable bearing

In the case of separable bearings, *Figure 2*, mounting is simpler; both rings can be mounted individually. Rotating the ring during mounting gives a screwdriver effect that will help to avoid scraping marks.

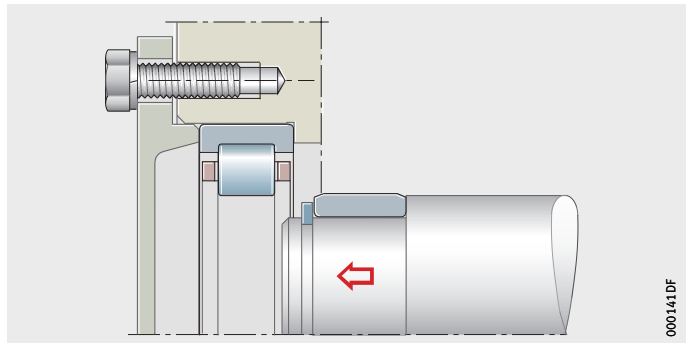


Figure 2  
Mounting  
of a separable bearing

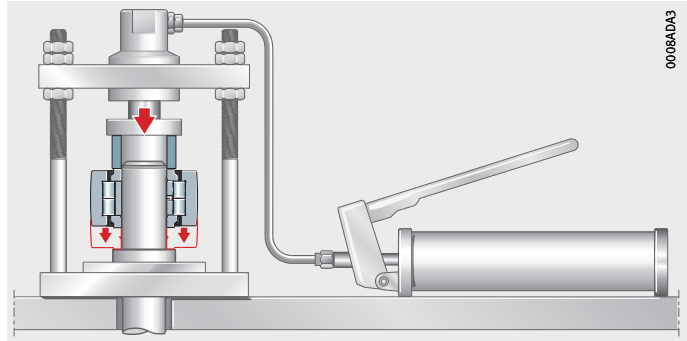
## Mechanical mounting

Smaller rolling bearings can often be mounted by purely mechanical means if the bearing seat is not too tight. It must be ensured, however, that the forces applied in this case do not cause damage to the bearings or their seating surfaces. The use of suitable tools and compliance with certain specifications is helpful in avoiding this.

### Mounting of cylindrical seats

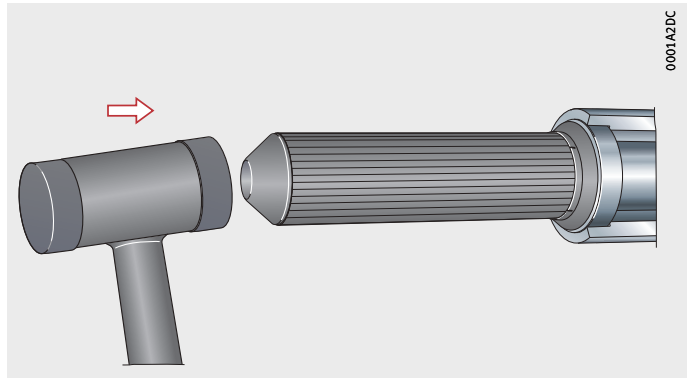
Bearings up to a bore diameter of approx. 80 mm can be pressed onto the shaft where a cylindrical seat is present. It is recommended that a mechanical or hydraulic press is used in this case, *Figure 3*.

Figure 3  
Mounting  
by means of a hydraulic press



If a press is not available, bearings with a bore diameter up to 50 mm can also be driven onto the shaft by means of light hammer blows if the fits are not too tight. Since the hardened bearing rings are sensitive to impact load, it is recommended that aluminium mounting sleeves and plastic mounting rings are used, in which case the mounting forces are transmitted by means of form fit. This method can also be used for the mounting of sleeves, intermediate rings, seals and similar parts, *Figure 4*.

Figure 4  
Mounting  
using mounting sleeve



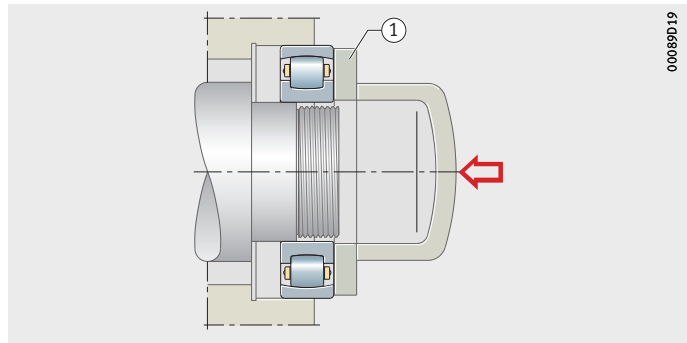
## Mounting methods

When selecting the dimensions of the mounting sleeve or mounting ring, it must be ensured that the mounting forces are applied over the largest possible circumference but without creating any risk that the cage or rolling elements will be damaged.

If a bearing is to be simultaneously pressed onto the shaft and into the housing, a disc must be used that is in contact with both bearing rings; this prevents tilting of the outer ring in the housing, *Figure 5*.

