

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS**

PRESENTADO POR:

MELVIN ISAÍ BERMÚDEZ PEÑA

GERARDO RENÉ CASTANEDA LARA

GUILLERMO JOSÉ NÁJERA HENRÍQUEZ

JOSUÉ ISAÍ PORTILLO HERNÁNDEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2017

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL :

MSC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título :

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS**

Presentado por :

MELVIN ISAÍ BERMÚDEZ PEÑA

GERARDO RENÉ CASTANEDA LARA

GUILLERMO JOSÉ NÁJERA HENRÍQUEZ

JOSUÉ ISAÍ PORTILLO HERNÁNDEZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS

Estudiantes: Br Melvin Isaí Bermúdez Peña, Br. Gerardo René Castaneda Lara,
Br. Guillermo José Nájera Henríquez & Br. Josué Isaí Portillo Hernández

Docente asesor: Ing. Rigoberto Velásquez Paz.

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador

RESUMEN

Se ha efectuado el diseño de un módulo de taladrado y su posterior construcción para el uso pedagógico en la Escuela de Ingeniería Mecánica, en el proceso de diseño se consideraron dimensiones apropiadas del módulo de tal forma que facilite la posibilidad a futuro de combinarle otros equipos.

Se definió primero que debería ser un sistema de trabajo en simultaneo, luego se procedió a establecer el número de las operaciones a programar, y su orden dentro de la secuencia, al final se obtuvo como resultado cinco operaciones, tres de los cuales corresponden a procesos de interacción herramienta/equipo con la pieza de trabajo y dos que son la entrada y salida de las mismas. De esta forma es que se supeditan las subsecuentes variables, como la fabricación de una mesa circular que consta de cinco cavidades para realizar las operaciones en simultaneo, la selección de un motor de paso que brinde el giro parcial necesario para poder controlar con mayor exactitud y precisión el ángulo, para posicionar las piezas donde se encuentran las herramientas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1. ELEMENTOS ELECTRONEUMÁTICOS	4
1.1.1. Aire comprimido	4
1.1.2. Distribución de aire	18
1.1.3. Unidad de mantenimiento	24
1.1.4. Válvulas neumáticas	30
1.1.5. Cilindros neumáticos	40
1.2. CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE	54
1.2.1. Definición PLC	54
1.2.2. Campos de aplicación	55
1.2.3. Ventajas y desventajas	56
1.2.4. Modo de funcionamiento	57
1.2.5. Estructura básica de un PLC	58
1.2.6. Clasificación de PLC	63
1.2.7. Criterios para la selección de un PLC	65
1.2.8. Programación PLC	72
2. DISEÑO MECÁNICO Y ELECTRONEUMÁTICO	85
2.1. Diseño mecánico	85
2.1.1. Consideraciones generales	85
2.1.2. Dimensionamiento de piezas a trabajar en bruto	86
2.1.3. Diseño de mesa de trabajo	90
2.1.4. Cálculo de peso y geometría de la mesa	91
2.1.5. Estimación de fuerza de perforación	93
2.1.6. Diseño de eje	94

2.1.7.	Selección de cojinetes	96
2.1.8.	Selección de tornillos de sujeción de mesa – eje	100
2.1.9.	Diseño del tornillo sinfín y del engrane helicoidal	107
2.1.10.	Selección de motor	109
2.2.	Diseño electroneumático	110
2.2.1.	Descripción de componentes	110
2.2.2.	Diseño neumático.....	114
2.2.3.	Cálculo de presión y caudal	115
2.3.	Diseño eléctrico	118
3.	MANUALES DEL SISTEMA DE TALADRADO.....	130
3.1.	Manual de ensamblaje del equipo	130
3.2.	Manual de operación	141
3.3.	Recomendaciones de mantenimiento.....	143
4.	CONCLUSIONES	147
5.	RECOMENDACIONES.....	148
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
7.	ANEXOS.....	153
	Costos	153
	Datos técnicos PLC SIEMENS CPU 1214C.....	154
	Datos técnicos pistones MINDMAN	159
	Datos técnicos electroválvulas MINDMAN	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tipo de compresores	8
Figura 1.2 Compresor reciprocante	9
Figura 1.3 Admisión y descarga de aire.....	9
Figura 1.4 Compresor multigradual	10
Figura 1.5 Interenfriamiento	11
Figura 1.6 Compresor de paletas deslizantes.	12
Figura 1.7 Detalle de un compresor de tornillo	13
Figura 1.8 Compresor de lóbulos	13
Figura 1.9 Esquema de un compresor centrífugo	14
Figura 1.10 Esquema compresor de flujo axial	15
Figura 1.11 Funcionamiento de un filtro húmedo	17
Figura 1.12 Secado por absorción	17
Figura 1.13 Secado por adsorción	18
Figura 1.14 Sistema alimentación de aire	22
Figura 1.15 Tubería circular	23
Figura 1.16 Red con tubo circular e interconexiones	23
Figura 1.17 Válvula reguladora de presión, con salida de descarga. Dibujos en sección y símbolo	25
Figura 1.18 Válvula reguladora de presión, sin salida de descarga. Dibujo en sección y símbolo	26
Figura 1.19 Filtro de aire comprimido	27
Figura 1.20 Lubricador de aire comprimido	30
Figura 1.21. Estructura de los sistemas neumáticos	31
Figura 1.22 Válvulas de bloqueo	35
Figura 1.23 Esquema y símbolos de válvulas reguladora de presión	37

Figura 1.24 Símbolo de válvula de secuencia	37
Figura 1.25 Válvula de caudal unidireccional.....	39
Figura 1.26 Válvulas de caudal bidireccional.....	39
Figura 1.27 Esquema y símbolo para válvulas de escape rápido.....	40
Figura 1.28 Cilindro de simple acción	42
Figura 1.29 Dos tipos de cilindros de simple acción.	42
Figura 1.30 Vista desarrollada de un cilindro de simple acción	44
Figura 1.31 Cilindro de doble acción.....	46
Figura 1.32 Tipos de cilindros de doble acción.....	46
Figura 1.33 Calculo de la fuerza del cilindro.	53
Figura 1.34 Esquema de la estructura básica de un PLC junto con sus componentes	59
Figura 1.35 PLC tipo compacto	64
Figura 1.36 PLC tipo modular	65
Figura 1.37 Ejemplo de SFC	74
Figura 1.38 Ejemplo de programación utilizando diagrama de bloques.....	76
Figura 1.39 Ejemplo de diagrama de bloques usando funciones lógicas.	76
Figura 1.40 Ejemplos de combinaciones de diagrama bloques funcionales....	77
Figura 1.41 Ejemplo de programación con texto estructurado.....	78
Figura 1.42 Ejemplo de programación booleana.	80
Figura 1.43 Esquema de barras alimentación.	81
Figura 1.44 Ubicación de las entradas y salidas.....	81
Figura 1.45 Representación de las líneas o ramas de la escalera.....	81
Figura 1.46 Esquema de las salidas por rama.....	82
Figura 1.47 Muestra de evaluación de jerarquías.	82
Figura 1.48 Descripción de la lógica Ladder.....	83

Figura 1.49 Diagrama simplificado del cableado de un circuito de lógica de relé y el diagrama Ladder Logic equivalente.	84
Figura 2.1 Pieza final con procesos de taladrado	86
Figura 2.2 Taladro a utilizar en el proceso del sistema.....	87
Figura 2.3 Vista frontal y lateral de estación fija de taladrado.....	89
Figura 2.4 Esquema superior de estación de maquinado.....	90
Figura 2.5 Dimensiones para pieza de sujeción.	92
Figura 2.6 Fuerzas actuantes sobre la mesa	94
Figura 2.7 Momentos resultantes en el eje.	95
Figura 2.8 Eje de transmisión	96
Figura 2.9 Esquema de cojinete de bolas.....	99
Figura 2.10 Fuerzas sobre la mesa y fuerzas sobre los tornillos.	100
Figura 2.11 Distribución de los pernos y del momento resultante M.....	101
Figura 2.12 Esquema de la configuración del tornillo.	103
Figura 2.13 Cilindro mindman MCMI.	111
Figura 2.14 Válvula electroneumática mindman.	112
Figura 2.15 Válvula reguladora de caudal.	113
Figura 2.16 Unidad de mantenimiento.	114
Figura 2.17 Circuito neumático.	114
Figura 2.18 PLC Siemens S7 1200 CPU 1214C AC/DC/Relé.	122
Figura 2.19 Esquema de conexión eléctrica PLC 1214C AC/DC/Relé.	123
Figura 2.20 Configuración de E/S PLC.....	124
Figura 2.21 Arduino nano.	125
Figura 2.22 Motor paso a paso	126
Figura 2.23 Driver TB6600.....	126
Figura 2.24 conexión eléctrica Arduino – motor.....	128

Figura 2.25 Detalle de conexión driver TB6600.....	128
Figura 2.26 Detalle conexión arduino nano	129
Figura 3.1 Ensamble general de estación.....	130
Figura 3.2 Ensamble Transmisión de potencia	132
Figura 3.3 Ensamble Estación 1	134
Figura 3.4 Ensamble Estación 2	137
Figura 3.5 Ensamble Estación de medición.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Fabricantes y modelos de PLC.	66
Tabla 2.1 Elementos en estación fija de taladrado.	89
Tabla 2.2 Características de cojinetes seleccionados.	99
Tabla 2.3 Elementos del circuito neumático	115
Tabla 2.4 fuerza de empuje y fuerza del pistón en el retroceso.	116
Tabla 2.5 Consumo de aire de cilindros neumáticos	117
Tabla 2.6 Denominación de contactos de entrada.	120
Tabla 2.7 Denominación de solenoides.	121
Tabla 2.8 Tipo de datos.	124
Tabla 2.9 Características arduino nano	125
Tabla 2.10 Características motor paso a paso	126
Tabla 2.11 Características driver TB6600.	127
Tabla 2.12 Micro paso del driver.	127
Tabla 2.13 Configuración de corriente de control.	127

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.

A_s : Área transversal de la parte lisa de un perno.

E : Módulo de Elasticidad de un material determinado.

F : Representación de una fuerza en general.

f_n : Avance por revolución de taladrado.

F_b : Carga sobre un perno de la mesa circular.

M : Momento de torsión en general.

m : Masa de un cuerpo.

S_u : Esfuerzo último en tensión.

S_y : Esfuerzo de Fluencia.

V : Volumen de un sólido.

v_f : Velocidad de avance de taladrado.

W : Peso de un cuerpo.

π : Relación entre la circunferencia y su diámetro equivalente a 3.141592
aproximadamente

ρ : Densidad de un sólido.

σ : Representación del esfuerzo sobre un elemento en general.

CC: Corriente Continua o Directa

CA: Corriente Alterna

INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de nuestra historia, la humanidad siempre ha buscado formas y modos de realizar las tareas de manera más rápida y aprovechar mejor los recursos que siempre han sido escasos o limitados, esto último dado ya sea por sus escasos o por su dificultad de extracción, refinamiento, producción, o combinación con otros materiales. Un ejemplo de esto se encuentra en la agricultura, pues nuestros ancestros pasaron de ser simples recolectores de las “dativas” que la tierra les proporcionaba, a usar estas últimas para sembrar y cultivar las primordiales frutas, verduras, legumbres y tubérculos, que se convertirían después de siglos de manipulación, selección, cruces y domesticación, en las plantas modernas que ahora conocemos y consumimos y que aún seguimos modificando por medio de los avances tecnológicos y descubrimientos que la ingeniería genética nos provee, para volverlas más resistentes y más fructíferas.

Este deseo inherente en la conducta humana, de mejorar nuestra capacidad de aprovechar los recursos que la tierra nos brinda, se comenzó a utilizar otros medios para realizar aquellas actividades, que requieren de la fuerza física del mismo ser humano para dicho fin, es así como surgió aun en la antigüedad con su “limitada” capacidad de tecnología conceptos como la energía “solar”, “eólica”, “hidráulica” y “neumática”. Sin embargo, fue hasta la época de la revolución industrial cuando estos dos últimos conceptos fueron cobrando más importancia y fueron vistas sus primeras aplicaciones a una escala industrial.

En la actualidad gracias al avance exponencial en el desarrollo de componentes electrónicos, los equipos para el control de procesos industriales, cuentan con mayor flexibilidad, precisión, velocidad, seguridad y “economía” esta

última comparada con las otras opciones para la misma aplicación de control, especialmente vinculadas al medio que se utiliza para transmitir la energía, es para nuestro interés por la naturaleza del proyecto el aire, un fluido que se encuentra en abundancia en la tierra y que se puede obtener sin ningún costo.

El presente trabajo de grado está en busca de animar, promover e impulsar por medio del diseño y construcción de un equipo didáctico de taladrado automatizado en beneficio de los futuros estudiantes de la Universidad de El Salvador y en específico de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de manera que contribuya al desarrollo de sus competencias profesionales.

Este diseño es un modelo que consta de cinco estaciones las cuales tienen un rol específico, su función y orden dentro del modelo determinan muchos parámetros que se debieron considerar, mantener y respetar en el diseño, sin embargo, el diseño fue planteado con flexibilidad para que estas estaciones con rol específico, puedan en un futuro ser modificadas, adaptadas o sustituidas por otras según sea la necesidad o interés de la cátedra o de los estudiantes. Para favorecer y facilitar esta adaptabilidad del módulo, se cuenta con un equipo de autómatas programables que además de ser de vanguardia, cuenta con una buena capacidad que además puede ser mejorada por medio de expansiones para aumentar a futuro los procesos y controles que el equipo pueda realizar, de tal forma que el equipo didáctico pueda acercarse más aun a los procesos reales implementados en la industria de nuestro país. Junto con esto se estableció una interfaz de comunicación entre el autómata programable y un módulo Arduino, permitiendo así que se establezcan bases para que los estudiantes puedan experimentar la combinación de ambas tecnologías.

Es así pues como en el presente trabajo se ofrecen tres partes en las que se consideran los diferentes aspectos necesarios para la comprensión de la

temática antes planteada, estas partes están estructuradas de forma que se facilite el preámbulo para al final llegar a la completa asimilación del funcionamiento del equipo. La primera parte consta en el marco teórico, este primer capítulo aborda todos los aspectos básicos pero fundamentales, desde el punto de vista electroneumático y de lógica programable; tocando conceptos como la generación del aire comprimido y la distribución del mismo, para luego hablar de componentes puntuales y su funcionamiento que estarán presentes dentro del sistema descrito en el trabajo.

Ya teniendo claro los conceptos básicos se prosigue a establecer el diseño de los componentes que conforman el sistema, comenzando por definir las variables que nos enmarcan el desempeño que se desea y espera del equipo, para así entrar de lleno a el diseño de la mesa circular, las sujeciones de la misma, los apoyos apropiados para soportar las cargas y finalmente la transmisión de potencia; con estos componentes definidos, se continua el diseño y selección esta vez de las partes electroneumáticas y el circuito de control.

Como último contenido del documento se dan guías y manuales que faciliten el uso del equipo, así como su montaje y desmontaje y recomendaciones de mantenimiento del equipo.

1. MARCO TEÓRICO

Previo al planteamiento del diseño del proyecto es preciso establecer las bases teóricas necesarias que corresponden a la aplicación del mismo. Dicha aplicación es hacia la electroneumática la cual es, dicho de una forma, sistemas neumáticos controlados electrónicamente, es decir, que todos los procesos de un sistema neumático que involucran uso de potencia y aplicaciones de fuerza son hechos con la energía brindada por el aire comprimido, y que todas las válvulas y elementos de control son manipuladas con circuitos electrónicos ya sean simplificados o no, como cuando se usa un PLC o electrónica convencional.

1.1. ELEMENTOS ELECTRONEUMÁTICOS

Se define particularmente éste apartado con el propósito de dar una introducción al lector hacia los circuitos básicos de un sistema Electroneumática, los cuales están constituidos por una gran cantidad de diferentes elementos y se intenta englobarlos de forma generalizada para no distraer tanto la atención.

1.1.1. Aire comprimido

La neumática juega un papel importante en el sector de la industrial, debido a su creciente uso en la automatización de procesos, y cabe suponer que su importancia seguirá aumentando. Existen numerosos procesos que involucran la neumática, y sin ella sería imposible o sumamente difíciles de realizar.

La neumática está presente en casi todos los equipos utilizados en industrias como lo es la industria, alimentaria, farmacéutica, de envasado, entre otras.

El aire comprimido se utiliza en dichos procesos ya sea directamente como elemento de trabajo, para el accionamiento de actuadores o bien en combinación con equipos oleo hidráulicos, para obtener un costo reducido en ciclos de trabajo precisos en bajas velocidades. Si bien la popularidad del aire comprimido en la industria se debe a sus propiedades, en lugar de a su utilización en el proceso; entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- Generación del aire comprimido sin limitaciones ya que la materia prima es sin costo.
- Fácil distribución, no precisa recuperación.
- Fácil de acumular, ya sea en tanques o depósitos.
- Componentes de costo moderado y de fácil aplicación.
- Admite altas velocidades de trabajo, regulación de fuerzas, no tiene problemas por bloqueos.

Antes de optar por el uso de aire comprimido como medio de control o trabajo, es recomendable efectuar una comparación con otras formas de energía, considerando las ventajas y desventajas de los posibles sistemas de energía. Las desventajas más notables que presenta la neumática son:

- Antes de su utilización, debe prepararse el aire comprimido. De lo contrario los componentes neumáticos se desgastan más a causa de las partículas de suciedad y del condensado.
- La utilización del aire comprimido únicamente es un medio económico, hasta la aplicación de una fuerza determinada. Considerando la presión de funcionamiento de 0.6 hasta 0.7 MPa (6 hasta 7 bar).
- El ruido generado por el escape de aire.

Algunos de estos problemas pueden resolverse con silenciadores, y realizando un tratamiento al aire a la salida del compresor, para retirar partículas suspendidas en este.

Generación de aire comprimido ^[1]

Distintos a los líquidos que son virtualmente incomprensibles, el aire es fácilmente comprensible y puede almacenarse en grandes cantidades en recipientes relativamente pequeños. ^[1]

Es por eso por lo que se llama aire comprimido, al aire procesado por medios mecánicos, confinado en un recipiente a una determinada presión. Mientras más se comprima el aire, más alta es su presión. A mayor presión se somete el recipiente, mayor debe de ser la resistencia de este.

Para garantizar la fiabilidad de un sistema neumático es necesario alimentar al sistema de aire adecuado, por lo cual deberá tomarse en cuenta lo siguiente:

- Aire limpio
- Aire seco
- Presión adecuada

Al no cumplir estas condiciones existe la posibilidad de paralizar imprevistamente la maquinaria, o deteriorar prematuramente los tubos, válvulas, accesorios, etc., aumentando así los costos de operación y mantenimiento.

La generación de aire comprimido empieza por el proceso de compresión, el cual se realiza al interior de un compresor, que es el dispositivo encargado de aumentar la presión del aire hasta una presión determinada.

Compresores ^[2]

Antes que el aire pueda usarse para realizar el trabajo requerido en un sistema neumático, se le debe dar energía potencial en forma de presión. El compresor convierte el aire (a presión atmosférica) a aire a alta presión mediante el cambio de volumen. A medida el aire reduce su volumen, aumenta su presión.

Existen muchos tipos de compresores, así como muchas maneras de clasificarlos, tales como: por su construcción, por su presión y por los requisitos de su aplicación.

Clasificación de los compresores

Los compresores pueden clasificarse en dos tipos distintos, basándose en su principio básico de funcionamiento; compresores de desplazamiento positivo, compresores aerodinámicos y turbocompresores.

Los compresores de desplazamiento positivo confinan el aire dentro de un espacio cerrado y lo comprimen disminuyendo el volumen del espacio. A diferencia de los compresores aerodinámicos, los cuales aceleran el aire haciendo girar rápidamente un rotor. Este aumento de la corriente de aire eleva ligeramente la presión del aire, (ver figura 1.1)

a. Compresores de desplazamiento positivo ^[2]

Son unidades donde el incremento de presión se logra introduciendo un volumen de gas en un espacio determinado, que posteriormente es reducido por medios mecánicos. Los compresores de desplazamiento positivo a su vez se dividen en dos grupos: compresores reciprocantes y rotativos.

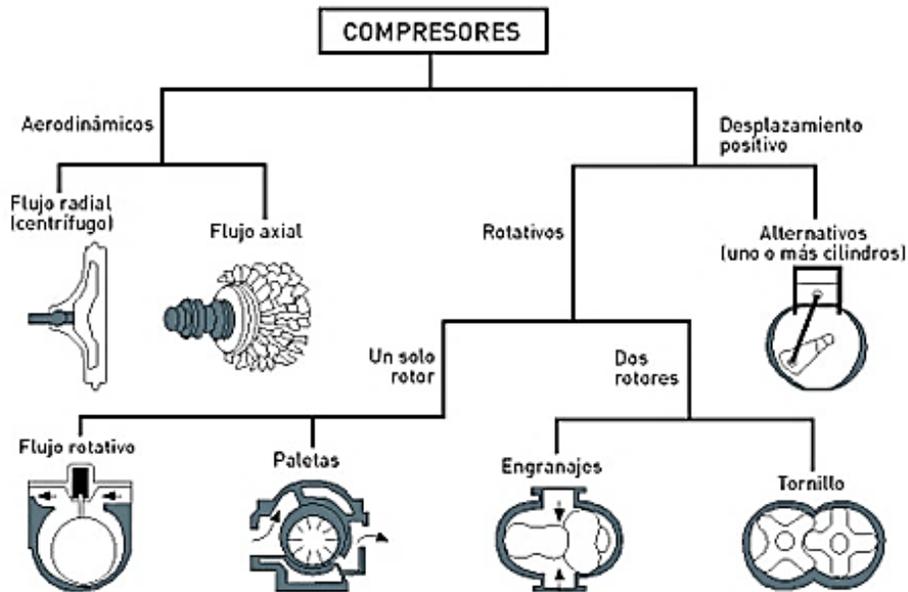


Figura 1.1 Tipo de compresores [2]

Compresores de pistón recíprocantes [2]

Un compresor recíprocante o de pistón, como se muestra en la figura 1.2, funciona de la siguiente manera: El cigüeñal del compresor se hace girar o se impulsa mediante un motor eléctrico u otra máquina motriz. El pistón está fijado a una biela mediante un pasador. El cigüeñal y la biela convierten el movimiento rotatorio en movimiento recíprocante. Cualquiera que sea el tipo de compresor que se tenga su principio de funcionamiento no difiere de un tipo a otro.