① Mounting disc

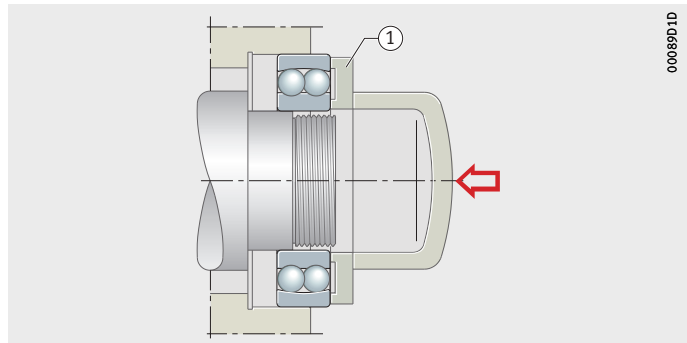
Figure 5  
Simultaneous pressing  
into place using mounting disc



In some bearings, the rolling elements or bearing cage project at the sides. In this case, a recess must be produced in the disc by means of turning, *Figure 6*.

① Mounting disc

Figure 6  
Pressing into place  
of self-aligning ball bearings  
with adapted mounting disc



If very tight fits are specified, even small bearings should be mounted after heating.

In the case of housings made from light metal or with a press fit, the seating surfaces can be damaged if the outer ring is pressed into the housing bore. In this case, the housing must be heated.

### Mounting of tapered seats

Bearings with a tapered bore are mounted either directly on the tapered shaft or journal or by means of an adapter sleeve or withdrawal sleeve on the cylindrical shaft.

Before mounting, the bearing bore and the seating surfaces on the shaft and sleeve must be cleaned. No mounting paste or similar lubricant should be used. A layer of lubricant would reduce the friction and thus facilitate mounting; in operation, however, the lubricant is gradually squeezed out of the fit joint. As a result, the tight fit is lost and the ring or sleeve begins to creep, causing fretting of the surfaces.

When the bearing is slid onto the taper, the inner ring is expanded and the radial internal clearance is thus reduced. The reduction in radial internal clearance is therefore valid as a measure of the seating of the inner ring.

The reduction in radial internal clearance is determined by the difference in the radial internal clearance before and after mounting of the bearing. The radial internal clearance must first be measured before mounting; during pressing onto the taper, the radial internal clearance must be checked continuously until the required reduction in internal clearance and thus the necessary tight fit is achieved, *Figure 7*.



In the case of sealed bearings, the radial internal clearance is not measured.

Instead of the reduction in radial internal clearance, the axial drive-up distance on the taper can be measured. In the case of the normal taper 1:12 of the inner ring bore, the drive-up distance corresponds to approximately fifteen times the reduction in radial internal clearance. The factor 15 takes into consideration that the interference of the fit surfaces acts only to the extent of 75% to 80% as expansion of the inner ring raceway.

If neither the reduction in radial internal clearance nor the drive-up distance can be reliably determined, the bearing should if possible be mounted outside the housing. The bearing may only be pressed into place so far that it can still be rotated easily and the outer ring can easily be swivelled by hand. The fitter must be able to sense when the located bearing still runs freely.

If a dismantled bearing is mounted again, it is not sufficient to move the retaining nut to its earlier position. After longer periods of operation, the fit loosens again since the thread undergoes settling and the seating surfaces become smoothed. The reduction in radial internal clearance, the drive-up distance or the expansion must therefore also be measured in this case.



Figure 7  
Measurement of radial internal clearance using feeler gauges

In order to press the bearing onto the tapered seat or press in a withdrawal sleeve, mechanical or hydraulic presses are used. The type of mounting to be selected in the individual case is dependent on the mounting conditions.

## Mounting methods

Hook wrenches can be used to tighten and loosen locknuts (precision locknuts) on shafts, adapter sleeves or withdrawal sleeves, *Figure 8*. Hook wrenches can be used to mount small and medium-sized rolling bearings on tapered shaft seats, adapter sleeves or withdrawal sleeves. If no torque value is specified, jointed hook wrenches, jointed pin wrenches and jointed face wrenches can be used for locknuts and precision locknuts.



Figure 8  
Hook wrench

Small bearings with an adapter sleeve are slid onto the tapered seat of the sleeve by means of the adapter sleeve nut and a hook wrench, *Figure 9*.

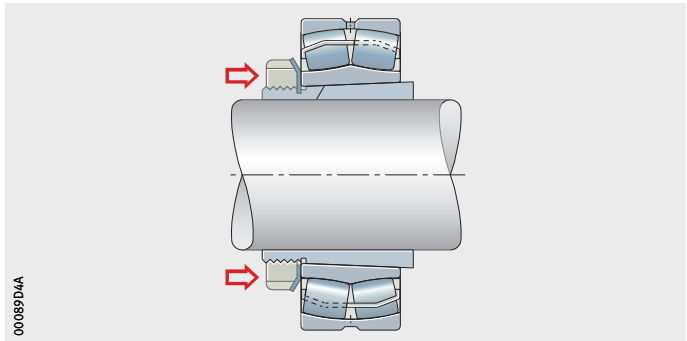


Figure 9  
Pressing a spherical roller bearing onto an adapter sleeve using the adapter sleeve nut

Small withdrawal sleeves are pressed into the gap between the shaft and inner ring bore using a locknut, *Figure 10*.

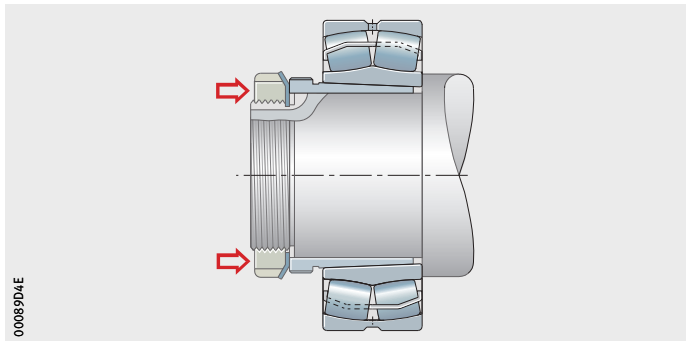


Figure 10  
Pressing into place a withdrawal sleeve using the shaft nut

### Double hook wrenches

Double hook wrenches are intended for the mounting of smaller self-aligning ball bearings and spherical roller bearings on adapter sleeves. They contain torque wrenches for precisely determining the initial mounting position before the bearing is pushed into place.

Each double hook wrench is engraved with torsion angles so that the drive-up distance and reduction in radial internal clearance can be precisely set, *Figure 11*.

Measurement of the radial internal clearance is difficult especially in the case of smaller self-aligning ball bearings and spherical roller bearings. If the bearing is mounted in a housing, it is not possible to measure the radial internal clearance in some cases.

As a result, measurement is often dispensed with and the radial internal clearance is estimated in approximate terms by means of the method normally used in the past. In this case, the rolling bearing is pressed onto the adapter sleeve until the outer ring can still be freely rotated and slight resistance is felt under swivelling.

With the method we recommend, the radial internal clearance can be set very accurately. The radial internal clearance is reduced in two stages. First, the locknut is lightly tightened to a specified tightening torque. This gives a precisely defined initial position and the radial internal clearance is then set very accurately in the second stage.

The locknut is then tightened by a defined angle. The radial internal clearance has now been reduced by the recommended 60% to 70%.



Figure 11  
Mounting  
by means of double hook wrench

## Mounting methods

### Shaft nuts with pressure screws

In the case of larger bearings, considerable forces are required in order to tighten the nuts. In such cases, mounting is made easier by means of the shaft nut with pressure screws shown in *Figure 12*. A spacer ring should be inserted between the nut and sleeve in order to prevent damage to the sleeve.

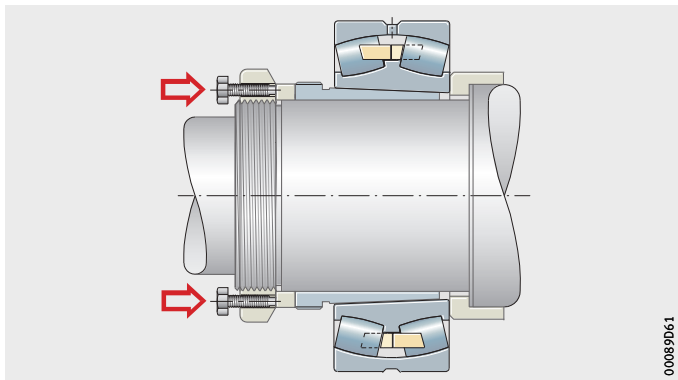


Figure 12  
Mounting by means of shaft nut  
with pressure screws

In order to prevent tilting of the bearing or sleeve, the nut is first tightened only to the point where the nut and mounting ring are fully in contact. The pressure screws are made from quenched and tempered steel and uniformly distributed over the circumference – their quantity is based on the forces required – and are tightened uniformly in a circular sequence until the necessary reduction in radial internal clearance is achieved. Since the taper connection is self-locking, the device can then be removed and the bearing secured by means of its own retaining nut. The principle can also be applied to bearings that are located on an adapter sleeve or directly on a tapered journal.

For the mounting of large bearings, it is advisable to use hydraulic methods in order to slide the bearing into place or press in the sleeve.

### Further information

This PDF file is part of “medias” (medias.schaeffler.de). Please also take note of all other information provided there (Internet pages, PDF files), where this information is applicable to your task.?

## Mounting methods

### Mounting

Due to the different types and sizes of rolling bearings, they cannot all be mounted using the same method. A distinction is made between mechanical, hydraulic and thermal methods.