El pistón avanza y retrocede en el cilindro movido por medio de la biela y el cigüeñal; con esto el pistón realiza un recorrido de vaivén. Cuando el pistón se mueve hacia atrás crea suficiente presión negativa para permitir que el aire a presión atmosférica abra las válvulas y empuje aire al interior del espacio que se está expandiendo.

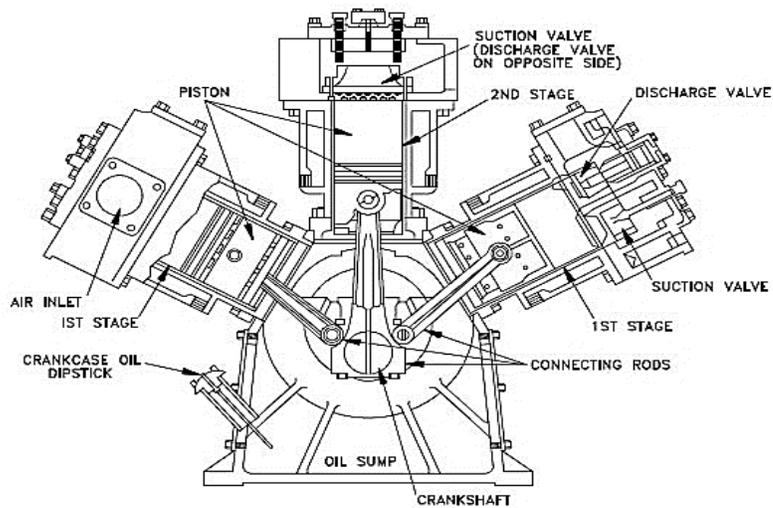


Figura 1.2 Compresor recíprocante [2]

Cuando el pistón completa su carrera y comienza su retorno, se cierran las válvulas de admisión. Ahora el pistón retorna, comprime el aire en el cilindro, una vez el pistón casi ha completado su carrera, ha comprimido el aire a una presión suficientemente alta para forzar que se abran las válvulas de descarga (ver figura 1.3). El aire que se descarga del cilindro en este punto se encuentra a la presión de descarga del compresor.

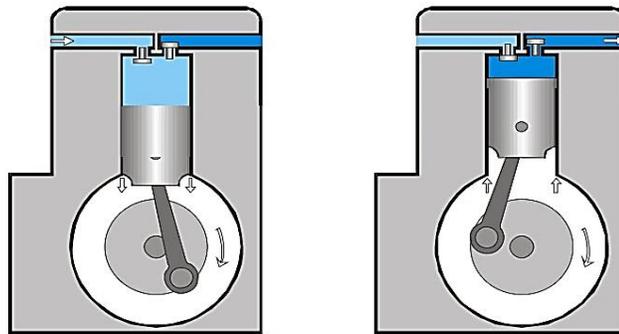


Figura 1.3 Admisión y descarga de aire.[2]

Compresores monoetápicos y multigradales

Los términos monoetápicos o multigradales describen el número de etapas o pasos que usa un compresor recíprocante para comprimir el aire a su presión final. Un compresor que extrae el aire a presión atmosférica y lo comprime hasta su presión final en una carrera se llama un compresor monoetápico.

Un compresor que extrae el aire a presión atmosférica y lo comprime en dos o más carreras, se conoce como compresor multigradales o multietápico (ver figura 1.4).

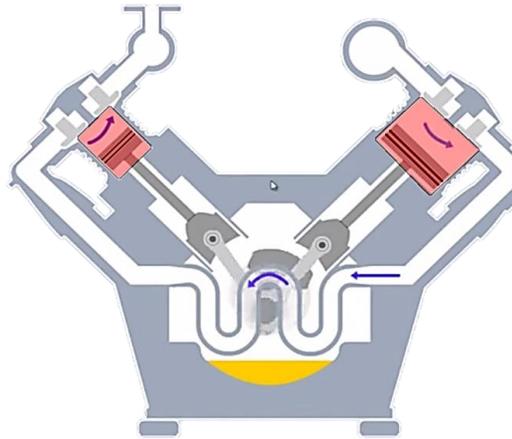


Figura 1.4 Compresor multigradales [2]

Interenfriamiento y post enfriamiento

Se sabe que durante el proceso de compresión aumenta la temperatura debido a la fricción entre las moléculas de aire y el trabajo realizado para realizar esta acción.

Reduciendo la temperatura entre etapas se reduce el volumen de aire que se comprime en la segunda etapa, y esto se traduce en una disminución de potencia para comprimir el aire hasta su presión final.

Cuando un compresor tiene varias etapas, el aire es enfriado entre ambas etapas; esto se llama interenfriamiento. Si el aire es enfriado después que sale del compresor, se dice que pasa a través de un post enfriamiento.

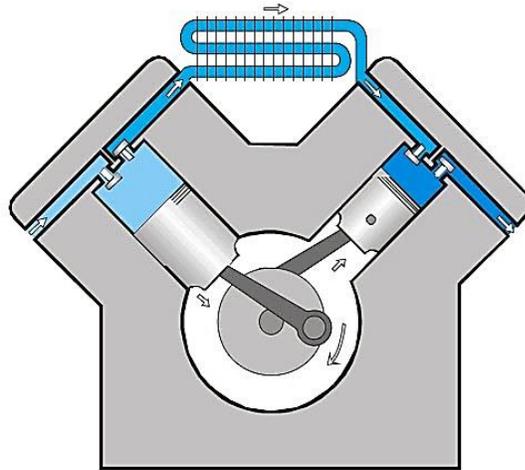


Figura 1.5 Interenfriamiento [2]

Compresores rotativos [2]

En la clasificación de compresores de desplazamiento positivo se encuentran los compresores rotativos, entre los cuales están compresores tipo de paleta, de tornillo, engranajes y flujo rotativo.

Compresores de paletas deslizantes

El compresor de paleta deslizante, es un compresor rotativo de desplazamiento positivo. Este compresor es una unidad compacta que es menos eficiente que un compresor recíprocante, pero es más eficiente que cualquier otro compresor rotativo.

El compresor consiste de un rotor con ranuras radiales montado fuera de centro en una caja cilíndrica (ver figura 1.6). El rotor está equipado con paletas rectangulares colocadas en las ranuras, al girar el rotor, la presión negativa

creada por las paletas causa que se succione aire a través de la admisión hacia el interior del compresor. Mientras el rotor continúa girando, las paletas confinan el aire en un espacio cuyo volumen se va volviendo progresivamente menor. Cuando las paletas se aproximan a la porción de descarga de la caja, el aire es comprimido y entonces se descarga al receptor a través de la salida de descarga.

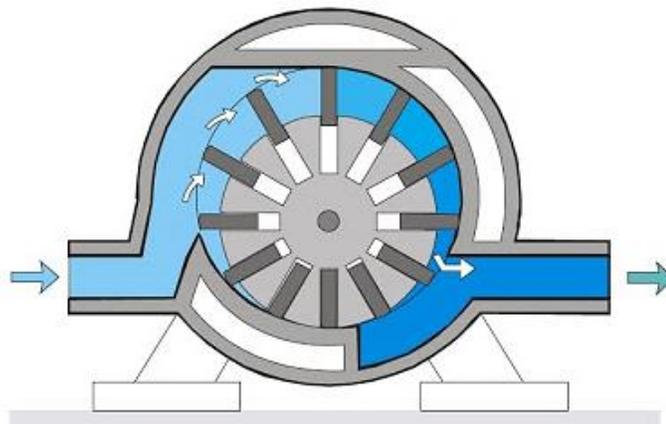


Figura 1.6 Compresor de paletas deslizantes. [2]

Compresor de tornillo

La compresión en estas máquinas es efectuada mediante dos tornillos helicoidales, uno macho y otro hembra engranados entre sí contenidos en una carcasa dentro de la cual giran ver (figura 1.7). Al engranar los rotores macho y hembra, el aire es conducido en un espacio progresivamente más pequeño hasta que se descarga. Sucesivamente cantidades de aire son captadas, comprimidas y descargas de esta manera; esto hace que mientras sucede una descarga comienza a cargarse la siguiente descarga.



Figura 1.7 Detalle de un compresor de tornillo [2]

Compresor de rotores

Las unidades están constituidas por una caja y dos rotores impulsados por engranajes interconectados y regulados. Los rotores pueden tener dos, tres o cuatro lóbulos, estos pueden ser rectos, o tener una ligera torcedura o configuración helicoidal. Cuando giran los rotores, crean una presión negativa en la admisión con lo cual se succiona aire hacia el interior de la caja, al engranar los lóbulos el aire es oprimido a salir por la puerta de descarga, (ver figura 1.8).

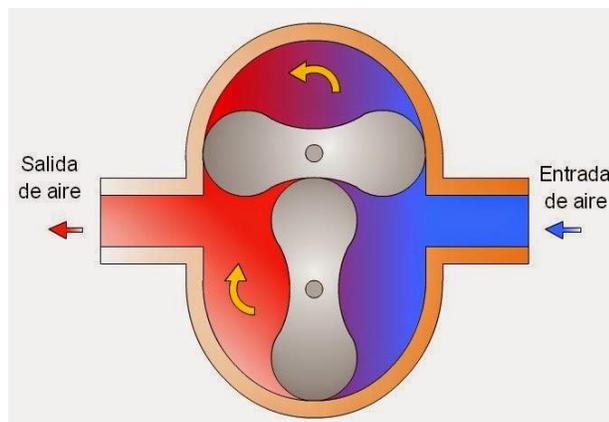


Figura 1.8 Compresor de lóbulos [2]

b. Compresores dinámicos [2]

Los compresores dinámicos están diseñados para entregar grandes cantidades de aire a presiones hasta de 0.9 MPa. Se usan principalmente para proveer aire para procesos, pero pueden usarse también para ventilación. Su capacidad mínima de alrededor de 1.4 m³/s hace que sean demasiado grandes para la mayoría de los sistemas de fuerza neumática.

Los dos tipos principales de compresores dinámicos son centrífugos y de flujo axial.

Compresores Centrífugos

Funcionan bajo el principio de la compresión del aire por fuerza centrífuga y constan de un rotor centrífugo que gira dentro de una carcasa, el aire ingresa en sentido axial por la admisión u “ojo” del rotor y es descargado a gran velocidad.

Al ingresar por el “ojo” del rotor el aire es comprimido contra la carcasa, debido por la acción de la fuerza centrífuga y descargado en dirección radial. Estos compresores pueden ser monoetápicos o multigradales con lo cual se pueden alcanzar presiones de 0.8 MPa.

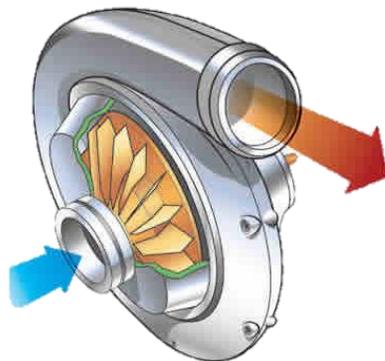


Figura 1.9 Esquema de un compresor centrífugo [2]

Compresores axiales

Los compresores de flujo axial tienen varias filas de paletas montadas en un rotor, (ver figura 1.10). Las paletas aumentan la velocidad del aire que pasa a través de ellas en forma parecida a la de un ventilador. De manera simultánea el aire se hace pasar por filas de paletas estacionarias difusoras que están montadas entre las paletas rotatorias.

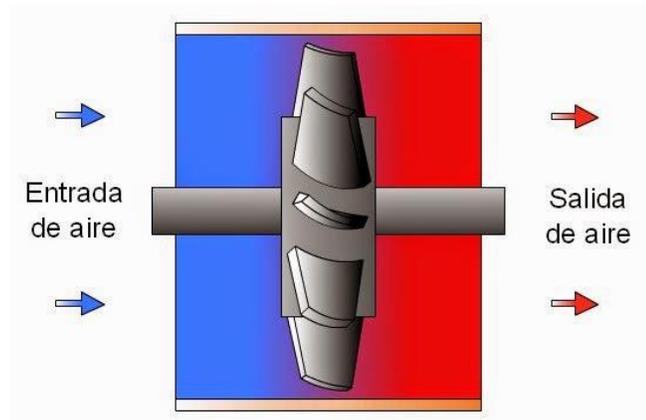


Figura 1.10 Esquema compresor de flujo axial [2]

Tratamiento del aire comprimido [10]

El aire comprimido fluye a través de una serie de elementos antes de llegar a la unidad consumidora. El lugar de la instalación donde este montado el compresor y el tipo de este, influye en mayor o menor medida, en la cantidad de impurezas que contiene el aire, tales como polvo, hollín, suciedad, hidrocarburos, gérmenes y vapor de agua.

Para la preparación del aire comprimido deben utilizarse los siguientes componentes:

- Filtro de aspiración
- Secadores
- Filtro de aire comprimido con condensador de agua
- Lubricador

La preparación deficiente del aire comprimido trae como consecuencia una mayor cantidad de fallos, los que se traducen en una reducción en la duración de los sistemas neumáticos.

Filtro preliminar

Antes de que el aire proveniente del ambiente entre en el compresor, debe pasar a través de un filtro para retirar la mayoría de la suciedad y otros contaminantes sólidos. Estos filtros pueden ser del tipo seco o húmedo.

Los filtros secos se hacen de diferentes formas y configuraciones, pero la mayoría de ellos tienen un material de fieltro o algodón puesto en forma compacta en una malla de alambre u otro retenedor abierto.

Los filtros húmedos son ligeramente diferentes en construcción y funcionamiento, ya que en este tipo de filtros el aire entra en pasajes intrincados montado en un depósito de poca altura de aceite, (ver figura 1.11).

El aire que entra en la parte superior de la caja del filtro es dirigido hacia abajo al aceite, y entonces hacia arriba a través del medio filtrante antes de pasar a la tubería de admisión del compresor. Cualquier aceite que sea llevado con el aire es atrapado en el filtro, junto con cualquier suciedad, polvo y otros contaminantes.

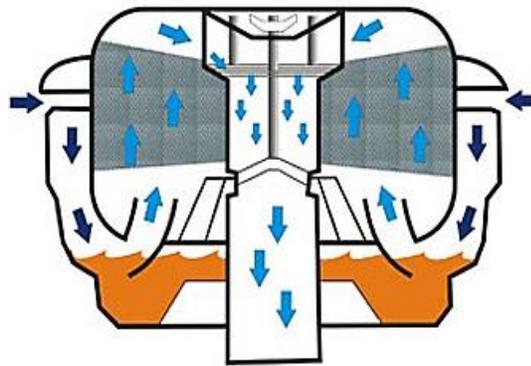


Figura 1.11 Funcionamiento de un filtro húmedo [10]

Secadores de aire

En instalaciones donde se requiere un suministro de aire verdaderamente seco se debe instalar un secador de aire. En el secado por absorción, la humedad es absorbida y se disuelve en una sustancia química, (ver figura 1.12).

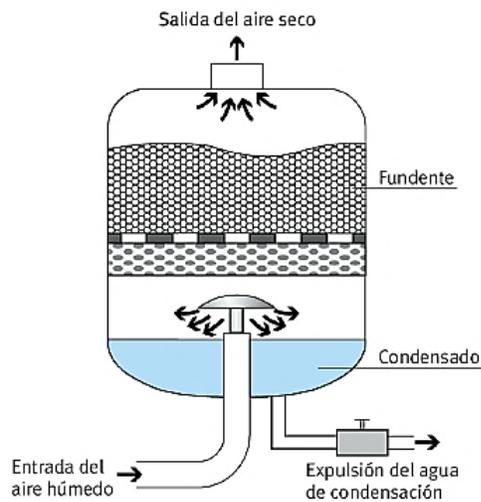


Figura 1.12 Secado por absorción [10]

Los secadores de membrana están compuestos por un haz de fibras huecas permeables al vapor y que está rodeada por aire seco derivado del aire que ya fue sometido al proceso de secado. El secado se produce por la diferencia parcial de presión entre el aire húmedo en el interior de las fibras huecas y el flujo en sentido contrario del aire seco.

El agente secante es un gel que también se consume, aunque puede regenerarse gracias a la disposición representada en la figura 1.13.

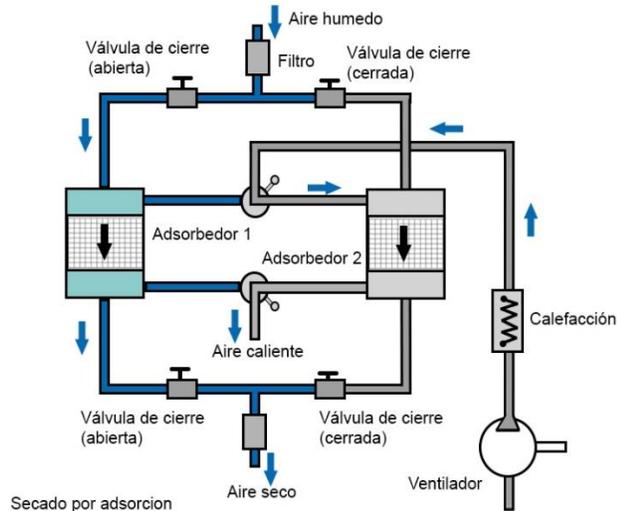


Figura 1.13 Secado por adsorción [10]

1.1.2. Distribución de aire [10]

Al salir del compresor y posteriormente a ser almacenado el aire debe transportarse hasta los lugares de aplicación, esto se realiza por medio de una red de distribución en la cual se tiene una red principal que se encarga de transportar el caudal de aire necesario en la planta a la presión máxima que entrega el compresor, así mismo se tiene una red secundaria de distribución de aire la cual entrega aire a los puntos de aplicación o equipos de trabajo.

El diseño adecuado de la red de distribución de aire comprimido es fundamental sobre todo de la línea principal, esto debido a que una buena selección del diámetro de la tubería y una correcta instalación conlleva una distribución más eficiente del aire y por lo tanto un mejor desempeño de los equipos de trabajo. A continuación, se presentan algunos aspectos a considerar sobre las redes de distribución de aire comprimido:

a) Clasificación de las redes de aire comprimido ^[10]

Las redes de distribución de aire comprimido se clasifican considerando, principalmente los siguientes factores: las condiciones ambientales, la disposición física y la forma en que se realiza la distribución del aire.

Las condiciones ambientales hacen referencia básicamente al medio al cual está sometida o expuesta la red; se distingue entre red externa o red interna:

- **Externa:** es toda aquella instalación externa a la planta, aunque no es muy recomendable debido a que se encuentra expuesta a los cambios ambientales y esto puede incrementar el contenido de humedad en la tubería.
- **Interna:** es toda instalación de red colocada en la parte interna de la planta. Es la ubicación ideal debido a que presenta pocos cambios de temperatura.

La disposición física hace distinción entre una red aérea o subterránea:

- **Aérea:** la red que va ubicada en la parte superior de la planta. Este tipo de red debe tener cuellos de ganso a la salida de la tubería principal para evitar que los condensados pasen a la aplicación.
- **Subterránea:** la red va ubicada en el subsuelo de la planta, ya sea enterrada o en canales de distribución. Si la tubería está enterrada, acumula mayor cantidad de humedad y, adicionalmente no se puede hacer mantenimiento, lo que puede permitir fugas en esos puntos que no se pueden controlar.

La distribución diferencia entre red primaria o red secundaria:

- **Primaria o principal:** es la encargada de transportar todo el caudal que se necesita en la planta. La presión en esta línea es la que entrega el compresor, es decir, es la presión máxima de trabajo.

- **Secundaria:** esta línea es la que transporta el aire hasta las áreas de utilización. Solo transporta el caudal necesario para la aplicación específica.

b) Dimensionamiento de tuberías ^[3] y ^[10]

Cuando se realiza una instalación por primera vez siempre se debe tener en cuenta las ampliaciones que se pudiesen realizar en un futuro en la red de distribución de aire comprimido. Por lo tanto, se recomienda que la tubería principal del sistema posea un diámetro superior al necesario según el sistema que se está instalando. En toda tubería se producen pérdidas de presión debido a las resistencias que se oponen al flujo, especialmente en zonas de estrechamiento, en codos, derivaciones o conexiones de tubos.

Debido a esto en la alimentación de aire el compresor debe compensar estas pérdidas. El objetivo final de esto consiste en que la caída de presión en la red sea lo menor posible.

Para calcular la caída de presión, debe conocerse el largo total de la red de tubos. Para efectuar el cálculo, las uniones, derivaciones y los codos deben sustituirse matemáticamente por longitudes de tubos. Además, la selección del diámetro interior correcto depende de la presión de funcionamiento y de la cantidad de aire proveniente del compresor.

c) Resistencia al flujo ^[3]

En una red de distribución de aire comprimido, cualquier factor que influye en el flujo o cualquier cambio significativo de sentido del flujo representan una interferencia y por lo tanto provoca un aumento de la resistencia al flujo. De esta manera se produce una permanente reducción de la presión dentro de la red.

Considerando que todas las redes de aire comprimido necesariamente incluyen derivaciones, codos y uniones, es imposible evitar que se produzca una caída de presión. Sin embargo, sí es posible reducir considerablemente esa caída seleccionando las uniones más apropiadas, utilizando los materiales más recomendables y efectuando un montaje correcto de todos los componentes.

d) Material de los tubos ^[3]

Los tubos utilizados en un sistema moderno de aire comprimido deben cumplir diversas condiciones. Concretamente:

- deben garantizar mínimas pérdidas de presión,
- deben ser resistentes a la corrosión y
- deben permitir ampliaciones posteriores de la red.

Al efectuar los cálculos de costos, no debe considerarse únicamente el precio de los materiales y equipos, deben tenerse en cuenta los costos de la instalación, estos son más bajos para materiales sintéticos debido a que los tubos son de menor costo. Los tubos de plástico pueden unirse de manera completamente estanca, utilizando pegamento, además, las redes de tubos de material sintético pueden ampliarse de modo muy sencillo.