In the mounting of non-separable bearings, *Figure 1*, the mounting forces must always be applied to the ring with a tight fit. Any forces applied to the ring with a loose fit would be transmitted by the rolling elements, which could cause damage to the raceways and rolling elements. Heating of the housing causes expansion of the bearing seat and thus makes the mounting process considerably easier.

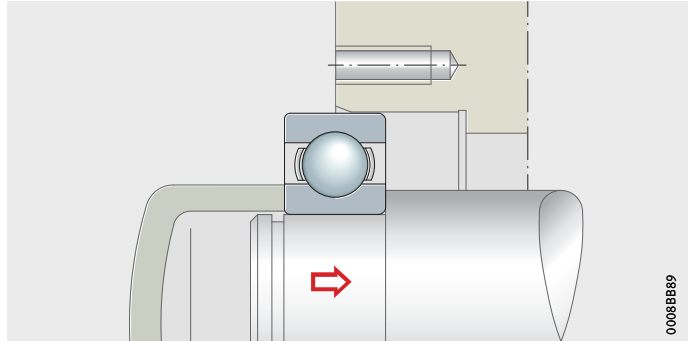


Figure 1  
Mounting  
of a non-separable bearing

In the case of separable bearings, *Figure 2*, mounting is simpler; both rings can be mounted individually. Rotating the ring during mounting gives a screwdriver effect that will help to avoid scraping marks.

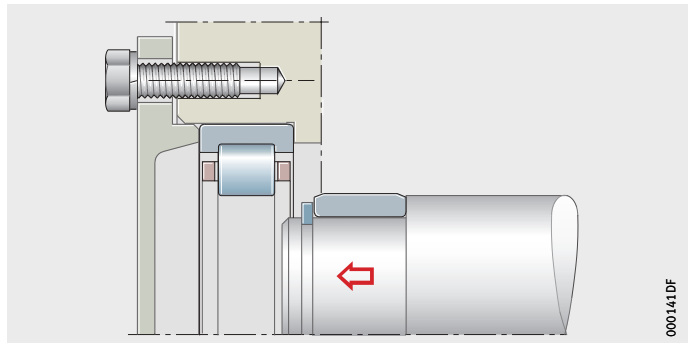
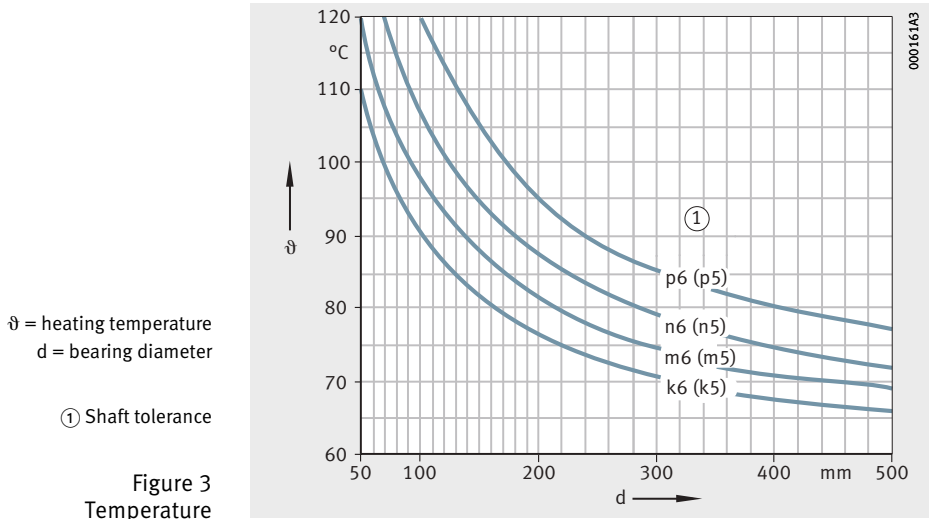


Figure 2  
Mounting  
of a separable bearing

## Thermal mounting

Bearings with a cylindrical bore should be heated before mounting if a tight fit on the shaft is intended and the effort required for pressing into place by mechanical means is too great. The temperature required for mounting is shown in *Figure 3*. The data are valid for maximum fit interference, a room temperature of +20 °C and an excess temperature safety margin of 30 K.



When heating the bearings, the temperature must be precisely monitored. An excessive temperature differential between the individual components can lead to distortion with the bearing and thus to damage. In addition, the heating temperature must not normally exceed +120 °C, in order to prevent changes to the structure and hardness of the bearing.

Bearings with cages made from glass fibre reinforced polyamide and bearings that are sealed or have already been greased can be heated to max. +80 °C but not, however, in an oil bath.

After heating, the parts are slid in a single movement, rapidly and without tilting, up to the stop on the seat. While sliding onto the shaft, slight rotation to give a screwdriver effect helps to achieve prompt mounting. Protective gloves should be worn when mounting the heated parts, *Figure 4*, page 4.

## Mounting methods



Figure 4  
Sliding into place  
of heated bearing parts

Once the inner ring has been slid in place, it must immediately be secured against its axial abutment point and held under tension until it has cooled, so that it then remains in full contact. There must not be any gap between two rings positioned adjacent to each other.