Los tubos de cobre o acero, por lo contrario, son más baratos, pero deben soldarse o unirse mediante elementos roscados, si dichos trabajos no se realizan cuidadosamente, es posible que entren virutas en el sistema, residuos de soldadura, partículas extrañas o agentes hermetizantes, posibilitando que se produzcan serios fallos en el sistema. Si el sistema puede funcionar correctamente con tubos de pequeño o mediano diámetro, los tubos de material sintético presentan mejores propiedades en comparación a cualquier otro

material ya sea su precio como la relación a los costos de instalación, mantenimiento y facilidad en cuanto a ampliaciones posteriores.

Como es de esperarse las oscilaciones generadas de la presión en la red exigen un montaje impecable de los tubos, ya que de lo contrario pueden surgir fugas en las uniones roscadas o soldadas.

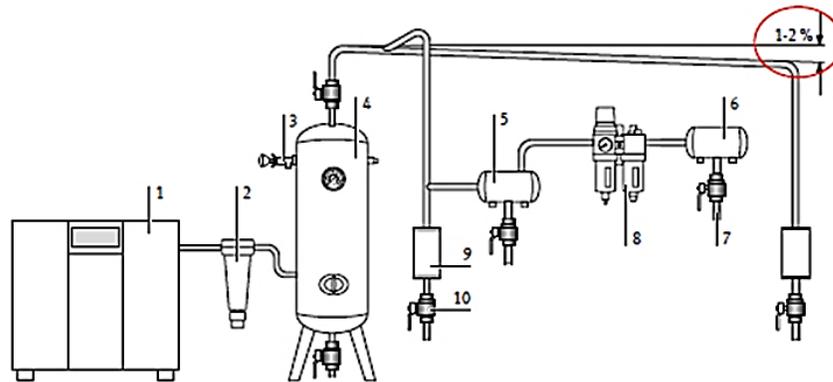


Figura 1.14 Sistema alimentación de aire [3]

- 1) Compresor, 2) Separador de agua/aceite, 3) Válvula limitadora de presión, 4) Acumulador, 5) Depósito intermedio, para varias unidades consumidoras, 6) Acumulador instalado en el sistema neumático, 7) Hacia la unidad consumidora, 8) Unidad de mantenimiento, 9) Depósito de condensado, 10) Llave de evacuación.

e) Disposición de los tubos [3]

Para un funcionamiento eficiente de un sistema de aire comprimido es necesario un correcto dimensionamiento de la tubería así también se debe tener en cuenta la buena calidad de los materiales de dicha tubería de igual forma la distribución más adecuada para conformar la red.

Es recomendable que el sistema cuente con una tubería principal en la cual se pueda mantener un nivel de presión relativamente constante, esto debido a que el consumo de aire aumenta durante algunos breves instantes y así mismo el compresor trabaja alimentando intermitentemente el aire comprimido.

Además, es recomendable prever diversas secciones en la red, con el fin de poder llevar a cabo trabajos de mantenimiento, reparación o ampliación sin necesidad de interferir en todo el sistema de alimentación de aire. Para obtener estas secciones, deberán utilizarse derivaciones con conexiones en forma de T, y tubos colectores con acoplamientos rápidos. Los tubos derivados deberían estar provistos de válvulas de cierre o de válvulas de bola estándar.

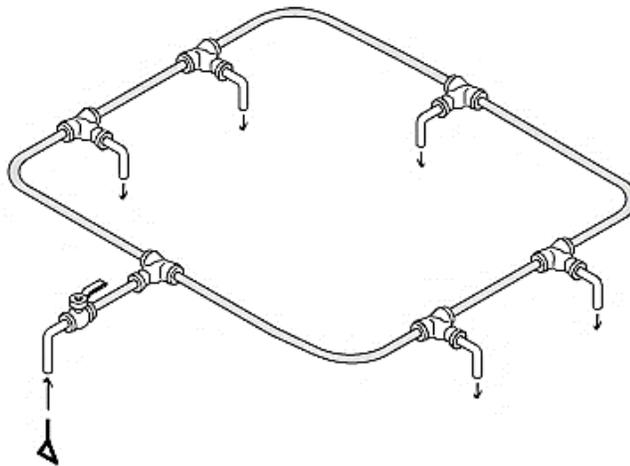


Figura 1.15 Tubería circular [3]

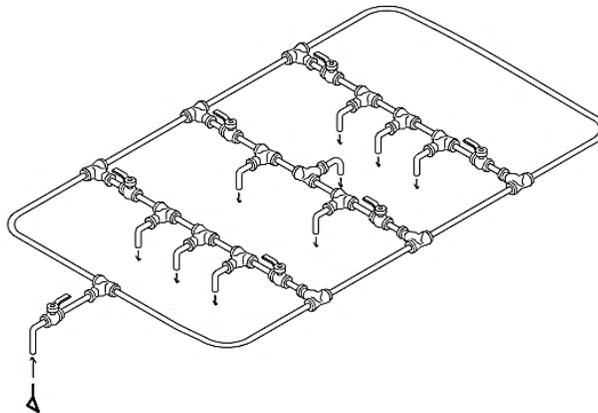


Figura 1.16 Red con tubo circular e interconexiones [3]

Aunque se disponga de un buen sistema de separación de agua, es posible que la caída de presión y el enfriamiento exterior produzcan restos de

condensado en los tubos. Para poder purgar ese condensando, es recomendable prever derivaciones intermedias en el sentido de flujo y con una inclinación de 1 hasta 2 %. Estas derivaciones también pueden instalarse de manera escalonada. El condensado se acumula en la parte más baja de esas derivaciones intermedias, y se puede retirar a través del separador.

1.1.3. Unidad de mantenimiento ^[4]

Las unidades de mantenimiento cumplen funciones de preparación, filtración, regulación y lubricación del aire comprimido y están ubicadas al inicio de cada sistema, estas funciones frecuentemente son desempeñadas por unidades individuales, sin embargo, debido a la naturaleza de algunos equipos neumáticos es más conveniente realizar dichas funciones desde una sola unidad.

La lubricación del aire juega un papel importante y solo son necesarios en casos específicos, están ubicados en partes de la red en la que se encuentran los equipos que desempeñan determinadas funciones y es necesaria la lubricación del aire comprimido. No debe lubricarse nunca el aire comprimido en la parte de control de la red.

a) Válvula reguladora de presión ^[4]

En cada sistema de aire comprimido este se encuentra sujeto a oscilaciones de presión en los tubos, las cuales tienen efectos negativos sobre los diferentes componentes de los equipos como lo son las válvulas incidiendo en los desplazamientos de los cilindros así también en las válvulas de estrangulación y válvulas de impulso como en otros componentes.

Para el correcto funcionamiento de todos los componentes neumáticos de un determinado equipo se debe disponer de una presión de trabajo constante, lo

cual se obtiene por medio de reguladores de presión ubicados en la entrada del equipo, esto permite que la presión no varíe independientemente de las oscilaciones en la tubería de alimentación de la red principal, este regulador se instala antes del filtro de aire comprimido.

Válvula reguladora de presión con salida de descarga: Funcionamiento

La presión de entrada (presión primaria) aplicada en la válvula reguladora, siempre tiene que ser superior a la presión de salida (presión secundaria).

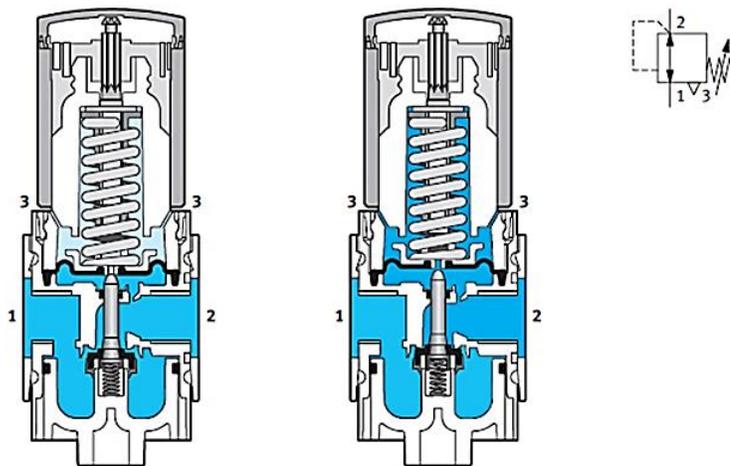


Figura 1.17 Válvula reguladora de presión, con salida de descarga. Dibujos en sección y símbolo ^[4]

La regulación de la presión está a cargo de una membrana. La presión de salida actúa sobre un lado de la membrana, mientras que sobre el otro lado actúa la fuerza de un muelle. La fuerza del muelle puede ajustarse mediante un tornillo.

Si aumenta la presión en el lado secundario se presiona la membrana en contra de la fuerza del muelle. Así disminuye o se cierra la superficie de la sección de salida en el asiento de la válvula. El asiento de la válvula de membrana se

abre, el aire comprimido puede descargarse a través de los taladros que tiene el cuerpo.

Si disminuye la presión en el lado secundario, la válvula se abre debido a la fuerza que aplica el muelle.

Ello significa que la regulación de la presión del aire para alcanzar una presión previamente ajustada, provoca que el asiento de la válvula se abra y cierre constantemente, debido al flujo del aire. La presión de funcionamiento se muestra en un aparato de medición.

Válvula reguladora de presión sin salida de descarga: Funcionamiento

Si la presión de salida es demasiado elevada, aumenta la presión en el asiento de la válvula, por lo que la membrana actúa en contra de la fuerza del muelle. Al mismo tiempo disminuye la sección de salida en el asiento de la válvula o se cierra completamente la salida, por lo que disminuye o se interrumpe el flujo de aire. El aire comprimido sólo puede volver a entrar cuando la presión de funcionamiento es menor que la presión del lado primario.

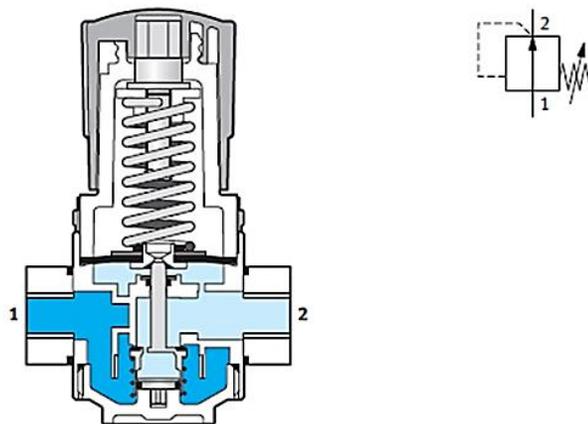


Figura 1.18 Válvula reguladora de presión, sin salida de descarga. Dibujo en sección y símbolo ^[4]

b) Filtro de aire comprimido ^[4]

Los factores que influyen en el desgaste prematuro de las partes móviles y partes de los componentes neumáticos pueden ser tanto el condensado, excedentes de aceite como partículas de suciedad, este desgaste conlleva a problemas como lo son las fugas que en muchas ocasiones tienen efectos perjudiciales en las líneas de producción por lo que es necesaria la instalación de un filtro de aire comprimido que elimine estos factores.

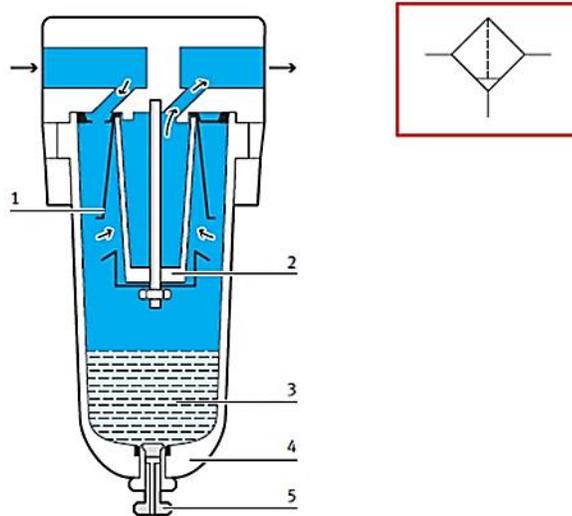


Figura 1.19 Filtro de aire comprimido ^[4]

Dibujo en sección y símbolo, 1) Disco de turbulencia, 2) Filtro sinterizado, 3) Condensado, 4) Depósito del filtro, 5) Tornillo de escape.

El filtro de aire cumple una función importante con relación a la calidad del aire comprimido suministrado en el sistema por lo cual es de gran importancia la correcta selección de este tomando como criterio principal el tamaño de sus poros, el cual representa el tamaño de las partículas más pequeñas contenidas en el aire que el filtro es capaz de retener.

Dada la configuración del filtro se debe tener en cuenta que el nivel de condensado no sea superior al límite establecido ya que de lo contrario este volverá al flujo de aire comprimido. Debido a esto es recomendable la instalación de un sistema de purga automático ya que el condensado se produce constantemente

El sistema de purga automática de condensado siempre está compuesto por un flotador que, cuando el condensado alcanza su máximo nivel, actúa sobre una palanca que, a su vez, abre una tobera de aire comprimido. El aire comprimido actúa sobre una membrana que abre la salida de escape. Cuando el flotador llega al nivel mínimo de condensado, se cierra la tobera y se interrumpe la operación de purga. Adicionalmente es posible vaciar el depósito de condensado mediante un sistema de accionamiento manual.

Los filtros son catalogados según el grado de filtración que estos posean, entendiéndose por bajo grado de filtración el porcentaje de partículas de un determinado tamaño, que el filtro es capaz de retener. Por ejemplo, un filtro puede tener un grado de filtración de 99,99% en relación con partículas de 5 μm . Un filtro fino es capaz de filtrar el 99,999 por ciento de las partículas que tienen un tamaño superior a 0.01 μm .

Los cartuchos el filtro deberá cambiarse después de un determinado tiempo de uso ya que en la medida que aumenta la suciedad que retiene el filtro también aumenta la resistencia que el filtro opone al flujo de aire por lo tanto aumenta la caída de presión en el filtro por otra parte al aumentar la suciedad retenida el filtro este podría quedar obstruido. Para determinar el momento oportuno para cambiar de filtro, debe realizarse un control visual o llevarse a cabo una medición de presión diferencial.

c) Lubricador de aire comprimido ^[5]

La lubricación en redes de distribución de aire comprimido solo se realiza para equipos o componentes que requieran de ella externamente, no se recomienda la lubricación general en el sistema ya que esta puede generar inconvenientes en el funcionamiento de algunos componentes como en el caso de cilindros con juntas termorresistentes debido a que el aceite podría enjuagar la grasa especial que poseen estos actuadores, el aceite proveniente del compresor en la generación del aire comprimido no es adecuado para la lubricación de componentes neumáticos.

El aire comprimido en el sistema únicamente deberá lubricarse en las siguientes circunstancias:

- Cuando en las aplicaciones es necesario que los movimientos se ejecuten de manera extremadamente veloz.
- Cuando se utilizan cilindros con secciones de gran diámetro (en este caso, es apropiado que el lubricador esté montado justo delante del cilindro).

Si la lubricación es excesiva, pueden surgir los siguientes problemas:

- Fallos del funcionamiento de los componentes
- Mayor contaminación del medio ambiente.
- Agarrotamiento de los componentes tras largos períodos sin utilización por la descomposición del lubricante.

Es necesario renovar la lubricación original en elementos como válvulas, cilindros y motores de aire esto debido a que la lubricación en el aire comprimido puede lavar el lubricante original de dichos componentes, ocasionando problemas en su funcionamiento.

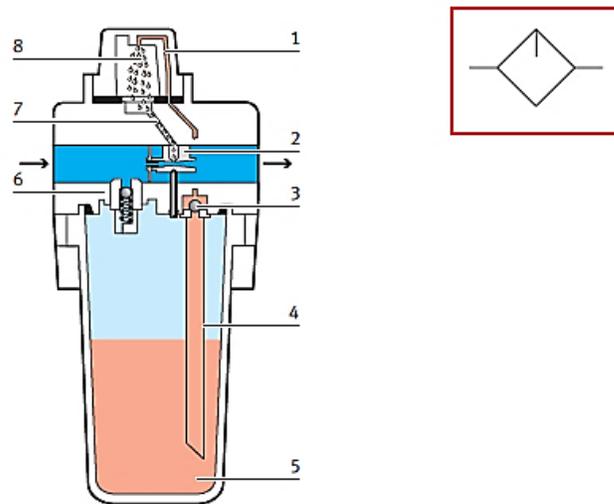


Figura 1.20 Lubricador de aire comprimido [5]

Dibujo en sección y símbolo.

1) Columna ascendente, 2) Zona de estrangulación, 3) Asiento de bola, 4) Tubo ascendente, 5) Aceite, 6) Válvula anti retorno, 7) Canal, 8) Cámara de goteo.

1.1.4. Válvulas neumáticas [12] [13] [15]

La construcción de los circuitos neumáticos puede ser vista de forma general en dos partes fundamentales. La primera es la regularmente más visible, esta es la conformada por los actuadores quienes efectúan el trabajo y la segunda formada por los denominados elementos de mando o dispositivos de control, que son los que se encargan de señalización y de mando que gobiernan el paso del aire comprimido, y por lo tanto la maniobra de aquellos, denominándose de una manera genérica válvulas, que en muchas ocasiones no están a la vista y en el caso de la automatización son operados en su mayoría de forma automática por el sistema de lazo de control del proceso.

En la figura 1.21 se puede mostrar una vista más detallada de cómo están contruidos los circuitos o sistemas neumáticos; se aprecia además que las válvulas están presentes en la mayoría de las diferentes estructuras.

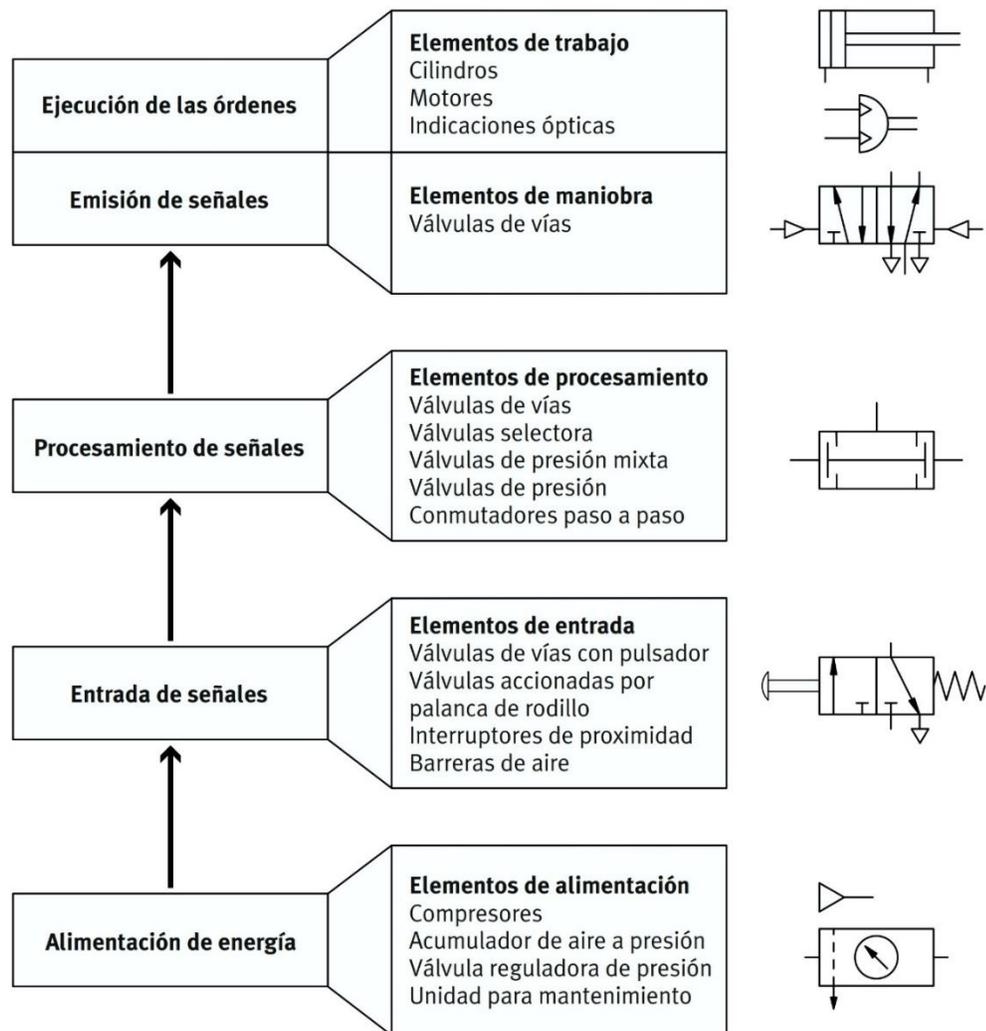


Figura 1.21. Estructura de los sistemas neumáticos [13]

Estos elementos tienen como finalidad controlar, mandar y modular las fases de trabajo, así como diferentes variables dentro del circuito para lograr una buena coordinación entre los diferentes niveles de la cascada de mando del sistema, de tal forma que según sea el caso pueden permitir la comunicación desde la alimentación de energía (compresores, acumuladores e unidad de mantenimiento) hasta la ejecución de las órdenes (actuadores o elementos de trabajo).

Según su función las válvulas se subdividen en los grupos siguientes:

Válvulas distribuidoras ^[12] ^[14] ^[15]

Estas válvulas son los componentes que determinan el camino que ha de seguir el aire en cada momento, interrumpen, dejan pasar o desvían un flujo de caudal o presión definidos mediante la regulación y distribución de la energía neumática hacia los actuadores o de los actuadores a la atmósfera gobernando con esto el sentido de desplazamiento de los actuadores. La energía de accionamiento es pequeña y, por lo tanto, el recorrido corto. Trabajan en dos o más posiciones fijas determinadas.

Análogamente que en los actuadores es preciso utilizar una representación simbólica para expresar gráficamente las válvulas y su operación. Se utilizan anagramas que representan exclusivamente su función de una manera tremendamente significativa estos no dan ninguna orientación ni indican detalles sobre el método constructivo de la válvula, representándose de idéntica manera válvulas diferentes constructivamente hablando, pero que cumplen la misma función. La representación que se utiliza corresponde a la norma ISO, que es idéntica a la norma de la Comisión Europea de la Transmisiones Neumáticas y Oleo hidráulicas (CETOP). Se trata de una representación que refleja la función y el funcionamiento de las válvulas de una manera esquemática. A continuación, se relacionan las cuestiones más importantes.

Se puede establecer una clasificación en función de:

- Número de vías.
- Número de posiciones.
- Condiciones de reposo.

- Características del dispositivo de mando.
- Características de caudal.

Características del dispositivo de mando ^[11] ^[12] ^[14] ^[15]

Las válvulas pueden ser accionadas de diferentes maneras, incluso pueden accionarse de manera distinta en un sentido u otro. En este sentido las válvulas pueden ser accionadas por: un dispositivo de la máquina, por el operador, por mecanismo eléctrico, por aire comprimido o por una combinación de estos dos últimos.

De lo anterior se tiene que puede establecer un criterio de clasificación del tipo de accionamiento que activa la válvula y este puede ser:

- Manual: se hace mediante pulsador, palanca o pedal.
- Mecánico: se efectúa por medio de una leva, muelle o rodillo; éste puede ser normal o escamoteable, es decir si sólo actúa cuando se desplaza el rodillo en un sentido mientras que en el otro se retrae.
- Neumático: se utiliza aire comprimido del mismo circuito o de otro auxiliar para maniobrar la posición de la válvula. Generalmente se necesita una presión mínima del aire (presión mínima de pilotaje o de mando) para poder accionar la válvula.
- Eléctrico: se efectúa con la fuerza que se provoca al hacer pasar una corriente eléctrica alrededor de una bobina con un núcleo de hierro desplazable en su interior.

Este último tiene muchas ventajas frente al resto de accionamientos y da lugar a una tecnología conocida como electroneumática que es la de interés para este trabajo y por ende la que se empleara.

Los accionamientos se representan en las líneas laterales de los cuadrados extremos que simbolizan las válvulas, mediante un pequeño símbolo.

A veces se le suele denominar directamente finales de carrera a estos métodos de activación/desactivación de las válvulas, puesto que son directamente maniobrados por una parte del actuador y otra pieza móvil.

Válvulas de bloqueo. [12] [15]

Las válvulas de bloqueo o también llamadas automáticas son válvulas destinadas a impedir, condicionar o dificultar el paso del flujo en uno u otro sentido, es decir son en las que la dirección del flujo que se intercepta hace la función de mando.

Se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Unidireccionales o antirretorno.
- Selectoras.
- Válvulas de simultaneidad.

Válvula antirretorno [12] [15]

La válvula antirretorno impide el paso absolutamente en un sentido, mientras que en el sentido contrario el aire circula con una pérdida de presión mínima. La obturación en un sentido puede obtenerse mediante un cono, una bola, un disco o una membrana que apoya sobre un asiento.

La forma de simbolizar estas válvulas se muestra en la figura, en el literal a-) se ejemplifica una válvula antirretorno cerrada por efecto de la presión, mientras que en el literal b-) se observa una válvula antirretorno cerrada por efecto de presión y muelle (son las más comunes) en el literal c-) se aprecia una vista de

corte esquemática del interior de esta última y cómo opera a favor del flujo y en el literal d-) operando en contra del flujo.

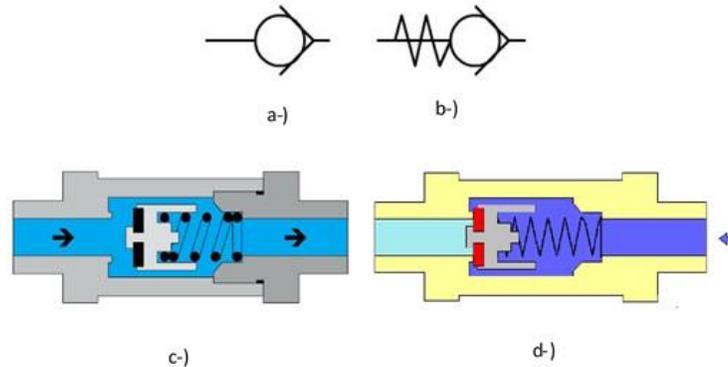


Figura 1.22 Válvulas de bloqueo ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Válvulas de presión ^[12]^[15]

Estas válvulas influyen principalmente sobre la presión, o están acondicionadas al valor que tome la presión.

Entre ellas se distinguen:

Válvulas de regulación de presión ^[12]^[15]

Tiene la misión de mantener constante la presión en su salida independientemente de la presión que exista a la entrada. Tienen como finalidad fundamental obtener una presión invariable en los elementos de trabajo independientemente de las fluctuaciones de la presión que normalmente se producen en la red de distribución.

Existen dos tipos, una con orificio de escape a la atmósfera y otra sin él, con las características que a continuación se explican.

- **Regulador de presión con orificio de escape:** Esta válvula consta de una membrana con un orificio en su parte central presionada por un muelle cuya fuerza puede graduarse desde el exterior; además dispone de un

estrechamiento en su parte superior que se modifica al ser desplazado un vástago por la membrana, siendo a su vez retenido por un muelle. La regulación de la presión se consigue de la manera siguiente. Si la presión de salida es superior a la definida actúa sobre la membrana oprimiendo el muelle y dejando paso el aire hacia el exterior a través del orificio de escape. Cuando se alcanza la presión de consigna la membrana regresa a su posición normal cerrando el escape. El estrechamiento de la parte superior tiene como finalidad producir la pérdida de carga necesaria entre la entrada y la salida.

- **Regulador de presión sin orificio de escape:** La válvula sin orificio de escape es esencialmente igual a la anterior con la diferencia de que al no disponer de orificio de escape a la atmósfera cuando se produce una sobrepresión es necesario que se consuma el aire para reducir la presión al valor de consigna.

Válvula limitadora de presión ^[12] ^[15]

Estas válvulas se abren y dejan pasar el aire en el momento en que se alcanza una presión de consigna. Se disponen en paralelo y se utilizan, sobre todo, como válvulas de seguridad (válvulas de sobrepresión), no admiten que la presión en el sistema sobrepase un valor máximo admisible. Al alcanzar en la entrada de la válvula el aire una determinada presión, se abre la salida y el aire sale a la atmósfera. La válvula permanece abierta hasta que el muelle, una vez alcanzada la presión ajustada, cierra de nuevo el paso. Algunas válvulas disponen de un enclavamiento que requiere una actuación exterior para proceder de nuevo a su cierre.

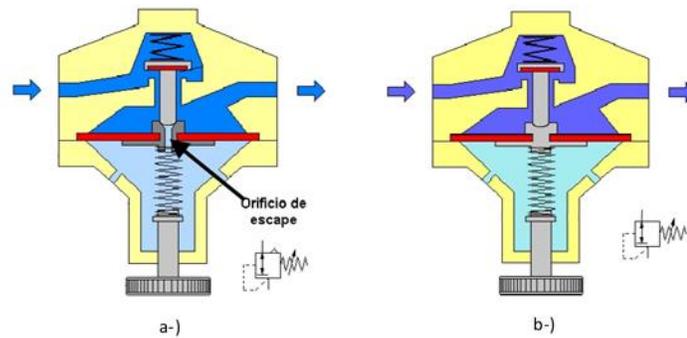


Figura 1.23 Esquema y símbolos de válvulas reguladora de presión [12]

Válvula de secuencia [12] [15]

Su funcionamiento es muy similar al de la válvula limitadora de presión, la diferencia estriba que, en vez de salir el aire a la atmósfera al alcanzarse la presión consignada, deja pasar el aire para realizar un determinado cometido.

Estas válvulas se montan en mandos neumáticos que actúan cuando se precisa una presión fija para un fenómeno de conmutación (mandos en función de la presión). La señal sólo se transmite después de alcanzar la presión de sujeción.

Abre el paso cuando se alcanza una presión superior a la ajustada mediante el muelle.

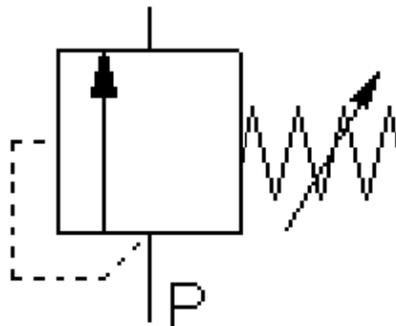


Figura 1.24 Símbolo de válvula de secuencia [12]

Válvulas de caudal y de cierre ^[15]

La válvula de caudal en general tiene la función de dosificar la cantidad de fluido que pasa por ellas con la finalidad de regular el caudal que las atraviesan y con ello controlar la velocidad de los vástagos de los cilindros. Lo anterior se consigue estrangulando la sección de paso.

Estas válvulas lo que producen es una pérdida de carga y ésta conduce a reducir el caudal. Es frecuente que la sección de paso pueda ser modificada desde el exterior. Dicha regulación debe efectuarse manualmente, actuando sobre un tornillo de regulación.

Estas válvulas se clasifican en:

- Unidireccionales.
- Bidireccionales.

Por otro lado, las válvulas de cierre tienen como finalidad únicamente abrir y cerrar un circuito, sin posiciones intermedias.

- **Válvulas reguladoras de caudal unidireccionales**

Se trata de un bloque que contiene una válvula de estrangulación en paralelo con una válvula antirretorno. La estrangulación, normalmente regulable desde el exterior, sirve para variar el caudal que lo atraviesa y, por lo tanto, para regular la velocidad de desplazamiento del vástago de un cilindro o de velocidad de giro de un motor. También se conoce por el nombre de regulador de velocidad o regulador unidireccional.

La válvula antirretorno cierra el paso del aire en un sentido y el aire ha de circular forzosamente por la sección estrangulada. En el sentido contrario, el aire circula libremente a través de la válvula antirretorno abierta. La válvula

antirretorno y de estrangulación deben montarse lo más cerca posible de los cilindros.

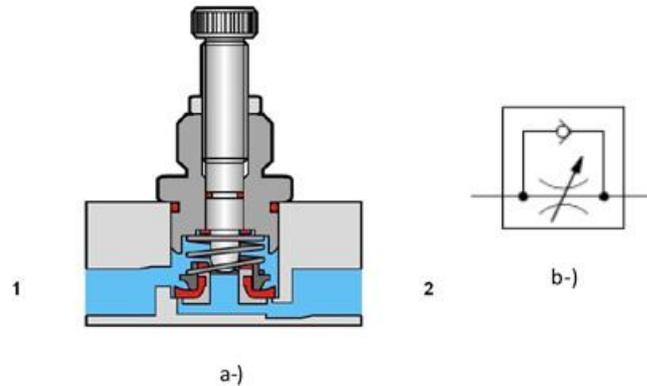


Figura 1.25 Válvula de caudal unidireccional [15]

- **Válvulas bidireccionales.**

Estas válvulas a diferencia de las unidireccionales restringen el paso del flujo en cualquiera de los dos sentidos.

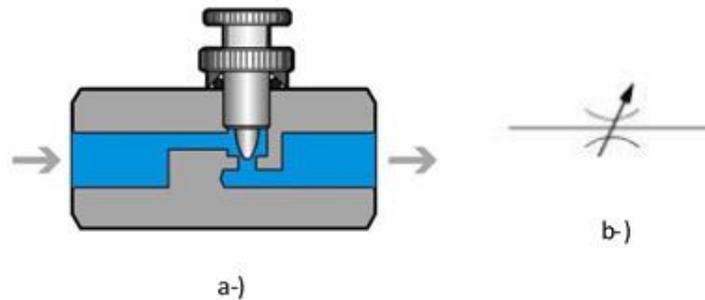


Figura 1.26 Válvulas de caudal bidireccional [15]

Válvula de escape rápido [16]

Esta válvula es considerada de cierre, se trata de una válvula que evacua el aire de manera rápida hacia la atmósfera. Esta válvula permite elevar la velocidad de los émbolos de los cilindros. Con ella se ahorran largos tiempos de retorno, especialmente si se trata de cilindros de simple efecto.

La velocidad de retorno del vástago de un cilindro de simple efecto o la de un cilindro de doble efecto en cualquiera de sus dos sentidos puede ser incrementada por medio de una válvula de escape rápido.

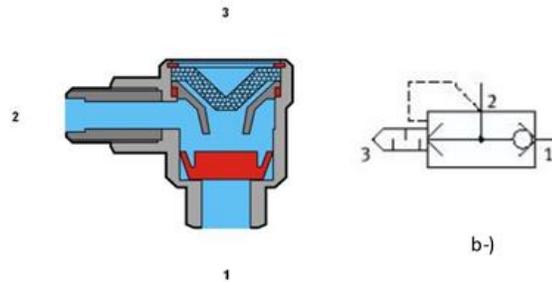


Figura 1.27 Esquema y símbolo para válvulas de escape rápido^[12]

1.1.5. Cilindros neumáticos ^[5]

Un cilindro neumático es conocido además como un actuador porque la función de él es la de realizar trabajo o una acción sobre alguna pieza, superficie u objeto, es decir, actuar mecánicamente sobre otro cuerpo, en particular este tipo de actuadores producen movimiento lineal o rectilíneo. En la industria de la automatización de procesos es frecuentemente encontrado ya que representa una manera práctica de realizar una acción de llenado, desplazamiento o selección de piezas. Por parte de los cilindros neumáticos, éstos, transforman la presión neumática en trabajo neto, lo cual resulta eficiente y económico debido a que el elemento usado como fluido de trabajo es el aire y éste se encuentra a nuestro alrededor. Una clasificación inicial de los cilindros consiste en que se usan en servicio ligero, liviano o pesado, con respecto a su aplicación. Pero de acuerdo a su funcionamiento los cilindros pueden ser de simple o doble acción, la cual es una manera muy práctica de clasificarlos. A continuación, se pasa a describirlos.

1.1.4.1 Cilindros de simple acción ^[5]

En esta clase de cilindros el aire comprimido se alimenta solo en uno de los lados, esto implica que pueden realizar trabajo en una sola dirección y el movimiento de retorno del pistón se efectúa por medio de un resorte integrado ya sea en el lado del vástago o del embolo, así como por la aplicación de una fuerza externa ya sea una carga o un movimiento mecánico. Los hay de tipo normalmente adentro o normalmente afuera. En la figura 1.28 se puede apreciar un cilindro de simple acción y en la figura 1.29 (i) se muestra el símbolo de un cilindro de simple acción en el que el pistón se encuentra adentro en la posición inicial, en tanto que en la figura 1.29 (ii) se tiene el símbolo de un cilindro del mismo tipo con el pistón afuera en la posición inicial.

Por lo general, los cilindros de simple acción están constituidos por los siguientes elementos: el cuerpo del cilindro (tubo), dos cubiertas en los extremos (una puede ser parte integral del tubo del cilindro), pistón, varilla del pistón, sello de copa en U, anillo en O, buje o cojinete para guiar la varilla del pistón y resorte integrado. Las cubiertas de los extremos se ajustan al cuerpo mediante cuatro tornillos para cubiertas o tirantes. En la figura 1.30 se muestra una vista desarrollada de un cilindro de simple acción.

En un cilindro de simple acción con resorte, la carrera queda limitada por la longitud en compresión del resorte. Mientras el pistón se mueve hacia adelante existe la posibilidad de que el resorte se pandee y raye la superficie finamente acabada de la varilla del pistón dañándolo de este modo. El aire tiene que vencer en primer lugar la presión del resorte y, como consecuencia, se pierde algo de potencia, antes de que se inicie la carrera real del pistón.

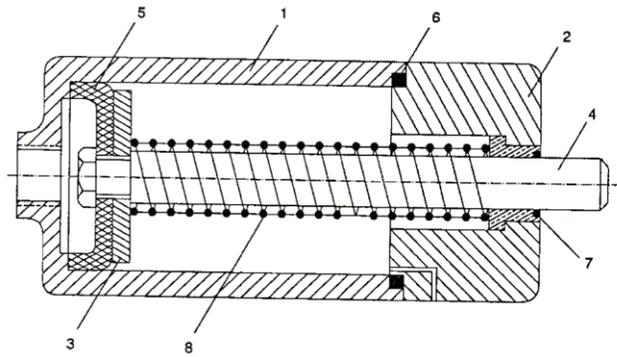


Figura 1.28 Cilindro de simple acción

- 1) Cuerpo del cilindro (tubo), 2) Cubierta del extremo, 3) Pistón, 4) Varilla del pistón, 5) Sello de copa en U, 6) Anillo O, 7) Buje y 8) Resorte [5]

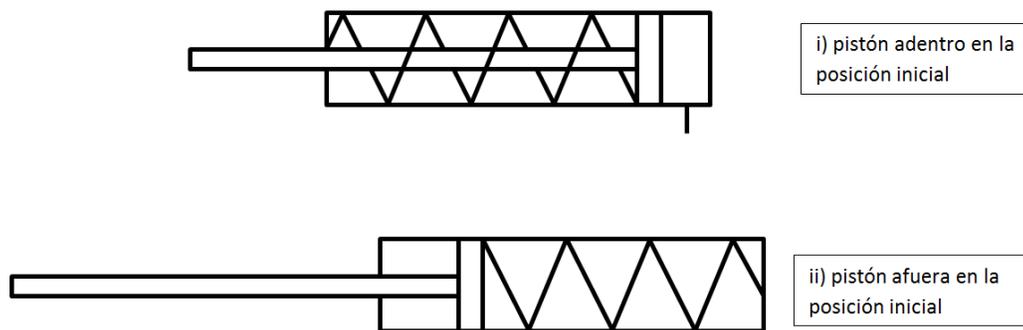


Figura 1.29 Dos tipos de cilindros de simple acción.

Existen además dos tipos bastante comunes de cilindro de simple acción, estos son cilindro de diafragma y de diafragma arrolladizo y debido a su importancia, a continuación, se procede a describir brevemente:

- 1) Cilindro de diafragma: En un cilindro de diafragma, se tiene un diafragma interconstruido, fabricado de caucho, plástico o, incluso, metal, el cual reemplaza el pistón. La varilla del pistón se sujeta al centro del diafragma. No existe sello deslizante. Sólo se tiene fricción debida al estiramiento del material. Estos tipos de cilindros se usan para sujetar. También se aplican en la fabricación de herramientas y artefactos, así como en repujado, remachado, etcétera.

2) Cilindro de diafragma arrolladizo: La construcción de éste es semejante al de diafragma común. Cuando se admite el aire comprimido, el diafragma se arrolla a lo largo de la pared interior del cilindro y mueve la varilla del pistón hacia afuera. Se logra una carrera considerablemente más grande que con el cilindro de diafragma. Además, en este diseño, la fricción es bastante menor.

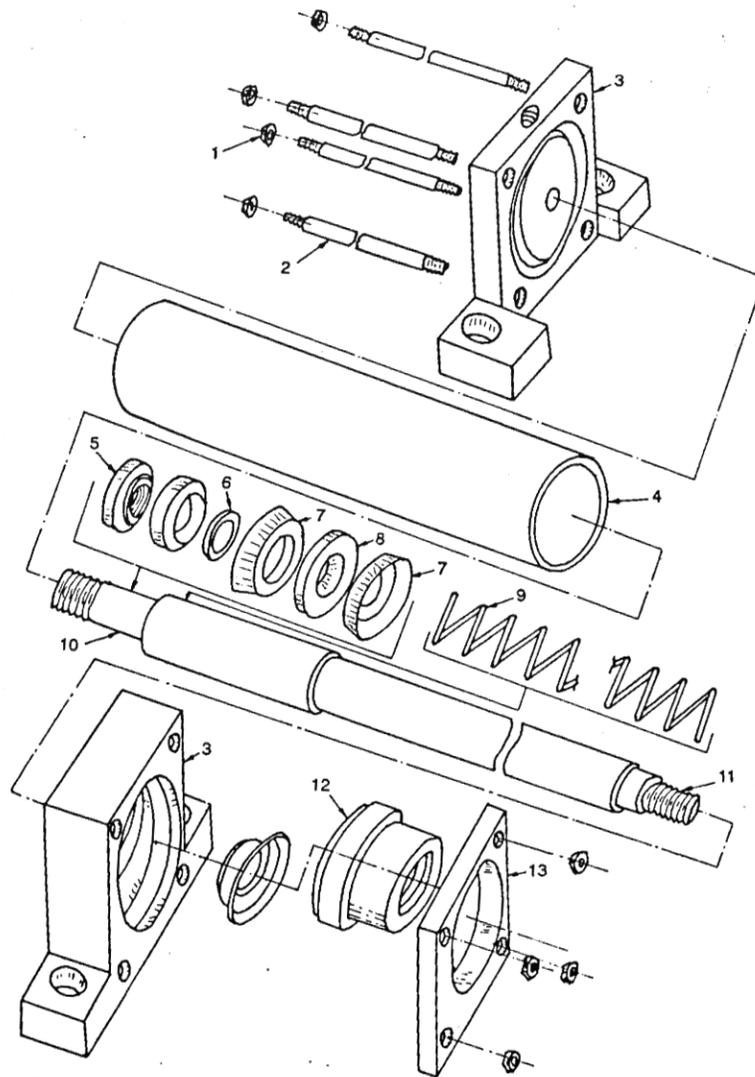


Figura 1.30 Vista desarrollada de un cilindro de simple acción

1. Tuerca del tirante, 2) Tirantes, 3) Cubiertas de los extremos, 4) Tubo, 5) Tuerca para unir el pistón con su varilla, 6) Anillo en O, 7) Sello de copa, 8) Pistón, 9) Resorte, 10) Varilla del pistón, 11) Extremo roscado de la varilla del pistón, 12) Buje y 13) Reten del buje.^[5]

1.1.4.2 Cilindros de doble acción ^[5]

La particularidad de los cilindros de doble acción y en sí, la diferencia con los de simple acción es que la fuerza ejercida por el aire comprimido mueve el pistón en las dos direcciones. Generalmente se usan cuando se requiere que el pistón realice trabajo no sólo en el movimiento de avance sino también en el de retorno. En la figura 1.31 se tiene la ilustración de un cilindro de doble acción. Un cilindro de doble acción consta de: tubo del cilindro, unidad del pistón, varilla del pistón, empaquetadura de la varilla de anillos en O, cubiertas de los extremos, guía de bronce de la varilla, conexión de la lumbrera, conjunto amortiguador (en el caso del cilindro amortiguado) y tirantes. Cabe mencionar que tanto las partes que conforman al cilindro de simple acción como las que conforman al cilindro de doble acción, así como la construcción de los mismos varía según el uso y aplicación.