### Induction heating device

Rolling bearings can be brought to mounting temperature quickly, safely and above all cleanly by the use of induction heating devices operating by the transformer principle. The devices are used mainly in batch mounting work.

The heating devices can be used to heat rolling bearings of all types, including greased and sealed bearings. The smallest heating device is used for bearings with a bore of 10 mm or larger, *Figure 5*. The maximum bearing mass for the heating device shown here, for example, is 40 kg.



Figure 5  
Small heating device

The operating range of the largest heating device starts at a bore of 85 mm, *Figure 6*. The heaviest workpiece mass can be up to 1 200 kg.



Figure 6  
Large heating device

After the heating process, the bearing is automatically demagnetised. Further details on induction heating devices are given in TPI 200, FAG Heating Devices for Mounting of Rolling Bearings.

#### Heating plate

Heating plates are used to heat rolling bearings or small machine parts by means of contact heat. It must be ensured, however, that the entire bearing is heated uniformly, *Figure 7*.

A ring or disc is placed between a heating plate without temperature control and the inner ring of a bearing with a polyamide cage.



Figure 7  
Heating process with a temperature-controlled heating plate

## Mounting methods

**Oil bath** With the exception of sealed, greased bearings and high precision bearings, rolling bearings of all sizes and types can be heated in an oil bath. For heating, a clean oil with a flash point above +250 °C must be used. A thermostatic controller is advisable (temperature +80 °C to +120 °C). In order that the bearings are heated uniformly and no deposits of contamination occur within them, they should be laid on a grid or suspended in the oil bath. After heating, the oil must be allowed to drain off thoroughly and all fit and locating surfaces must be carefully wiped.



With this method, please note the risk of accidents, environmental pollution by oil vapour and flammability of hot oil.

**Heating cabinet** Safe, clean heating of rolling bearings can be carried out in a heating cabinet. The temperature is controlled by means of a thermostat and is therefore precisely maintained. There is almost no possibility of bearing contamination. The disadvantage is that heating by means of hot air takes a relatively long time and is comparatively intensive in terms of time and energy.

**Medium frequency technology** With the aid of FAG devices using medium frequency technology, it is possible to heat very large and heavy bearings as well as other components of shrink fit connections by inductive means in order to achieve joining and loosening. Due to its compact construction, the device can also be used for mobile operation.

The heating device comprises the medium frequency generator and an inductor, *Figure 8*. Depending on the application, this can be of a flexible or rigid design. The flexible version is similar to a cable that is placed either within the bore or on the outside of the workpiece. Flexible inductors are suitable for workpieces of various sizes and various shapes and can be used for long periods at heating temperatures up to +150 °C.

- ① Generator
- ② Flexible inductor
- ③ Subframe
- ④ Temperature sensor

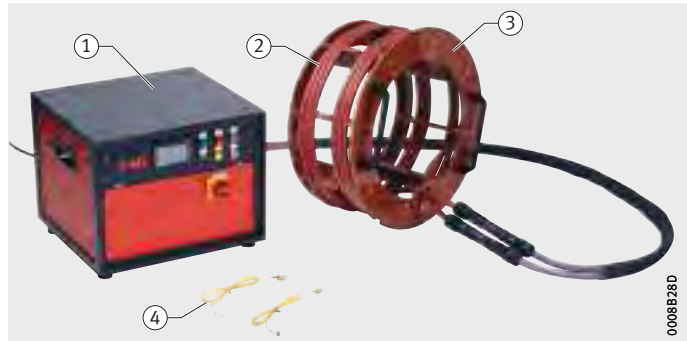


Figure 8  
FAG medium frequency  
heating device

In batch production applications, where large quantities of identical components are mounted, flexibility is less important than reduced setup times and increased process reliability. Rigid inductors are suitable for this task. In this design, the coil is fitted in a housing matched to the workpiece and can thus be placed quickly and easily in the heating zone. Rigid inductors are also suitable, in contrast to the flexible variant, for small components.



In the heating of non-separable bearings, the outer ring must be heated first so that the internal clearance is maintained and damage to the bearing is prevented.



The devices are designed for the specific application. Please contact the application experts at Schaeffler.

#### Advantages

- Versatile application possibilities by means of flexible inductors.
- Ease of transport – usable anywhere.
- Rapid, energy-efficient operation.
- Short heating times and high productivity.

#### Further information

- TPI 217, FAG Medium Frequency Heating Devices.

#### Further information

This PDF file is part of “medias” (medias.schaeffler.de). Please also take note of all other information provided there (Internet pages, PDF files), where this information is applicable to your task.?

## Dismounting of rolling bearings

### Dismounting methods

In order to prevent damage during the dismounting of bearings, various dismounting methods are used depending on the bearing size and type of application that facilitate the reuse of components. In general, a distinction is made in the dismounting of bearings between mechanical, thermal and hydraulic methods. Before dismounting is actually carried out, the mounting drawings and any instructions for mounting and dismounting must be carefully checked. In case of doubt, the Schaeffler expert team is available to provide advice and assistance.