Los cilindros neumáticos de doble acción dependiendo del principio de operación pueden dividirse en los tipos que se describen a continuación y en la figura 1.32 se aprecia la representación simbólica de algunos de estos cilindros. Se debe recalcar que los tipos de cilindros que hay están sujetos a una gran cantidad de factores, por lo tanto, puede tenerse un considerable número de tipos de éstos, con configuraciones y estilos muy variables.

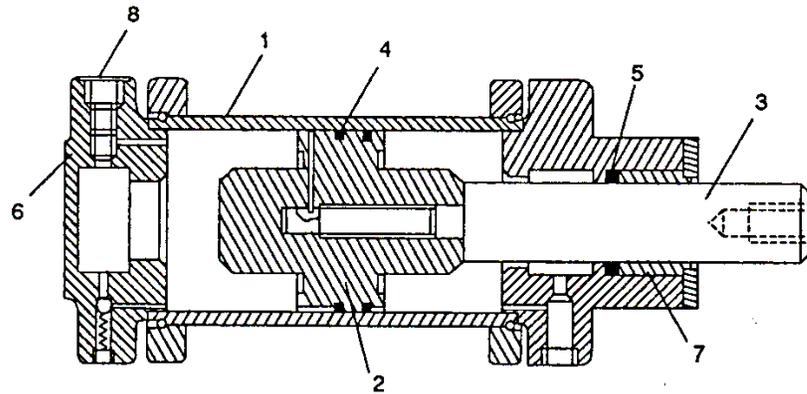


Figura 1.31 Cilindro de doble acción

1. Tubo, 2. Pistón, 3) Varilla del pistón, 4) Doble empaquetadura de anillo en O sobre el pistón, 5) Anillo en O para la varilla del pistón, 6) Cubierta del extremo, 7) Buje y 8) Conjunto de amortiguador.^[5]

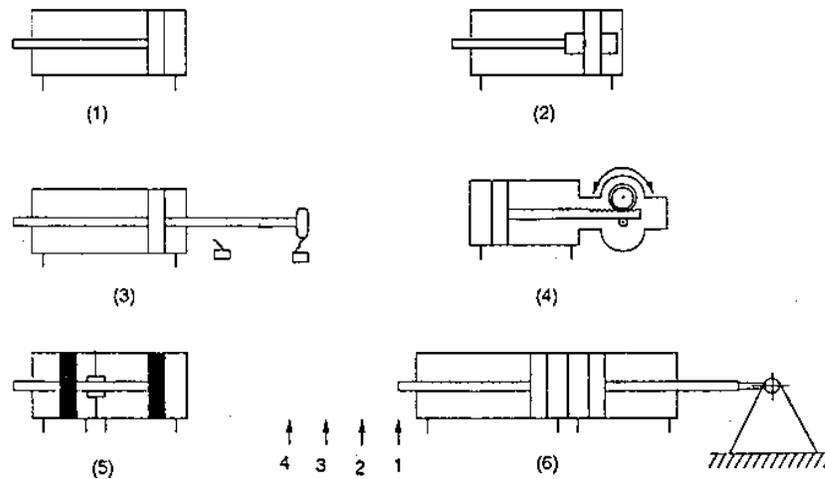


Figura 1.32 Tipos de cilindros de doble acción.

1) Cilindro normal de doble acción, 2) Amortiguamiento en la posición del extremo del cilindro de doble acción, 3) Varilla del pistón en ambos extremos (también conocido como de doble vástago varilla pasante), 4) Cilindro giratorio, 5) Cilindro en tándem, 6) Cilindro de posiciones múltiples.^[5]

1. Cilindro de varilla pasante: En este tipo, la varilla del pistón se extiende hacia ambos lados de este último. Con esto se garantizan fuerzas y velocidades iguales en ambos lados del cilindro.

2. Cilindro con extremo amortiguador: En este caso, se regula la salida del pistón contra la cubierta del extremo.
3. Cilindro en tándem: En éste, dos cilindros se encuentran dispuestos en serie, de modo que la fuerza que se obtenga del cilindro sea casi el doble.
4. Cilindro de impacto: En este caso, la varilla del pistón del cilindro se diseña especialmente para soportar una fuerza o impacto intensos. El diseño del cilindro se realiza de modo que pueda trabajar a alta velocidad y en tal forma que su energía de impacto se pueda utilizar para la deformación de piezas metálicas.
5. Cilindro de cable: En este tipo de cilindro, se sujeta un cable a cada uno de los lados del pistón, eliminando la varilla de éste. Éste también se conoce como cilindro sin varilla. Su uso es muy frecuente en donde se necesita una longitud mayor de carrera en un espacio de instalación más pequeño. A menudo se encuentran problemas de posición, pero no plantean un gran problema. Las áreas del pistón son iguales en ambos lados.
6. Cilindro rotatorio (Cilindro giratorio): Este tipo de cilindro de doble acción tiene la varilla del pistón con un perfil de engrane que encaja con una rueda dentada de tornillo sin fin (en disposición de cremallera y piñón) de tal manera que, con el movimiento lineal de la varilla del pistón, esa rueda dentada realiza un giro de 45° , 90° , 180° , etcétera.

1.1.4.3 Tipos de montajes ^[5]

Los tipos de montaje más comunes son los que se presentan a continuación:

a) Montaje en línea central.

La mejor manera de soportar un cilindro es a lo largo de su línea central. En este caso, los pernos de montaje quedarán sujetos a esfuerzos simples de corte o de tensión. No actuarán fuerzas compuestas sobre los pernos. Sin embargo, se debe garantizar el alineamiento, ya que no puede tolerarse la falta de éste. Los diversos estilos en el área de montaje en línea central son los siguientes:

1. Brida rectangular conectada al extremo de la tapa.
2. Brida rectangular conectada al extremo de la cabeza.
3. Brida cuadrada conectada al extremo de la tapa.
4. Brida cuadrada conectada al extremo de la cabeza.
5. Montaje con tirantes.
6. Orejas sujetas a los lados de ambos extremos de la línea central del cilindro.

El montaje con brida en el extremo de la cabeza es ideal para las cargas de tensión, en tanto que la brida en el extremo de la tapa es ideal para las cargas de compresión.

b) Montaje sobre patas.

Los cilindros montados sobre patas quedan sujetos a un movimiento de giro cuando se cargan. Este movimiento tiende a hacer girar o a flexionar el cilindro alrededor de sus pernos de montaje. Estos montajes se usan cuando los cilindros se deben montar sobre superficies paralelas a los mismos. Los cilindros montados sobre patas quedan sujetos a un esfuerzo mayor que los montados en la línea central. Sin embargo, los cilindros montados de esta manera pueden tolerar cierta falta de alineación. Los diversos estilos de montajes sobre patas son los siguientes:

- Montaje de orejas laterales en el extremo.
- Montaje de ángulos laterales en el extremo.
- Montaje de orejas laterales.
- Montaje al ras.

c) Montaje sobre pivote.

En muchos casos, un cilindro, mientras realiza su movimiento recíprocante, también debe tener libertad para girar. Existen dos métodos básicos de modo que el cilindro gire en torno a un pivote durante un ciclo de trabajo: con horquilla y con muñón. Estos montajes darán libertad de rotación en un plano. Si se requiere tener libertad en todos los planos, se debe usar articulaciones universales. A continuación, se dan los diferentes estilos para el montaje sobre pivote utilizados:

- Montaje con horquilla.
- Montaje de muñón en el extremo de la cabeza.
- Montaje de muñón en el extremo de la tapa.
- Montaje de muñón intermedio.

La horquilla casi siempre es parte del extremo de la tapa y puede ser fija o universal. En el caso de los montajes sobre pivote, la línea central del pivote normalmente se interseca con la línea central del cilindro.

1.1.4.4 Diseño de la varilla del pistón ^[5]

Un aspecto muy importante cuando se habla de cilindros neumáticos es su diseño. Se pasará a continuación a dar una breve explicación sobre el diseño de las partes más fundamentales de los cilindros comenzando por la varilla del pistón.

La varilla del pistón es la parte sujeta a esfuerzos más intensos de todo el cilindro neumático y debe poder resistir flexión, así como carga de tensión y compresión, de modo que pueda producir la salida de empuje de diseño, sin ceder o pandearse. También se necesita un intenso acabado superficial para lograr una larga duración del empaque y minimizar la fricción en el casquillo de los prensaestopas. Es normal un rectificado y un acabado pulido, con un acabado superficial mejor que 15 micras. Normalmente se eligen materiales de alta resistencia a la tensión para la varilla, templado si es necesario. Existe gran preferencia por el cromado sobre varilla de acero normal para producir una superficie resistente al rayado y que también sea resistente a la corrosión. También se considera conveniente el acero inoxidable con acabado rectificado y pulido, por su resistencia a la corrosión, pero no es resistente al rayado como el cromado. En general, la sección transversal de la varilla que se requiere es pequeña, en relación con el hueco interior del cilindro, con el fin de absorber la carga de empuje, pero la sección transversal real necesaria también se debe determinar con base en la longitud de la propia varilla y si esta va a absorber los

esfuerzos como una “varilla” o como una “columna”. Si la longitud de la varilla no es mayor de diez veces su diámetro, entonces puede recibir los esfuerzos como rígida. Entonces, la carga total que la carga total que puede ser soportada por la varilla será $F = A\sigma$, en donde F = carga, de compresión o de tensión, A = área de la sección transversal de la varilla y σ = esfuerzo producido.

Cuando la longitud de la varilla es mayor de diez veces su diámetro, se comportará como una columna bajo carga de compresión y está sujeta a pandeo. El esfuerzo máximo permisible de trabajo para evitar el pandeo depende de la manera en que se fije el extremo.

1.1.4.5 Velocidad del pistón [5]

Las variables de las cuales depende la velocidad del pistón en un cilindro son la fuerza contraria, la presión prevaleciente del aire, la longitud del tubo, el área de la sección transversal de la lumbrera de la válvula y el gasto, así como del amortiguamiento en la posición final. La velocidad promedio del pistón es de más o menos 0.1 a 1.5m/s. Con impacto, la velocidad del cilindro llega hasta 10m/s.

1.1.4.6 Fuerza del pistón [5]

La fuerza del pistón ejercida por un elemento de trabajo depende de la presión del aire, el diámetro del cilindro y la resistencia de fricción de los componentes de sello. La fuerza teórica del pistón se calcula como $F_{teórica} = A.P$; en donde, $F_{teórica}$ = fuerza teórica del pistón (N), A = área útil del pistón (mm^2) y P = presión del aire (MPa). La fuerza activa del pistón, $F_{efectiva}$, debe calcularse al considerar una resistencia de fricción casi del 3 al 20%, para un rango de presiones de 0.04 a 0.08 MPa. Una vez más, este valor puede cambiar de material a material o debido a otras consideraciones.

Así que para el cilindro de simple acción:

$$F_{efectiva} = A_1 \cdot P - F_f - F_r$$

Para los cilindros de doble acción en el movimiento hacia adelante:

$$F_{efectiva} = A_1 \cdot P - F_f$$

Y para el movimiento de retorno, (ver figura 1.33):

$$F_{efectiva} = A_2 \cdot P - F_f$$

Dónde:

F_f = fuerza de fricción (3-20% de $F_{efectiva}$)

F_r = Fuerza del resorte

$A_1 = \pi(D^2/4)$ y $A_2 = \pi/4 (D^2 - d^2)$

D = diámetro del cilindro y d = diámetro del pistón

1.1.4.7 Tamaño del cilindro [5]

Los tamaños normales de cilindros se restringen a tamaños económicos; por ejemplo, de 6 mm a 250 mm de diámetro para una presión nominal en la línea de 0.5 a 0.6 MPa. Los cilindros de impacto para formado con altos índices de energía y otras aplicaciones similares se fabrican con diámetros interiores hasta de 200 mm. La longitud de la carrera de los cilindros neumáticos no debe ser mayor de 2000 mm.

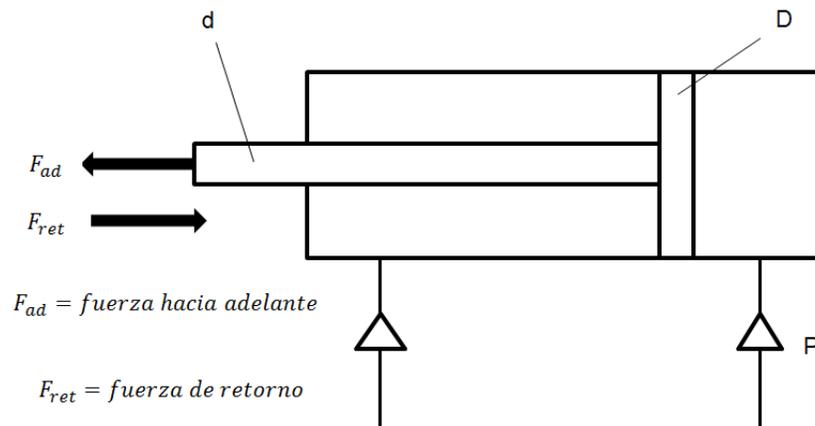


Figura 1.33 Calculo de la fuerza del cilindro.

D = Diámetro del cilindro, mm

d = diámetro del vástago (varilla), mm

A_1 = área de la sección transversal del pistón, mm²

A_2 = área efectiva del extremo del cilindro del lado de la varilla, mm²

P = presión del aire, MPa

F_{ad} = fuerza hacia adelante del cilindro, N

F_f = fuerza de fricción, N

F_{ret} = fuerza de retorno del cilindro, N

$$F_{ad} = A_1 P - F_f = (\pi/4) D^2 - F_f$$

$$F_{ad} = A_2 P - F_f = (\pi/4) (D^2 - d^2) - F_f$$

1.2. CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE

El primer antecedente del control automático tal y como se conoce en la actualidad proviene del regulador de watt, el famoso sistema que controlaba la velocidad de una turbina de vapor en el año 1774, a partir de ese regulador se desarrollaron innumerables aplicaciones prácticas.

Continuando con el contenido teórico del proyecto y habiendo ya descrito aspectos muy importantes de los sistemas electroneumáticos en los apartados anteriores se pasa a continuación a explicar de forma detallada todo lo referente a los controles lógicos programables. Es muy importante describir este apartado pues, del uso adecuado de éste PLC (Control Lógico Programable) depende el buen funcionamiento del sistema de taladrado.

1.2.1. Definición PLC ^[17]

Un PLC es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como pueden ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas de más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de la ejecución completa del programa principal. Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real. Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez.

1.2.2. Campos de aplicación ^[17]

El campo de aplicación de los PLC es muy extenso debido a las características especiales de diseño. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo, para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control y señalización. Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, o control de instalaciones, entre otras. Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, hace que su eficacia se aprecie principalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Ejemplos de aplicaciones generales son:

- Maniobra de máquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Máquinas transfer
- Maquinaria de embalaje
- Señalización y control

1.2.3. Ventajas y desventajas ^[17]

Se sabe que no todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones obligan a referirse a las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio.

Ventajas:

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos, debido a que no es necesario dibujar previamente el esquema de contactos.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio del tablero donde se instala el autómata programable.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

Desventajas:

- Personal especializado para su utilización, ya que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido.
- El costo inicial.

1.2.4. Modo de funcionamiento ^[18]

Los PLC son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada; al detectarse cambios en las señales, el autómata reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

La secuencia básica de operación del autómata se puede dividir en tres fases principales:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Procesado del programa para obtención de las señales de control.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.

A fin de optimizar el tiempo, la lectura y escritura de las señales se realiza a la vez para todas las entradas y salidas; Entonces, las entradas leídas de los módulos de entrada se guardan en una memoria temporal (Imagen entradas). A esta acude la CPU en la ejecución del programa, y según se va obteniendo las salidas, se guardan en otra memoria temporal (imagen de salida). Una vez ejecutado el programa completo, estas imágenes de salida se transfieren todas a la vez al módulo de salida.

1.2.5. Estructura básica de un PLC ^[17]

La estructura básica de un PLC está compuesta por:

- La CPU.
- Las interfases de entradas.
- Las interfases de salidas.

Esta estructura se puede observar en la figura 2.1.

a) **Procesador:** es el “cerebro” del PLC, el responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario.

Tareas principales:

- Ejecutar el programa realizado por el usuario.
- Administración de la comunicación entre el dispositivo de programación y la memoria, y entre el microprocesador y los bornes de entrada/ salida.
- Ejecutar los programas de autodiagnósticos.

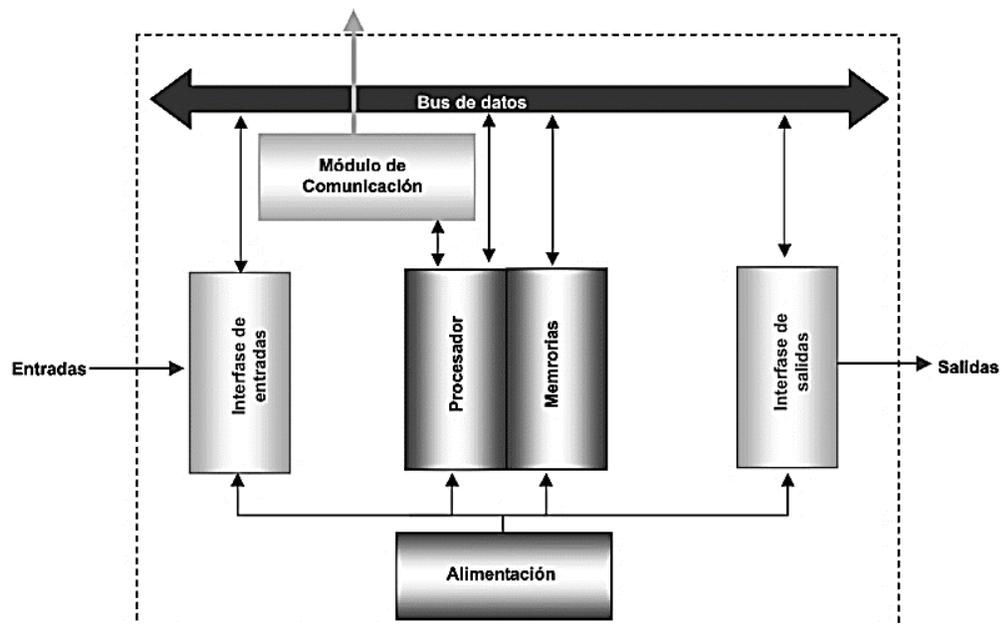


Figura 1.34 Esquema de la estructura básica de un PLC junto con sus componentes [17]

b) **Memoria:** Los PLC tienen que ser capaces de almacenar y retirar información, para ello cuentan con memorias. Las memorias son miles de cientos de localizaciones donde la información puede ser almacenada. Estas localizaciones están muy bien organizadas. En las memorias el PLC debe ser capaz de almacenar:

Datos del Proceso:

- Señales de entradas y salidas.
- Variables internas, de bit y de palabra.
- Datos alfanuméricos y constantes.

Datos de Control:

- Instrucciones de usuario, programa.
- Configuración del autómata.

Tanto el sistema operativo como el programa de aplicación, las tablas o registros de entradas/ salidas y los registros de variables o bits internos están asociados a distintos tipos de memoria.

La capacidad de almacenamiento de una memoria suele cuantificarse en bits, bytes (grupo de 8 bits), o words (grupo de 16 bits).

El sistema operativo viene grabado por el fabricante. Como debe permanecer inalterado y el usuario no debe tener acceso a él, se guarda en una memoria como las ROM (Read Only Memory), que son memorias cuyo contenido no se puede alterar inclusive con ausencia de alimentación.

Tipos de memoria:

- **La memoria de datos.**

También llamada tabla de registros se utiliza tanto para grabar datos necesarios a los fines de la ejecución del programa, como para almacenar datos durante su ejecución y/o retenerlos luego de haber terminado la aplicación. Este tipo de memorias contiene la información sobre el estado presente de los dispositivos de entrada y salida. Si un cambio ocurre en los dispositivos de entrada o salida, ese cambio será registrado inmediatamente en esta memoria. En resumen, esta memoria es capaz de guardar información originada en el microprocesador incluyendo: tiempos, unidades de conteo y relés internos.

- **Memoria del usuario.**

Es la memoria utilizada para guardar el programa. El programa construido por el usuario debe permanecer estable durante el funcionamiento del equipo, además debe ser fácil de leer, escribir o borrar. Por eso es que se usa para su almacenamiento memorias tipo RAM, o EEPROM. A estas memorias se la llama

memoria del usuario o memoria de programa. En el caso de usar memorias tipo RAM será necesario también el uso de pilas, ya que este tipo de memoria se borra con la ausencia de alimentación. En el caso de usar memorias EEPROM la información no se pierde al quitar la alimentación.

c) Entradas y salidas.

• Dispositivos de entrada.

Los dispositivos de entrada y salida son aquellos equipos que intercambian señales con el PLC. Cada dispositivo de entrada es utilizado para conocer una condición particular de su entorno, como temperatura, presión, posición, entre otras.

Entre estos dispositivos podemos encontrar:

- Sensores inductivos magnéticos, ópticos, pulsadores, termocuplas, termo resistencias, encoders, etc.
- **Dispositivos de salida.**

Los dispositivos de salida son aquellos que responden a las señales que reciben del PLC, cambiando o modificando su entorno.

Entre los dispositivos típicos de salida podemos hallar:

- Contactores de motor
- Electroválvulas
- Indicadores luminosos o simples relés

Generalmente los dispositivos de entrada, los de salida y el microprocesador trabajan en diferentes niveles de tensión y corriente. En este caso las señales que entran y salen del PLC deben ser acondicionadas a las tensiones y corrientes

que maneja el microprocesador, para que éste las pueda reconocer. Ésta es la tarea de las interfaces o módulos de entrada o salida.

Existen dos tipos de entradas en las cuales se clasifican, estas son las siguientes:

- **Entradas digitales:** también llamadas binarias u “on-off”, son las que pueden tomar sólo dos estados: encendido o apagado, estado lógico 1 ó 0. Los módulos de entradas digitales trabajan con señales de tensión. Cuando por un borne de entrada llega tensión, se interpreta como “1” y cuando no llega tensión se interpreta como “0”. Existen módulos o interfases de entradas de corriente continua para tensiones de 5, 12, 24 ó 48 Vcc y otros para tensión de 110 ó 220 Vca.
- **Entradas analógicas:** estos módulos o interfases admiten como señal de entrada valores de tensión o corriente intermedios dentro de un rango, que puede ser de 4-20 mA, 0-5 VDC o 0-10 VDC, convirtiéndola en un número. Este número es guardado en una posición de la memoria del PLC. Los módulos de entradas analógicas son los encargados de traducir una señal de tensión o corriente proveniente de un sensor de temperatura, velocidad, aceleración, presión, posición, o cualquier otra magnitud física que se quiera medir en un número para que el PLC la pueda interpretar.

d) Alimentación.

La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. La alimentación a la CPU frecuentemente es de 24 V (CC), o de 110/220 V (CA). En cualquier caso, es la propia CPU la que alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno.

La alimentación a los circuitos E/S puede realizarse, en alterna a 48/110/220 V (CA) o en continua a 12/24/48 V (CC).

e) Equipos o unidades de programación.

El autómata debe disponer de alguna forma de programación, la cual se suele realizar empleando algunos de los siguientes elementos:

- Unidad de programación: Es la forma básica de programar el autómata, y se suele reservar para pequeñas modificaciones del programa o la lectura de datos en el lugar de colocación del autómata.
- Consola de programación: Es un terminal a modo de ordenador que proporciona una forma más favorable de realizar el programa de usuario y observar parámetros internos del autómata.
- PC: Permite programar desde un ordenador personal estándar, con todo lo que ello supone: herramientas más potentes, posibilidad de almacenamiento en soporte magnético, impresión, transferencia de datos, monitorización mediante software SCADA, entre otros.

1.2.6. Clasificación de PLC ^[17]

El parámetro indicador que habitualmente define un PLC es la clasificación por cantidad de entradas y salidas (E/S), a pesar de su arbitrariedad. Los fabricantes ofrecen características tales como: la capacidad de memoria, operaciones aritméticas, en directa relación a la cantidad de entradas y salidas que el controlador puede manejar. Así, por ejemplo, suele haber una directa relación entre la clasificación de PLC como integrales, y los clasificados como micro PLC por la cantidad de E/S.

a) Cantidad de entradas y salidas ^[17]

Una de las clasificaciones más comunes de los PLC hace referencia en forma directa a la cantidad de entradas y salidas (E/S o I/O) de un PLC y se dice que un PLC es considerado micro PLC cuando tiene menos de 64 E/S, pequeños cuando tienen menos de 256 E/S, medianos cuando tienen menos de 1024 E/S y grandes cuando tienen más de 1024 E/S.

b) Estructura ^[17]

Otra de las clasificaciones que se suelen hacer respecto a los PLC es por su tipo de construcción. Estos pueden clasificarse en compactos o modulares. Un PLC es compacto cuando todas sus partes se encuentran en el mismo compartimiento, caja o chasis. Los PLC compactos suelen ser los más baratos y pequeños, pero tienen la desventaja de solo poder ampliarse con muy pocos módulos.



Figura 1.35 PLC tipo compacto ^[17]

Un PLC es modular cuando se puede componer o armar en un bastidor o base de montaje, sobre la cual se instala la CPU, los módulos de E/S y los módulos de comunicaciones si fueran necesarios, entre otros.

La principal ventaja de un PLC modular es que el usuario puede componer su equipo como sea necesario, luego puede ampliarlo si su aplicación lo requiere. También suele poseer instrucciones más complejas, un lenguaje de programación más potente y posibilidades de comunicaciones.



Figura 1.36 PLC tipo modular ^[17]

La desventaja es que suele ser más caro y voluminoso que el integral. Algunos módulos de E/S tienen forma de tarjetas con una bornera en el frente y un conector macho en su parte posterior. A estos módulos muchas veces se les denomina tarjetas de E/S. Estos módulos o tarjetas existen con distintos números de entrada y/o salidas.

1.2.7. Criterios para la selección de un PLC ^[6]

En el mercado actualmente se dispone de una gran variedad de modelos de PLC ofertados por una gran variedad de fabricantes por lo que se dificulta la selección de uno de ellos para una aplicación concreta, en la figura siguiente se muestra una lista de fabricantes actuales y los equipos que ofertan.

Tabla 1.1. Fabricantes y modelos de PLC.

FABRICANTES	AUTÓMATAS / SERIES
AEG-Modicon	Serie Micro Serie Compact 984 Series 984-385/485/685/785
Allen Bradley (Rockwell Software)	Serie PLC-2, PLC-3 y PLC-5 SLC-500: SLC-5/01, 5/02, 5/03, 5/04 Control Logix
Omron	SP10/16/20 C20/C20K/C28K/C40K/C60K C20H/C28H/C40H/C60H CPM1/CPM1A SRM1
Siemens AUT	S5-95U / S5-95F / S5-100U /S5-101U S5-115 / S5-135 / S7-200/300/400 Teleperm XP/SP LOGO!
Telemecanique	TSX-07/17/37/47/57/67/87 TSX P47 TPMX P47/P67/P87/P107

Una vez realizada la selección de cualquier PLC el usuario dispondrá de diferentes medios como lo es la consola y software de programación, piezas de repuesto, módulos de interconexión entre otros, así mismo se deberán adquirir conocimientos tales como el lenguaje de programación, instalación de PLC, configuración. Estos conocimientos adquiridos servirán a lo sumo para modelos del mismo fabricante de una gama de productos por lo que serán diferentes de otros módulos adquiridos de otro fabricante, es recomendable que se realice la selección con miras a una futura expansión de la instalación y de las disposiciones de los equipos en el mercado actual.

Se debe verificar la relación entre los productos disponibles observando las características de dichos PLC y el objetivo a alcanzar en la aplicación o proceso de automatización.

La metodología adecuada a seguir a la hora de elegir un PLC consistirá en, partiendo de un objetivo completamente definido por sus especificaciones y entorno, seleccionar un modelo definido por sus características, en función de cierto número de criterios a tener en cuenta, como:

a) Criterios funcionales [6] [7]

Estos definen cualitativa y cuantitativamente las funciones a realizar por el PLC, y resultan en la mayoría de los casos los únicos que se tienen en cuenta para la selección tecnológica. Básicamente se centran en dos aspectos:

- Definición de la Capacidad.
- Definición de la Complejidad.

La definición de la capacidad se centra principalmente en la determinación del número y naturaleza de las entradas y salidas, las que pueden ser:

- Digitales.
- Numéricas.
- Analógicas.
- Especiales.

Las más frecuentes son las entradas y salidas digitales, las cuales reciben órdenes de elementos tales como pulsadores, finales de carrera o se enviarán hacia electroválvulas, contactores, lámparas entre otros elementos.

Las entradas y salidas numéricas sirven principalmente para recibir cifras provenientes de ruedas codificadoras u otros elementos emisores de señales de esta misma naturaleza, o bien para manejar displays digitales. Su cantidad quedará definida por el número de cifras BCD a recibir o emitir.

Las entradas y salidas analógicas manejarán señales provenientes de sensores generadores de señales eléctricas, de valor proporcional a la magnitud física que controlan o las enviarán hacia los órganos de mando tipo servoválvulas, variadores de velocidad, entre otros elementos. Este tipo de señales se presentan frecuentemente en procesos de regulación.

Por último, las entradas y salidas especiales son aquellas que se presentan en módulos de funciones concretas: Contadores de alta velocidad, Módulos de comunicaciones, Termocuplas, en otras. Generalmente, en dichos casos el módulo incorpora las entradas y salidas necesarias.

La definición de complejidad se establece por la naturaleza y el volumen del tratamiento a realizar por el PLC. La primera permitirá elegir el modelo más adecuado de acuerdo con las funciones a realizar, el segundo el tamaño de la memoria y el número de variables internas a manejar.

Entre las funciones más simples que realiza un PLC son las que se derivan del replazo de las funciones de relés, con posibilidad de posicionar a uno y a cero las variables.

Funciones tales como la conexión serie (función AND), conexión paralela (Función OR), temporizadores, contadores, etc. Constituyen los componentes que se denominan: SECUENCIALES.

El siguiente paso en la complejidad del tratamiento a realizar lo constituye el "tratamiento de cálculo", motivado por la necesidad de manipular variables numéricas, entre las que se encuentran funciones:

- Comparaciones: Mayor, Menor, Igual, Limite.

- Operaciones Aritméticas: Suma, Resta, Multiplicación, División, Raíz cuadrada, etc.
- Registros de Desplazamiento de valores.
- Decodificadores.
- Operaciones trigonométricas.
- Indexaciones

El volumen del tratamiento está en relación directa con el comportamiento del proceso, y queda definido por el número de variables y funciones booleanas. Ello nos permitirá definir el tamaño de la memoria del PLC.

El último criterio funcional que el PLC debe satisfacer se refiere al tiempo de SCAN del programa, el cual indicará la rapidez de evolución de las señales y la característica de "Tiempo Real". Por ejemplo, un tiempo de ciclo de scan de 10 mseg por 1K de memoria no será compatible con procesos cuyos valores cambian cada 5 mseg. Ello incidirá en la capacidad, velocidad y precisión de temporizadores, contadores y tratamiento de cálculo.

b) Criterios tecnológicos ^[6] [7]

Hacen referencia a la adaptación de PLC a su entorno de funcionamiento, teniendo en cuenta que la situación geográfica de estos no tiene que coincidir necesariamente con la del proceso.

El PLC debe ser capaz de adaptarse en primer lugar a las características eléctrica de los captadores y actuadores del proceso. En lo referente a los captadores se tendrán en cuenta, el margen de la naturaleza de las señales que genera, los niveles de tensión o de corriente, la naturaleza de la misma y el cableado de conexión.

En el caso de los actuadores también deberán tenerse en cuenta los factores que se acaban de citar con mención especial a la naturaleza del elemento de salida del PLC: electromecánica o estática.

Las salidas a relé (electromecánica) presentan como elemento conmutador el accionamiento de un contacto seco. Ello les permite conmutar señales eléctricas de una cierta potencia (220V – 2A), al margen de la naturaleza de la corriente. Por el contrario, sus limitaciones están en la duración de vida y la frecuencia de conmutación.

Las salidas estáticas presentan un tiempo de vida muy largo y una alta frecuencia de conmutación si son comparadas con los relés. Sin embargo, el tipo de conmutador que incorporan (transistor, diac, triac) condicionan la naturaleza de la corriente eléctrica a conmutar.

Otro factor para tener en cuenta lo constituye la alimentación del PLC y su influencia sobre la memoria del programa. En estos casos hay que asegurarse que la memoria EEPROM contenida es suficiente para el programa de usuario, en el supuesto de un fallo en la alimentación.

La fiabilidad y la inmunidad a los parásitos industriales constituyen un problema resuelto para los PLC, sin embargo, resulta necesario tenerlo en cuenta en circunstancias especiales y generalmente a la hora de realizar el cableado de las entradas y salidas.

Por último, será necesario tener en cuenta factores tales como temperatura, humedad, polvo, ataques químicos, atmósferas explosivas, vibraciones, etc. En aquellos procesos en los que tengan relevancia los mismos, y solicitar de los fabricantes de los PLC las limitaciones de éstos a tales circunstancias.

c) Criterios operacionales ^[6] ^[7]

Hacen referencia al funcionamiento del PLC visto desde el plano de explotación del proceso, en lo que se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Factores espacio-temporales
- Factores ligados a la producción.
- Factores ligados a la puesta en marcha y al mantenimiento.

Los primeros vienen impuestos en aquellos casos en los que se necesitan soluciones de mando descentralizadas: el mando está compuesto por varias PLC dialogando entre ellos o con un PC, formando una estructura jerarquizada o no. En tales casos la posibilidad de comunicación por parte del PLC resulta imprescindible.

Los factores ligados a la producción se refieren a la conducta, el control y la vigilancia del proceso. Posibilidades tales como la modificación de tiempos y cantidades, visualización de los mismos u otras funciones, visualización dinámica del proceso y de las etapas en curso en una pantalla resultan fundamentales por parte de los PLC. Este dialogo hombre-maquina puede potenciarse mediante la comunicación del PLC con periféricos tipo impresora o terminal en pantalla o bien con terminales inteligentes.

En cuanto a la puesta en marcha y el mantenimiento son factores que afectan más al usuario que al proceso en sí. En el primero de ellos, la existencia de diferentes lenguajes de programación, consolas de programación con memoria propia, sistemas de almacenamiento del programa de usuario, edición de parámetros en línea, resultarán interesantes de cara a facilitar la tarea del técnico.

d) Criterios económicos ^[6] ^[7]

Constituyen el último capítulo importante en la selección de un PLC, su análisis nos lleva a considerar tres aspectos:

- Costo del material.
- Costo de la puesta en marcha.
- Costo de la formación del personal.

La valoración de cada uno de estos dependerá notablemente del producto elegido, del nivel del personal encargado de la puesta en marcha (sea propio o ajeno al usuario) y del servicio que dé el proveedor y su localización.

1.2.8. Programación PLC ^[17] ^[19]

Cuando se habla de los lenguajes de programación se hace referencia a diferentes formas de poder escribir el programa usuario. Los softwares actuales permiten traducir el programa usuario de un lenguaje a otro, pudiendo así escribir el programa en el lenguaje que más convenga.

La creciente complejidad en la programación de los autómatas programables requiere más que nunca de la estandarización de la misma. Bajo la dirección del IEC el estándar IEC 1131-3 (IEC 65) para la programación de PLC, ha sido definida. Alcanzó el estado de estándar internacional en agosto de 1992. Con la idea de hacer el modelo adecuado para un gran abanico de aplicaciones, cinco lenguajes han sido definidos en total:

- a) Gráfico secuencial de funciones (Grafcet) o Secuencial Function Chart (SFC) en ingles
- b) Lista de instrucciones (IL/AWL).
- c) Texto estructurado (ST).
- d) Diagrama de bloques de funciones (FBD)

e) Diagrama de contactos o Lógica de Escalera o Ladder Logic (LD/KOP).

No obstante, los lenguajes de programación más empleados en la actualidad son: el listado de instrucciones y el esquema de contactos o Ladder Logic.

a) Gráficos secuenciales

Los lenguajes gráficos que proveen una representación diagramática de secuencias de control en un programa como el SFC, que es similar a un diagrama de flujo, se pueden organizar los subprogramas o subrutinas (que forman el programa de control) programando las mismas en LD, FBD, IL y/o ST. El SFC es particularmente útil para operaciones de control secuencial, donde un programa fluye de un punto a otro una vez que una condición ha sido satisfecha (cierta o falsa).

El marco de programación de SFC contiene tres principales elementos que organizan el programa de control:

- Pasos (etapas)
- Transiciones (condiciones)
- Acciones

El programa irá activando cada una de las etapas y desactivando la anterior conforme se vayan cumpliendo cada una de las condiciones. Las acciones se realizarán en función de la etapa activa a la que están asociadas.

Por ejemplo, la etapa 1 activa tras arrancar el programa, al cumplirse la "Condición 1", se activará la etapa 2, se desactivará la 1, y se realizará la "Acción 1", y así sucesivamente.

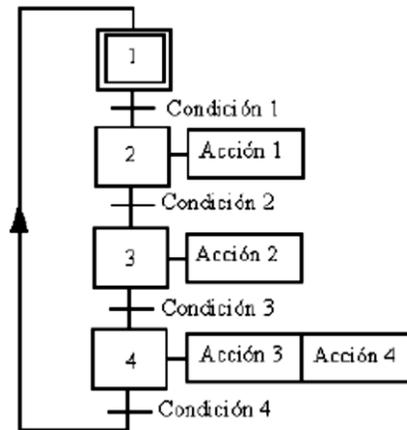


Figura 1.37 Ejemplo de SFC [19]

Este lenguaje divide el ciclo de proceso en un cierto número de pasos bien definidos, y en transiciones que los separan. Este lenguaje es el núcleo del estándar IEC 1131-3. Los otros lenguajes se usan para describir las acciones realizadas en cada uno de los pasos, y para describir las condiciones lógicas para pasar de una etapa a otra (Transiciones).

Puede clasificar las acciones que ocurren durante el proceso en:

- Internas: acciones que se producen en el equipo de control, por ejemplo, temporizaciones, contadores, cálculos matemáticos, etc.
- Externas: las acciones que se producen sobre el proceso, por ejemplo, abrir o cerrar una válvula, activar o desactivar una bomba, etc.

El paso de una etapa a la siguiente se realiza dependiendo de si se cumple o no la condición de transición entre ellas. Toda transición lleva asociada una condición de transición o función lógica booleana que se denomina receptividad, y que puede ser verdadera o falsa. Se dice que la transición está validada, cuando la etapa o etapas anteriores a la transición están activadas. El franqueamiento de la transición se producirá si, y sólo si, la transición esta validada y la receptividad es verdadera.

Algunas normas para tener en cuenta:

- La etapa inicial de un Grafcet se activa de forma incondicional. Esta situación inicial se corresponde en general con una situación de reposo.
- Una transición está en disposición de ser validada cuando todas las etapas inmediatamente precedentes, unidas a dicha transición, están activadas. La activación de una transición se produce cuando está validada y la condición de transición o receptividad es verdadera.
- Franquear una transición implica la activación de todas las etapas siguientes inmediatas, y la desactivación de los inmediatos precedentes.
- Transiciones conectadas en paralelo, se activan de forma simultánea si se cumplen las condiciones para ello.
- Una o varias acciones se asocian a cada etapa. Estas acciones sólo están activas cuando la etapa esta activa.

Como consecuencia de que las aplicaciones industriales funcionan en forma de pasos, el SFC es la forma lógica de especificar y programar el más alto nivel de un programa para PLC.

b) Diagrama de bloques funcionales (Function block diagram - FBD)

Es un lenguaje gráfico que permite al usuario construir procedimientos complejos mediante la unión de bloques funcionales prediseñados. Este lenguaje gráfico también describe una función entre las variables de entrada y variables de salida, como un conjunto de bloques elementales, que están conectados por líneas de conexión, al igual que un circuito eléctrico.

Generalmente utilizan símbolos lógicos para representar al bloque de función. Las salidas lógicas no requieren incorporar una bobina de salida, porque la salida es representada por una variable asignada a la salida del bloque.

El diagrama de funciones lógicas, resulta especialmente cómodo de utilizar, a técnicos habituados a trabajar con circuitos de puertas lógicas, ya que la simbología usada en ambos es equivalente.

Adicionalmente a las funciones lógicas estándares y específicas del vendedor, el lenguaje FBD de la Norma IEC 1131-3 permite al usuario construir sus propios bloques de funciones, de acuerdo a los requerimientos del programa de control.

Características de este lenguaje:

- Las salidas de los bloques funcionales no se conectarán entre sí.
- La evaluación de una red estará terminada antes de la siguiente

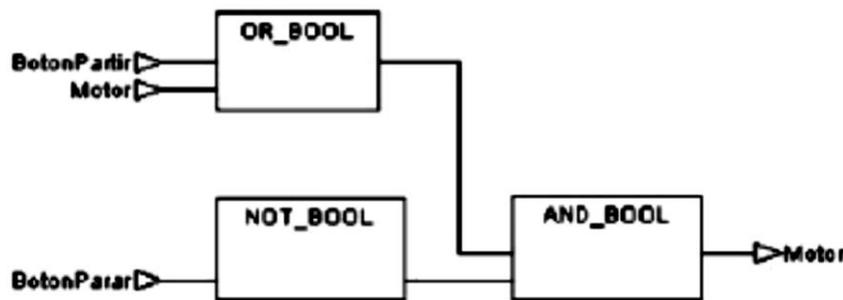


Figura 1.38 Ejemplo de programación utilizando diagrama de bloques.

A continuación, se ilustran las compuertas lógicas en lenguaje FBD, y algunos ejemplos funcionales con su representación en FBD:

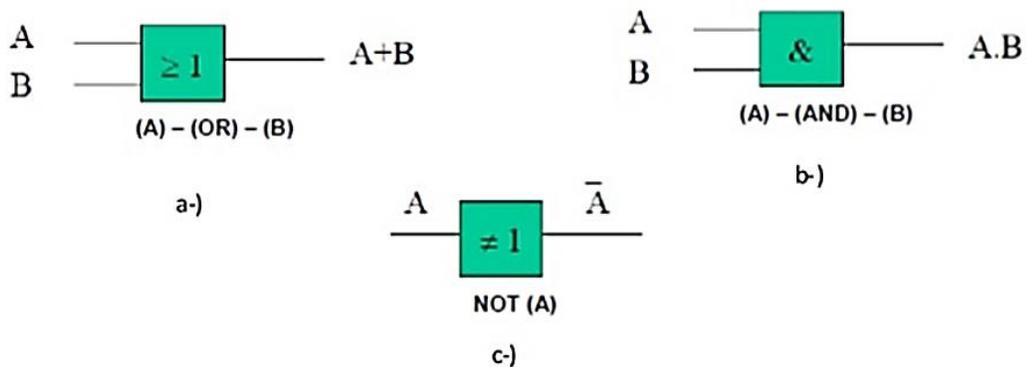


Figura 1.39 Ejemplo de diagrama de bloques usando funciones lógicas.