### Mechanical dismounting

In the mechanical method, special extractors are normally used. It must be ensured above all that the extraction tool is positioned on the ring that has the tighter fit, otherwise the rolling elements will press into the raceways of the bearing, *Figure 1*. Furthermore, there is a risk of fracture in the case of thin-walled outer rings. In the case of non-separable bearings with a sliding seat on the shaft or housing, this adjacent component should if possible be removed before dismounting of the bearing. The force that must be used in pressing the ring off is normally considerably greater than the force used in pressing the ring on, since the ring becomes fixed in place over the course of time. Dismounting can be difficult even in the case of rings with a loose fit if fretting corrosion has formed after long periods of operation.



The following must therefore be observed:

- Avoid direct blows on the bearing rings.
- Do not direct dismounting forces through the rolling elements.



*Figure 1*  
Dismounting  
by means of extraction device

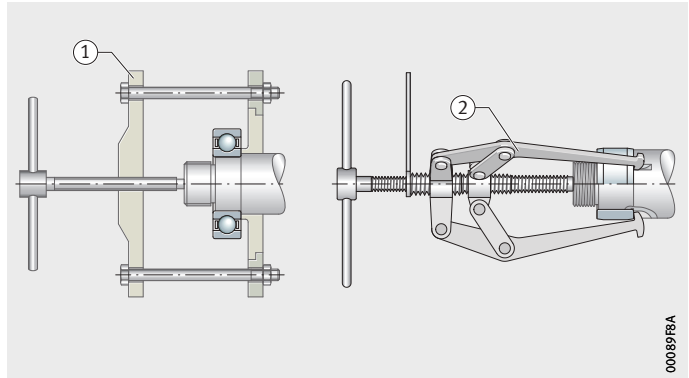
If it is not possible to avoid carrying out extraction via the rolling elements, a collar made from unhardened steel is placed around the outer ring (its thickness should be greater than  $\frac{1}{4}$  of the height of the bearing cross-section). This applies in particular to rolling bearings with a small cross-sectional height and small contact angle, such as tapered and spherical roller bearings. However, the bearings cannot be subsequently reused. The rings of separable bearings can be dismounted individually.

### Dismounting of cylindrical seats

The extraction of small bearings is normally carried out using mechanical extraction devices, *Figure 2*, or hydraulic presses, *Figure 3*, that are in contact either with the ring with a tight fit itself or with the contact parts, such as those on the labyrinth ring. These are available with a mechanical spindle and hydraulic cylinder if higher forces are required.

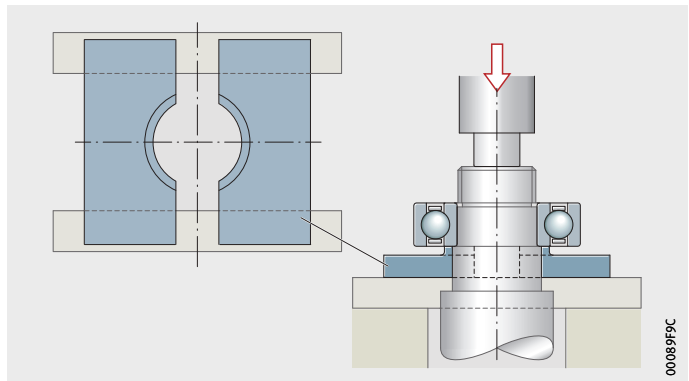
- ① Extraction device with tie rods and split ring
- ② Extraction device with three adjustable arms and extraction slot in inner ring

*Figure 2*  
Extraction device for rolling bearings



A press can also be used to assist in dismounting. It must be ensured in this case that the bearing is abutted on its inner ring in order to avoid damage. In the pressing operation, the shaft is withdrawn from the bearing.

*Figure 3*  
Dismounting using a press



Dismounting is made much easier if the design includes extraction slots so that the extraction tool can be applied directly to the bearing ring with a tight fit. A further alternative to dismounting of bearings is the use of extraction screws.

## Dismounting of rolling bearings

**Special extractors** If the rolling bearing cannot be gripped from outside, special extraction collets are used. The special extractor consists of a base device and a collet that is screwed onto the upper section of the base device, *Figure 4*. The collet is closed using the left hand thread of the union nut and clamped against the inner ring with a conical clamping ring. A threaded spindle generates the extraction force. The finger-shaped extensions of the collet engage between the rolling elements on the raceway edge of the inner ring, behind the rollers or by wedging behind the chamfer of the bearing ring.



*Figure 4*  
Special extractor

Larger collets do not include the base device. In this case, the collet is tensioned by means of a locking collar and the bearing is removed from the shaft by means of a hydraulic cylinder, *Figure 5*.