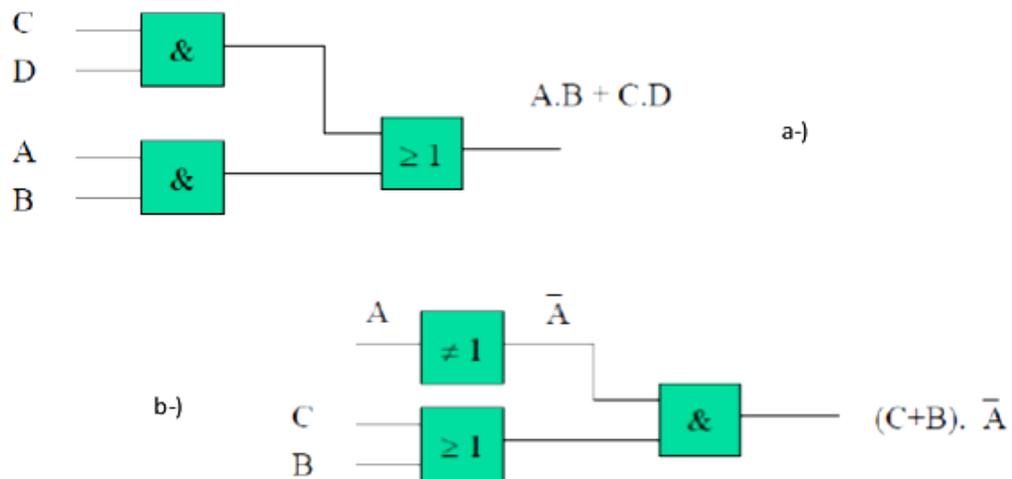


Figura 1.40 Ejemplos de combinaciones de diagrama bloques funcionales.

En la figura 2.6 literal a-) se aprecia la forma de utilizar la función lógica or, así mismo en el literal b-) se percibe su contraparte, la función lógica and, mientras que en el literal c-) se observa representación de la función negada (NOT).

En cuanto a la figura 2.7 en el literal a-) y b-) la lógica a seguir en el momento de combinar diagrama de bloques.

c) Texto estructurado (Structured text – ST)

Este es un lenguaje estructurado de alto nivel, que es estructurado en bloques y sintácticamente similar a Pascal, aunque sus raíces provienen de Ada y C, pero más intuitivo para el ingeniero de control, por que usa subrutinas para llevar a cabo diferentes partes de las funciones de control y paso de parámetros y valores entre las diferentes secciones del programa.

Al igual que LD, FBD e IL, el lenguaje de texto estructurado utiliza la definición de variables para identificar entradas y salidas de dispositivos de campo y cualquier otra variable creada internamente.

Contiene todos los elementos esenciales de un lenguaje de programación moderno, incluyendo selección del flujo de ejecución condicional (IF-THEN-ELSE y CASE OF) y lazos de iteración o cálculo repetitivo (FOR, WHILE y REPEAT), que pueden ser anidados. Además, soporta operaciones Booleanas (AND, OR, NOT) y una variedad de datos específicos, tales como fecha, hora.

La programación en Texto Estructurado es apropiada para aplicaciones que involucran manipulación de datos, ordenamiento computacional y aplicaciones matemáticas que utilizan valores de punto flotante. ST es el mejor lenguaje para la implementación de aplicaciones de inteligencia artificial, lógica difusa, toma de decisiones, entre otros.

Este lenguaje resulta excelente para la definición de bloques de función complejos o procedimientos que no pueden ser expresados mediante lenguajes gráficos.

```
IF ( BotonPartir OR Motor ) AND NOT BotonParar THEN
    Motor := TRUE;
ELSE
    Motor := FALSE;
END_IF;
```

Figura 1.41 Ejemplo de programación con texto estructurado.

Dentro de las ventajas del lenguaje de Texto Estructurado aplicado a PLC, se tiene:

- Soporta instrucciones aritméticas complejas.
- Soporta instrucciones anidadas.
- Soporta ciclos de iteración (repeat – until, while – do)
- Soporta ejecución condicional (If – Then – Else, Case)
- Es fácil agregar comentarios que explican la lógica.
- Todo lo que está entre (* y *) es un comentario y no se ejecuta.

d) Nemónicos o lista de Instrucciones (Instruction list – IL)

Es un lenguaje de bajo nivel basado en operaciones Booleanas y cuya apariencia es similar al código del lenguaje ensamblador; se podría afirmar también que este lenguaje no es más que la representación en forma de texto del lenguaje gráfico "Ladder". Es el más antiguo de los lenguajes de programación de PLC. Precursor del Ladder se usaba cuando los computadores aun no tenían capacidad gráfica. En este lenguaje cada instrucción se basa en las definiciones del álgebra de álgebra lógica.

A continuación, relacionan en forma de nemónico las instrucciones y se indica su funcionalidad:

LD: operación inicio contacto abierto.

LD NOT: operación inicio contacto cerrado.

AND (Y): contacto serie abierto.

OR (O): contacto paralelo abierto.

AND NOT: contacto serie cerrado.

OR NOT: contacto paralelo cerrado.

OUT: bobina de relé de salida.

MEM: relé interno o marca.

TMR: temporizador.

CNT: contador.

Como se sabe, el lenguaje Booleano utiliza la sintaxis del Álgebra de Boole para ingresar y explicar la lógica de control. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o nemónicos, haciendo uso de operadores Booleanos (AND, OR, NOT, etc.) y otras instrucciones nemónicas, para implementar el circuito de control. Es por eso que el lenguaje "Lista de Instrucciones" (IL) de la Norma IEC 1131-3, es una forma de lenguaje Booleano.

```
LD BotonPartir
OR Motor
AND NOT BotonParar
OUT Motor
```

Figura 1.42 Ejemplo de programación booleana.

e) Diagrama escalera (Ladder Diagram – LD)

Tiene sus raíces en USA. De los distintos tipos de lenguaje de programación de un PLC, que existen actualmente, quizás el más común sea el LADDER, también denominado lenguaje de contactos o de escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los Controladores Lógicos Programables (PLC), debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos, es decir, está basado en la representación gráfica de la lógica de relevadores. De este modo, con los conocimientos que todo técnico eléctrico posee, es muy fácil adaptarse a la programación en este tipo de lenguaje. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según normas NEMA y son empleados por todos los fabricantes.

Los diagramas de escalera son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales. También es conocido como plano de contactos, esquema de contactos (KOP), pero popularmente se le llama diagrama "escalera" porque se asemejan a una escalera, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay circuitos de control que definen la lógica a través de funciones.

De esta manera las principales características y elementos del lenguaje Ladder son:

- El esquema se realiza entre dos líneas o barras de alimentación dispuestas verticalmente a ambos lados del diagrama, entre ellas se dibujan los elementos del lenguaje. Estos carriles de alimentación son las líneas de suministro de energía L1 y L2 para los circuitos de corriente alterna y 24 V y tierra para los circuitos de CC.



Figura 1.43 Esquema de barras alimentación.

- A la derecha del esquema se ubican los elementos de salida y a la izquierda se situarán los elementos de entrada.



Figura 1.44 Ubicación de las entradas y salidas.

- El diagrama puede tener varias ramas o escalones. La mayoría de los PLC permiten más de una salida por cada renglón (Rung).

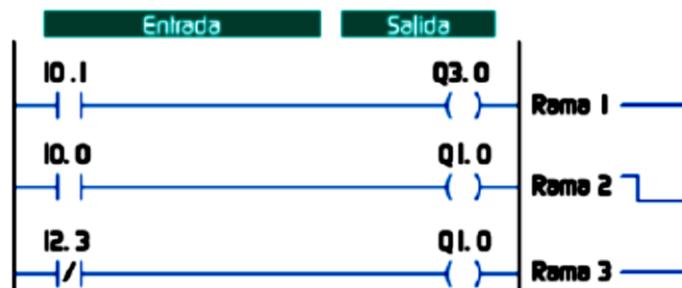


Figura 1.45 Representación de las líneas o ramas de la escalera.

- Cada rama permite ubicar varios elementos de entrada, pero sólo uno de salida.

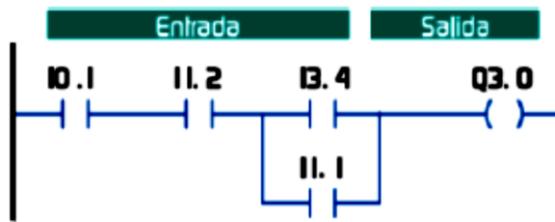


Figura 1.46 Esquema de las salidas por rama.

El procesador (o "controlador") explora peldaños de la escalera de arriba a abajo y de izquierda a derecha, en otras palabras, el sentido de programación de los bloques de contactos de un programa de ejecuta en el sentido de arriba abajo y en cada bloque de contactos se realiza en el orden de izquierda a derecha.

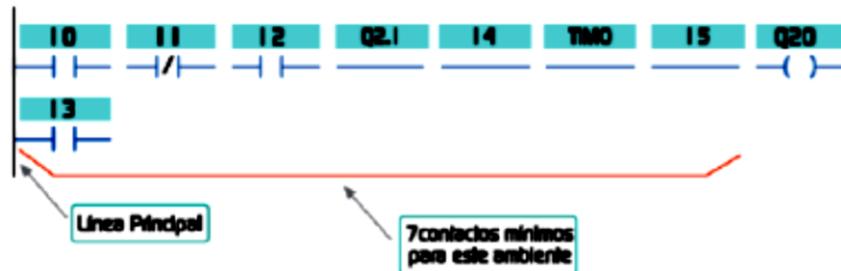


Figura 1.47 Muestra de evaluación de jerarquías.

Estas condiciones se manejan comúnmente con contactos normalmente abierto o normalmente cerrados los cuales interpretan las señales de alto y bajo de sensores o interruptores. Si las condiciones son verdaderas la corriente llega a las instrucciones de salida las cuales generan acciones como energizar la bobina de un motor o energizar una lámpara, por ejemplo. De esta forma el paso de la corriente a las bobinas de salida está condicionadas por la lógica que manejen las instrucciones de entradas.

Un PLC tiene muchas terminales de "entrada" y también muchos terminales de salida, a través de los cuales se producen las señales "alta" o "baja" que se transmiten a las luces de energía, solenoides, contactores, pequeños motores y otros dispositivos que se prestan a control on/off.

En un esfuerzo por hacer PLC fácil de programar, el lenguaje de programación Ladder fue diseñado para asemejarse a los diagramas de lógica de escalera. Por lo tanto, un electricista industrial o ingeniero eléctrico, acostumbrados a leer esquemas de lógica Ladder se sentirán más cómodos con la programación de un PLC si se maneja con el lenguaje Ladder.

Este lenguaje al igual que el LADDER, serán vistos a profundidad en la medida que avance el curso puesto que son los más utilizados en la programación de PLC.

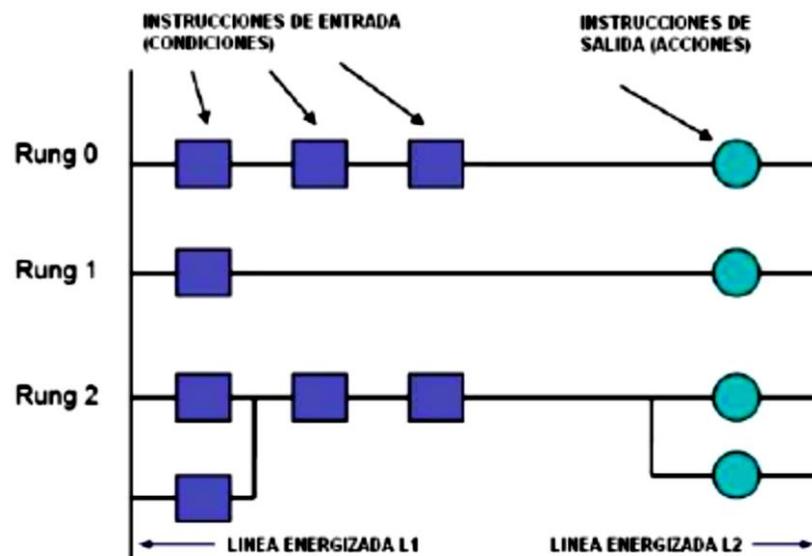


Figura 1.48 Descripción de la lógica Ladder.

Desventajas de usar este lenguaje:

- Está enfocado en controlar los problemas, donde sólo las variables discretas (booleanas) son necesarias y/o donde, son el problema principal de control.
- Es difícil manipular las variables analógicas y expresar las operaciones aritméticas.
- Tiene un soporte muy limitado para las matrices y bucles, resultando a menudo en la duplicación de código.

Introducción a los diagramas ladder logic

Los diagramas Ladder Logic son similares a los diagramas de lógica de relé. Las principales diferencias entre los dos son las Funciones de la Programación de Ladder Logic que no aparecen en los diagramas de lógica de relé.

Características:

- Todas las entradas están representadas por símbolos de contactos
- Todas las salidas están representadas por símbolos de bobinas
- Las operaciones numéricas están incluidas en el conjunto de instrucciones de Ladder Logic gráfico.

Equivalentes Ladder Logic a los circuitos de relé.

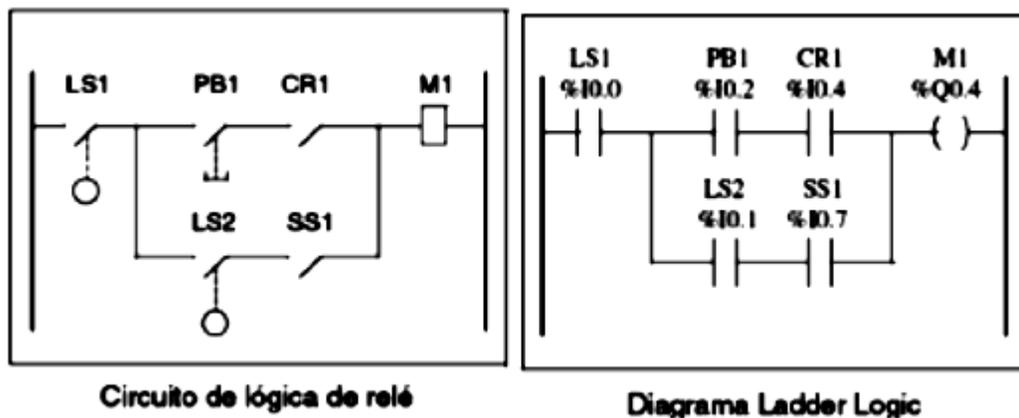


Figura 1.49 Diagrama simplificado del cableado de un circuito de lógica de relé y el diagrama Ladder Logic equivalente.

Se puede percatar de que todas las entradas asociadas al dispositivo de conmutación, en el diagrama de lógica de relé, aparecen como contactos en el diagrama Ladder Logic. La bobina de salida M1 del diagrama de lógica de relé se representa con un símbolo de bobina de salida en el diagrama Ladder Logic. Los números de dirección que aparecen sobre cada uno de los símbolos de contactos o bobinas en el diagrama Ladder Logic hacen referencia a la posición que ocupan las conexiones de entrada/salida con el controlador.

2. DISEÑO MECÁNICO Y ELECTRONEUMÁTICO

A continuación, se pasa a la exposición de los aspectos de diseño mecánico y Electroneumática que se abordaron para la fabricación del sistema de taladrado.

2.1. Diseño mecánico

Para el diseño mecánico se partirá del dimensionamiento de cada una de las estaciones fijas de trabajo para ello se deben de conocer las dimensiones de los elementos ubicados en cada una de ellas. Conociendo las dimensiones del taladro y del cilindro neumático el cual se mostrará en el diseño electroneumático posteriormente.

2.1.1. Consideraciones generales

- La mesa circular girará 72 grados para la realización de cada operación.
- Para efectos de rigidez y durabilidad de la mesa se optará por fabricarla de un acero AISI 1020.
- Al realizarse cada operación un pistón se encargará de sujetar la pieza de trabajo para una mayor precisión.
- Durante cada operación la mesa circular será sujeta del eje por medio de la transmisión sinfín-corona la cual permite un bloqueo junto con un motor de paso.
- La mesa circular tendrá 5 cavidades con una tolerancia mínima en las cuales se ubicará la pieza de trabajo para asegurar una buena sujeción al momento de realizar cada una de las operaciones.
- La sujeción de la pieza será del 75% de la altura de ésta.

- La mesa circular se unirá a un eje de transmisión por medio de pernos a una pieza acoplada al eje, lo cual facilitará la instalación y mantenimiento en caso de ser necesario retirar la misma.
- El eje de transmisión y la mesa serán soportados por dos cojinetes los cuales le darán mayor estabilidad para momentos flexionantes que actúen sobre este.
- También se dispondrá de una transmisión para el motor de paso que moverá dicha mesa.

2.1.2. Dimensionamiento de piezas a trabajar en bruto

- 25 x 25 x 25 mm
- Material de pieza: PVC

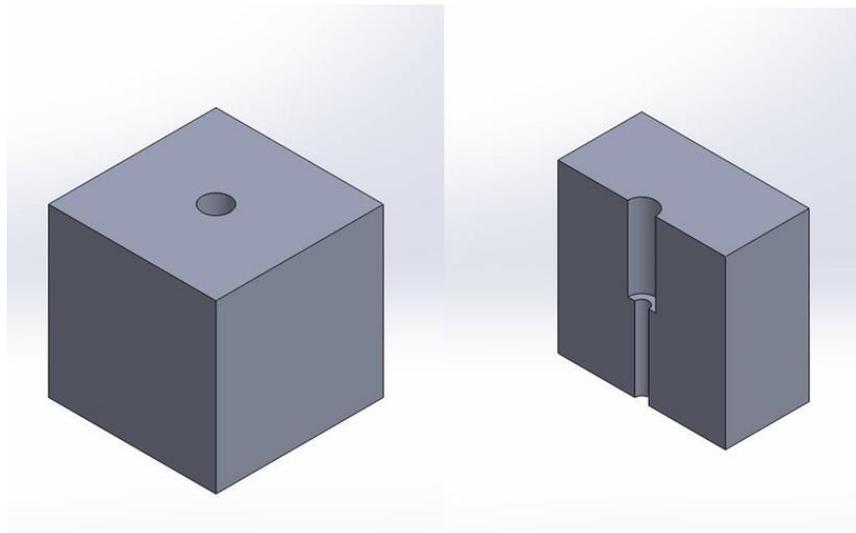


Figura 2.1 Pieza final con procesos de taladrado

El diseño de la estación de trabajo tanto del área mecánica como de la electroneumática dependerá de las dimensiones del taladro utilizado para los procesos.

Elementos a utilizar en las estaciones de taladrado:

- Taladro
- 2 cilindros neumáticos

Seleccionando un taladro manual para su instalación con las siguientes características técnicas:

- Adaptador de voltaje AC 110-240 V a DC 1-24 V Velocidad sin carga: 4500 r/min a 6 V, 15000 r/min a 24 V
- Broquero JT0 de precisión, rango de cierre: 0.3 ~ 4 mm
- Dimensiones: 9 cm largo por 3 cm de diámetro.
- Peso: 165.5 g
- Tensión: 120 V AC ~ 6 – 24 V
- Velocidad en vacío: 4500 - 15000 rpm



Figura 2.2 Taladro a utilizar en el proceso del sistema.

Teniendo en cuenta las dimensiones del taladro y el peso de este se parte a diseñar tanto los aspectos mecánicos como el electro-neumático.

Del cilindro de doble efecto seleccionado ADN-20-50-A-B-A que tiene las siguientes características según estándares ISO-1179 e ISO-228-1:

- Diámetro del embolo: 20 mm
- Diámetro exterior de cilindro: 32 mm
- Carrera: 50 mm
- Fluido de trabajo: aire comprimido según ISO 8573-1:2010
- Presión de funcionamiento: 0.2 – 1.0 MPa (2-10 bar)
- Temperatura ambiente: -10 a 70 °C

A partir de las características antes especificadas se procede al dimensionamiento de las estaciones fijas.

Además, se utilizará un diferente tipo de cilindro para la sujeción del eje y sujeción de piezas, el cual tiene las siguientes especificaciones:

- Diámetro del embolo: 20 mm
- Diámetro exterior de cilindro: 32 mm
- Carrera: 50 mm
- Fluido de trabajo: aire comprimido según ISO 6432
- Presión de funcionamiento: 0.06 – 0.7 MPa
- Temperatura ambiente: -10 a 70 °C

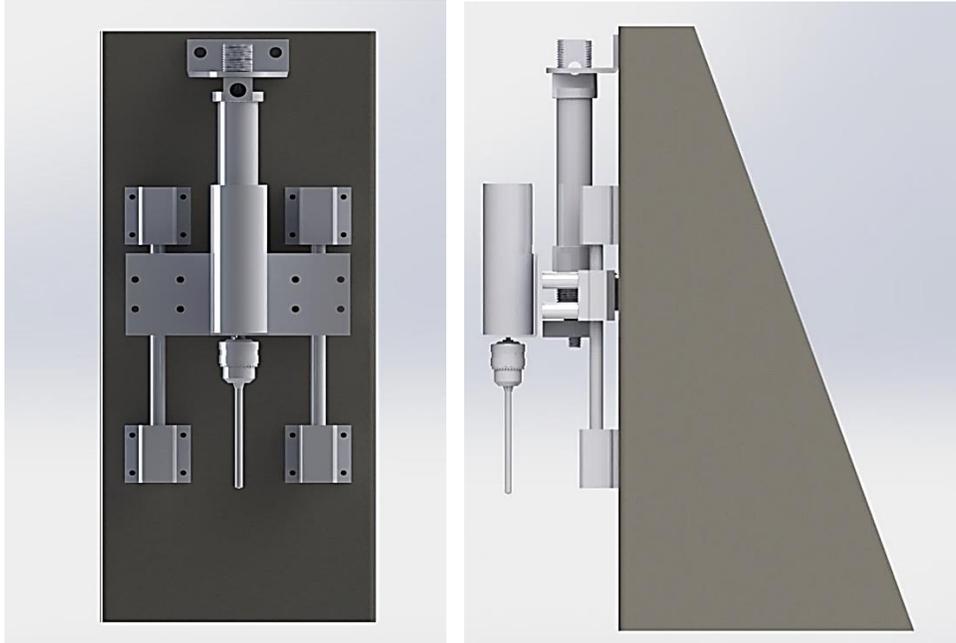


Figura 2.3 Vista frontal y lateral de estación fija de taladrado.

Tabla 2.1 Elementos en estación fija de taladrado.

N.º	Descripción	Diámetro exterior
1	Cilindros neumáticos MCMI-11-20-50-	32 mm
2	Taladro eléctrico	30 mm

Sumando las medidas más un margen para instalación se tendrá un ancho de estación fija de 120 mm.

2.1.3. Diseño de mesa de trabajo

Mesa de 5 estaciones fijas en las cuales se realizarán los siguientes procesos:

- Entrada de piezas.
- Agujero pasado en pieza.
- Ensanchamiento de agujero (Mandrinado).
- Comprobación de diámetros de agujeros.
- Salida de piezas.