*Figure 5*  
Large extraction collet

## Internal extractors

If the shaft has already been dismantled, the bearing can also be removed from the housing by means of an internal extractor. The gripping segments of the extractor are spread when the threaded spindle is tightened. The lip of the jaws is pressed against the back of the bearing inner ring bore. With the aid of a countersupport or an impact extractor, the bearing is then withdrawn using the internal extractor. As a result, it is not generally possible to reuse the bearing.



*Figure 6*

Internal extractor

## Hydraulic pressure tool

For the loosening of tightly fitted parts, hydraulic pressure tools can also be used in conjunction with mechanical extractors, *Figure 7*. They are placed between the shaft end and extractor spindle. The spindle diameter of the extractor must not be less than the stated minimum value. The maximum torque must be observed.



*Figure 7*

Two-arm extractor  
with hydraulic pressure tool

## Dismounting of rolling bearings

### Dismounting of tapered seats

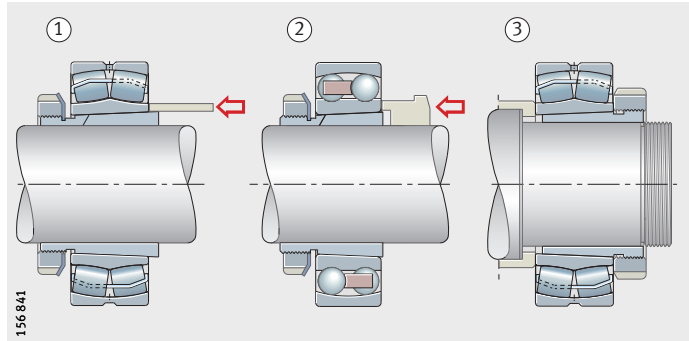
If bearings are mounted directly on a tapered shaft seat or on an adapter sleeve, the locking action of the shaft or adapter sleeve nut must be loosened first. The nut must then be unscrewed by at least the amount of the drive-up distance. The inner ring is then driven off the sleeve or shaft, for example using a metal drift or impact block, *Figure 8* ①, ②. An impact block avoids the risk of slipping.

Bearings located using withdrawal sleeves are dismantled using a withdrawal nut, *Figure 8* ③.

- ① Metal drift
- ② Impact block
- ③ Withdrawal nut

*Figure 8*

Dismounting of bearings



The dismounting of large bearings located using a withdrawal sleeve requires considerable force. In this case, locknuts with additional pressure screws can be used, *Figure 8*. A disc must be inserted between the inner ring and the pressure screws in order to prevent damage to the bearing.

### Further information

This PDF file is part of “medias” (medias.schaeffler.de). Please also take note of all other information provided there (Internet pages, PDF files), where this information is applicable to your task.?

## Dismounting of rolling bearings

### Dismounting methods

In order to prevent damage during the dismounting of bearings, various dismounting methods are used depending on the bearing size and type of application that facilitate the reuse of components. In general, a distinction is made in the dismounting of bearings between mechanical, thermal and hydraulic methods. Before dismounting is actually carried out, the mounting drawings and any instructions for mounting and dismounting must be carefully checked. In case of doubt, the Schaeffler expert team is available to provide advice and assistance.

### Hydraulic dismounting

In the oil pressure method, oil is pressed between the fit surfaces. The oil film substantially neutralises the contact between the fit parts, so they can be displaced relative to each other with the application of little force and without the risk of surface damage.

The oil pressure method is suitable for dismounting in the case of both tapered and cylindrical seats. In both cases, oil grooves and feed ducts as well as threaded connectors for the pressure generation devices must be provided. Large adapter and withdrawal sleeves have appropriate grooves and holes.

For the dismounting of bearings with a tapered bore that are located directly on the shaft, injectors are sufficient as pressure generation devices. For bearings with cylindrical bores and where adapter and withdrawal sleeves are present, a pump must be used.

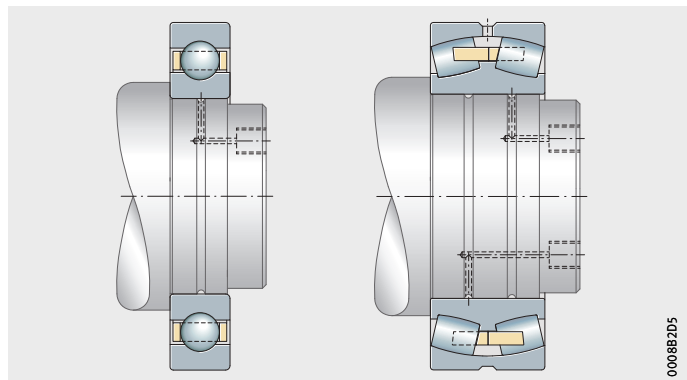
For dismounting, the same oils are used as for mounting, which means oils with a viscosity of approx.  $75 \text{ mm}^2/\text{s}$  at  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  (nominal viscosity  $32 \text{ mm}^2/\text{s}$  at  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Fretting corrosion can be dissolved by rust-dissolving additives in the oil.

### Dismounting of cylindrical bearing bore

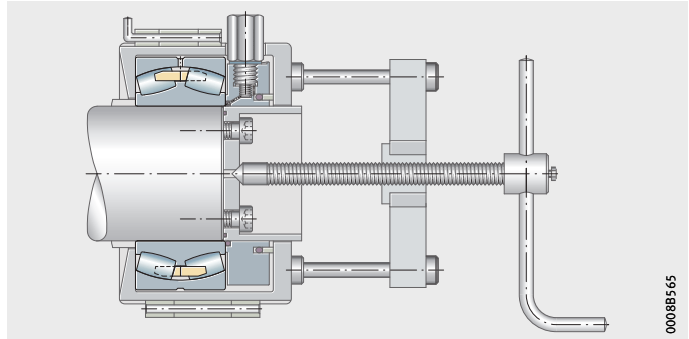
In the dismounting of bearings with a cylindrical bore, the oil pressure method is normally only used in a supporting function for mechanical tools. The specific extraction device is first placed on the ring with fit and oil under pressure is then pumped into the oil grooves, *Figure 1*.

This neutralises the fit and the bearing can be removed, for example by means of a mechanical extractor.

*Figure 1*  
Hydraulic dismounting of cylindrical seat



If there are no grooves and ducts in the shaft, for example for reasons of strength, the oil can be pressed between the fit surfaces from the end face of the inner ring. A sealed contact ring is located at the front end of the interference fit, through which the oil is pressed into the fit joint. A container fixed to the end of the shaft makes it possible to press oil between the fit surfaces until the end of the extraction process. If it is not possible to fit such a container, a very stiff oil with a viscosity of  $320 \text{ mm}^2/\text{s}$  (cSt) at  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$  must be used. With an oil of such stiffness, the oil film remains in the fit joint for up to 5 minutes. This time is sufficient for extraction of the bearing.



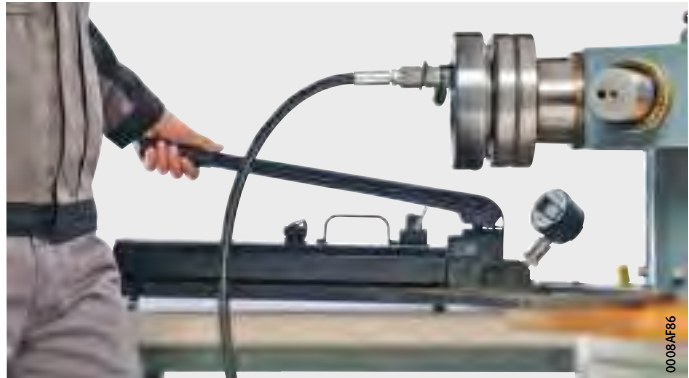
*Figure 2*  
Special device for extraction  
from a shaft without oil grooves

#### Dismounting of tapered bore

In the extraction of bearings located on a tapered shaft journal, a withdrawal sleeve or an adapter sleeve, it is only necessary to press oil between the fit surfaces.



The interference fit becomes loose abruptly. Due to the risk of accidents, axial movement of the rolling bearing or withdrawal sleeve during dismounting must be restricted by a shaft nut, adapter sleeve nut or a stop, *Figure 3*.



*Figure 3*  
Hydraulic dismounting  
of tapered seat

## Dismounting of rolling bearings

Dismounting is sometimes made more difficult by fretting corrosion. The use of a rust-dissolving hydraulic fluid is recommended, especially in the case of bearings that are dismantled after a long period of operation. In difficult cases, removal of the withdrawal sleeve can be supported by the extraction nut, *Figure 4*. If pressure screws are present in the withdrawal sleeve nut, an intermediate ring must be inserted in order that the extraction forces do not act directly on the rib of the rolling bearing ring.

Dismounting of a withdrawal sleeve:

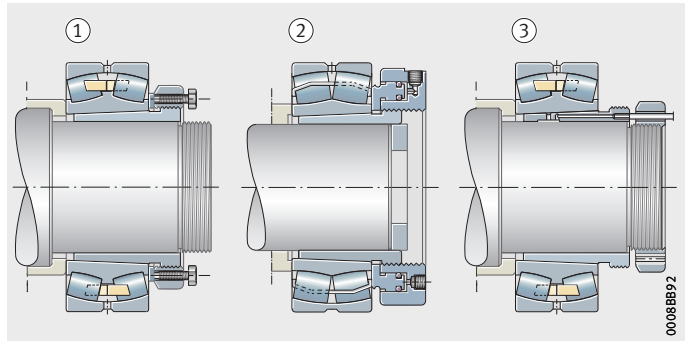
- ① Using a nut and pressure screws
- ② Using a hydraulic nut

Dismounting of a spherical roller bearing from the withdrawal sleeve:

- ③ Using the hydraulic method

*Figure 4*

Dismounting of a withdrawal sleeve and spherical roller bearing



### Further information

This PDF file is part of “medias” (medias.schaeffler.de). Please also take note of all other information provided there (Internet pages, PDF files), where this information is applicable to your task.?