Variables.

- Material de la mesa
- Dimensionamiento
- Peso
- Fuerzas aplicadas.

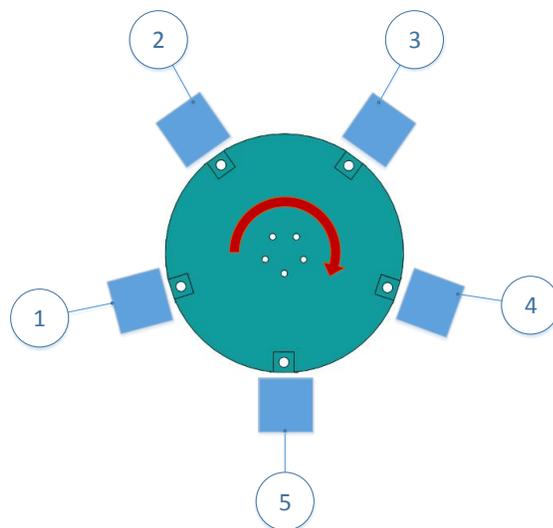


Figura 2.4 Esquema superior de estación de maquinado.
Donde: 1) Entrada de piezas de trabajo, 2) Proceso de taladrado de pieza, 3) Proceso de mandrinado, 4) Proceso de medición de perforaciones y 5) Salida de piezas de trabajo.

Se procede al cálculo del diámetro de la mesa el cual dependerá del ancho de las estaciones fijas como del espaciamiento entre estaciones.

Ancho de estaciones: 120 mm

Espaciamiento entre estaciones 58 mm

$$\text{Perímetro} = (130 \times 5) + (58 \times 5)$$

$$\text{Perímetro} = 940 \text{ mm}$$

Del perímetro se tiene:

$$\text{Perímetro} = 940 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro} = \frac{940 \text{ mm}}{\pi} = 299.21 \text{ mm}$$

$$D \approx 300 \text{ mm}$$

2.1.4. Cálculo de peso y geometría de la mesa

- La mesa contará de 5 cortes cuadrados de 25.4 x 25.4 mm al borde de la mesa distribuidos a 72 grados en toda la circunferencia.
- Por rigidez se seleccionó un espesor de acero de 6.35 mm (¼ pulg).
- En cada uno de estos cortes se ubicarán una pequeña plataforma para la sujeción de pieza de trabajo como se muestra en la figura siguiente.
- Cada una tendrá un orificio de 10 mm de diámetro en la parte inferior para la realización de perforaciones pasadas.

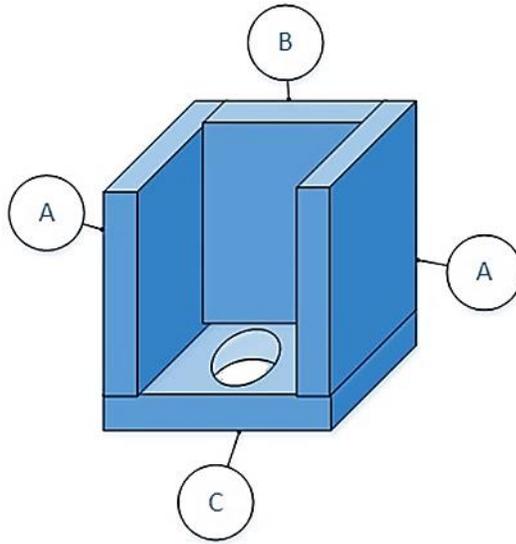


Figura 2.5 Dimensiones para pieza de sujeción.

Sumando y convirtiendo unidades de piezas se tiene.

$$V_1 = 2(2,560.48 \text{ mm}^3) + 2,056.45 \text{ mm}^3 + 7,681.44 \text{ mm}^3$$

$$V_1 = 14,858.85 \text{ mm}^3$$

Volumen de disco:

$$V_2 = \frac{\pi}{4} D^2 \times e = \frac{\pi}{4} (300)^2 \times 6.35 = 448,855.05 \text{ mm}^3$$

Volumen de las cavidades

$$V_3 = 25.4 \text{ mm} \times 25.4 \text{ mm} \times 6.35 \text{ mm} = 4,096.77 \text{ mm}^3$$

Volumen total de la mesa:

$$V_M = 5V_1 + V_2 - 5V_3$$

$$V_M = 5(14,858.85 \text{ mm}^3) + 448,855.05 \text{ mm}^3 - 5(4,096.77 \text{ mm}^3)$$

$$V_M = 502,665.45 \text{ mm}^3$$

Ya que el material del cual se fabricará la mesa es acero AISI 1020 [8] se tiene:

$$\rho = 7.87 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$

Por lo tanto, la masa total es de:

$$m = 502,665.45 \text{ mm}^3 \times 7.87 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$

$$m = 3.96 \text{ kg}$$

Por lo que el peso será de:

$$W_M = 3.96 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 38.85 \text{ N}$$

2.1.5. Estimación de fuerza de perforación

Para la estimación de la fuerza de perforación primeramente se midió de forma experimental el tiempo en que el taladro tarda en perforar la probeta de una pulgada cúbica con el propósito de obtener la velocidad de avance. Los datos de tiempo medido fueron los siguientes.

Tiempo de perforación:

1. 13.81 segundos
2. 10.27 segundos
3. 13.15 segundos
4. 11.25 segundos

Promedio: 12.12 segundos.

Velocidad de avance:

$$\frac{25.4 \text{ mm}}{12.12 \text{ seg}} = 2.095 \text{ mm/seg} = 125.74 \text{ mm/min} \cong 126 \text{ mm/min}$$

Ahora que se tiene la velocidad de avance se puede obtener el avance por revolución (f_n) el cual se necesita para estimar la fuerza de perforación y se obtiene de la siguiente manera:

$$n = 15,000 \text{ rpm del taladro}$$

$$f_n = \frac{v_f}{n} = \frac{126 \text{ mm/min}}{15,000 \text{ rpm}} = 0.0084 \text{ avance/rev}$$

Con el valor de avance por revolución y la siguiente ecuación sacada del catálogo de las referencias, se puede estimar el valor de la fuerza del siguiente modo:

$$F = 11.4 * k * D * (100(f_n))^{0.85}$$

$$F = 11.4 * 0.6 * 3.175 * (100 * 0.0084)^{0.85}$$

$$F = 18.72 \text{ N}$$

2.1.6. Diseño de eje ^[8]

El diseño de eje se considerará para carga que proviene de los cilindros de taladrado y de los cilindros de sujeción de piezas.

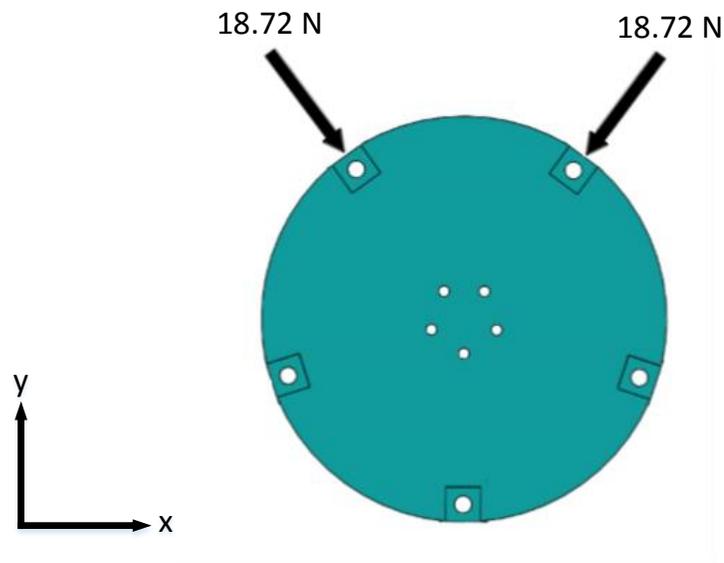


Figura 2.6 Fuerzas actuantes sobre la mesa

Fuerzas resultantes.

$$\Sigma F_y = -24.50 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = -17.80 \text{ N}$$

$$FR = \sqrt{((24.5)^2) + ((17.8)^2)} = 30.28 \text{ N}$$

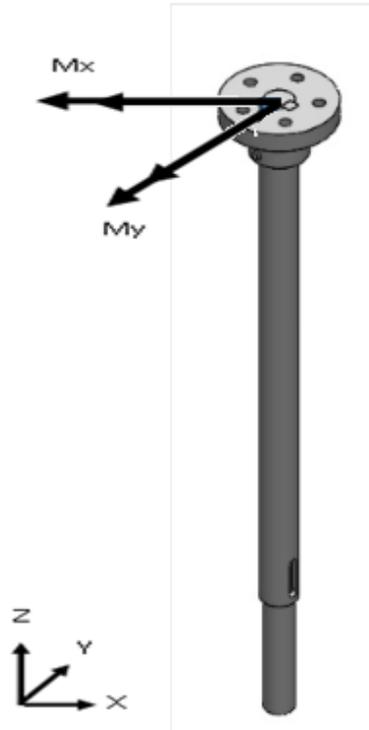


Figura 2.7 Momentos resultantes en el eje.

Momentos resultantes aplicados al eje por fuerzas de sujeción laterales.

$$\Sigma M_{R1} = (-17.8i)(-0.05k) + (-24.50j)(-0.05k)$$

$$\Sigma M_{R1} = (1.22i - 0.89j)N.m$$

$$M_{R1} = \sqrt{(1.22^2) + (0.89^2)} = 1.51 N.m$$

Momentos resultantes aplicados al eje debido a fuerzas de taladrado.

$$\Sigma M_{R2} = (-18.72k)(0.15\cos(72)j) + (-18.72k)(0.15\text{sen}(72)i) \\ + (-18.72k)(0.15j)$$

$$\Sigma M_{R2} = (3.68i - 2.67j)N.m$$

$$M_{R2} = \sqrt{(3.68^2) + (2.67^2)} = 4.55 N.m$$

Sumatoria de momentos por fuerzas de sujeción y taladrado.

$$M_{R2} = M_{R1} + M_{R2} = 1.51 + 4.55 = 6.06 \text{ N.m}$$

Se tiene de las propiedades de Acero AISI 1020 [8]

$$S_y = 205 \text{ MPa}$$

Con teoría de esfuerzo normal máximo y factor de seguridad de 1 se obtiene el diámetro crítico de eje.

$$\sigma = \frac{M_R(d/2)}{\pi d^4/64} = \frac{32M_R}{\pi d^3} = \frac{S_y}{n}$$

$$d = \left(\frac{32M_R}{\pi S_y} \right)^{1/3} = \left(\frac{32 \times 6.06}{\pi \times 205 \times 10^6} \right)^{1/3} = 0.0067 \text{ m}$$

Por lo que cualquier diámetro mayor a 6.7 mm de diámetro cumplirá con los requisitos mínimos de resistencia.

2.1.7. Selección de cojinetes [8]

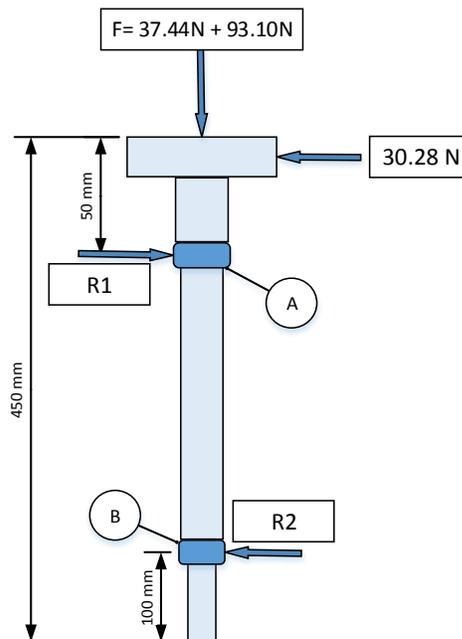


Figura 2.8 Eje de transmisión

Calculando las reacciones en cada uno de los cojinetes:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$30.28 N(0.05m) - R2(0.3) = 0$$

$$R2 = 5.05 N \approx 1.135 \text{ lbf}$$

$$R1 = 30.28 + 5.05 = 35.33 N \approx 7.94 \text{ lbf}$$

Analizando cojinetes para carga radial y axial.

F_e = Carga equivalente en el cojinete.

V = Factor de rotación (1.0 si la pista interna del cojinete gira, 1.2 si la pista externa del cojinete gira).

F_r = carga radial resultante aplicada en el cojinete.

C = carga dinámica en el cojinete.

K = Factor de vida del cojinete (3.0 para cojinetes de bola, 10/3 para cojinetes cónicos)

L_d = Vida útil de diseño del cojinete

L_{10} = vida de diseño en horas del cojinete

X = Factor radial que depende de la geometría del cojinete.

F_a = Carga axial o de empuje en cada cojinete.

Y = Factor de empuje que depende de la geometría del cojinete.

V = Factor de rotación.

Cojinete A

$$F_{e_A} = VxFr + \gamma Fa$$

$$F_{e_A} = (1.0 \times 0.56 \times 7.94 \text{ lb}) + 1.5(29.35 \text{ lb})$$

$$F_{e_A} = 48.47 \text{ lb} \approx 215.61 \text{ N}$$

Cojinete B

$$F_{eB} = VxFr + \gamma Fa$$

$$F_{eB} = (1.0 \times 0.56 \times 1.135lb) + 1.5(29.35 lb)$$

$$F_{eB} = 44.66 lb \approx 198.66 N$$

Analizando carga en ambos cojinetes.

$$C = Fe \left(\frac{Ld}{10^6} \right)^{1/k}$$

$$Ld = L_{10} \times N \times 60 = 11,500 \times 1 \times 60 = 690,000$$

$$C_A = 48.47 \left(\frac{690,000}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C_A = 42.83 lb \approx 190.52 N$$

$$C_B = 44.66 \left(\frac{690,000}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C_B = 39.46 lb \approx 175.53 N$$

Seleccionando cojinete 6200

De tablas ^[8] se obtiene:

$$C_o = 520 lb \approx 2313.08 N$$

Comprobando:

$$e = \frac{F_a}{C_o} = 0.05644$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{29.35}{7.94} = 3.6965 > e$$

Dado que la relación de fuerzas no cumple la condición se procede a analizar los cojinetes solo para carga radial.

$$Fe = VFr = (1.0)(7.94) = 7.94 lb$$

$$C = 7.94 \left(\frac{690,000}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 7.016 \text{ lbf} \approx 31.21 \text{ N}$$

Seleccionando cojinetes se tiene:

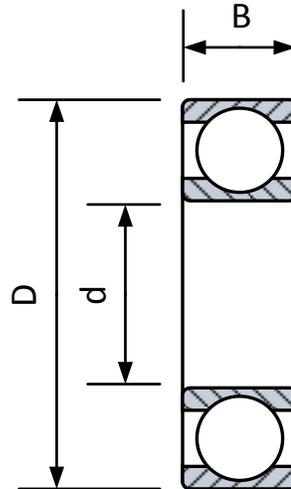


Figura 2.9 Esquema de cojinete de bolas.

Tabla 2.2 Características de cojinetes seleccionados.

Características Cojinete A:	Características Cojinete B:
- Número de cojinete 6205	- Número de cojinete 6204
- $D = 52 \text{ mm} = 2.0472 \text{ pulg}$	- $D = 47 \text{ mm} = 1.8504 \text{ pulg}$
- $d = 25 \text{ mm} = 0.9843 \text{ pulg}$	- $d = 20 \text{ mm} = 0.7874 \text{ pulg}$
- $B = 15 \text{ mm} = 0.5906 \text{ pulg}$	- $B = 14 \text{ mm} = 0.5512 \text{ pulg}$

Dados los valores de diámetros de pista interna de ambos cojinetes se procede al dimensionamiento del eje de transmisión el cual se plantea en los planos anexos.

2.1.8. Selección de tornillos de sujeción de mesa – eje [8]

Para la selección de los tornillos primeramente se ha de determinar la fuerza que actúa sobre los tornillos. Esta es transmitida por los cilindros neumáticos a la mesa y de la mesa a los tornillos sucesivamente como se puede apreciar en el esquema de la figura 2.10. Los tornillos se encuentran en el centro de la mesa, de modo que se transmitirán las fuerzas al centro de la mesa.

Al trasladar las fuerzas al centro de la mesa, éstas generan un momento por cada una, éstos a su vez generarán un momento resultante que producirá una fuerza que será la que se utilizará para seleccionar los 5 pernos.

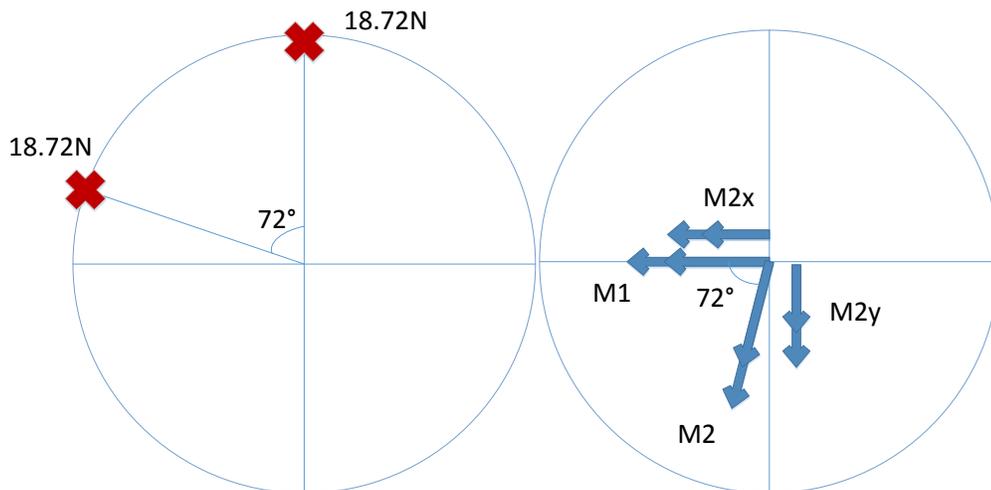


Figura 2.10 Fuerzas sobre la mesa y fuerzas sobre los tornillos.

Los momentos generados por las fuerzas son los siguientes:

$$M_2 = 18.72 \text{ lb} \times 0.15 \text{ m} = 2.808 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_1 = 18.72 \text{ lb} \times 0.15 \text{ m} = 2.808 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ahora se obtendrán los valores de las componentes x e y del momento M_2 y el momento M_1 debido a que se encuentra en el eje x su componente será su mismo valor para que de este modo se obtenga el valor del momento resultante M que se puede apreciar en la figura 2.11.

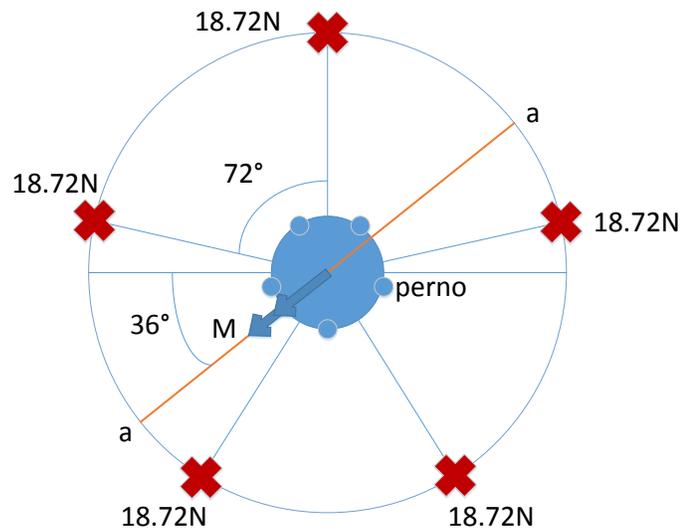


Figura 2.11 Distribución de los pernos y del momento resultante M .

El espacio entre cada fuerza de 18.72 N es de 72° y los pernos se encuentran en dirección de dicha fuerza.

$$M_{2x} = 2.808 \cos(72) = 0.8677 \text{ N.m}$$

$$M_{2y} = 2.808 \sin(72) = 2.6706 \text{ N.m}$$

$$M_{1x} = 2.808 \text{ N.m}$$

Ahora se sumará algebraicamente los valores de las componentes:

$$M_x = M_{2x} + M_{1x} = 0.8677 + 2.808 = 3.6757 \text{ N.m}$$

$$M_y = M_{2y} = 2.6706 \text{ N.m}$$

Así que el valor del momento resultante es:

$$M = \sqrt{3.6757^2 + 2.6706^2} = 4.5434 \text{ N.m}$$

Ahora que ya se tiene el valor del momento resultante se puede encontrar la fuerza que provoca dicho momento y que afecta los tornillos que se seleccionarán. Esto se hará dividiendo el momento resultante M entre el brazo de palanca, el cual tendrá un valor de 25.4 mm (1 pulg) que es la distancia entre el centro de la mesa y la ubicación de los pernos:

$$F = \frac{4.5434 \text{ N.m}}{0.0254 \text{ m}} = 178.87 \text{ N}$$

Con esta fuerza que se ha encontrado se podrán seleccionar los correspondientes pernos para sujetar la mesa giratoria al eje.

En la figura 2.12. Se muestran los parámetros correspondientes al momento de diseñar, se tiene un espesor de la mesa de trabajo de 6.35 mm (1/4 pulg) de acero AISI 1020, un grosor de la parte superior del eje a la que irá empernada mesa de trabajo de 12.7 mm (1/2 pulg), también puede observarse en la figura la cota L_S que es la longitud del tornillo sin rosca, L_t es la longitud de tornillo con rosca que se encuentra ubicado solo en el área de sujeción, además esta L_R que es longitud de tornillo que está completamente roscada. La longitud total de tornillo es la sumatoria de L_S y L_R .

Para seleccionar los pernos de sujeción se siguen los pasos siguientes:

- Se asume un valor para la relación $K_m = tK_b$ donde t tendrá el valor siguiente como variable de diseño $t = 1.3$, por lo tanto, la relación debe ser $K_m = 1.3K_b$ (K_m = constante de rigidez del material y K_b = constante de rigidez del perno).

Ahora se determinará la constante de rigidez:

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} = \frac{K_b}{K_b + 1.3K_b} = 0.435$$

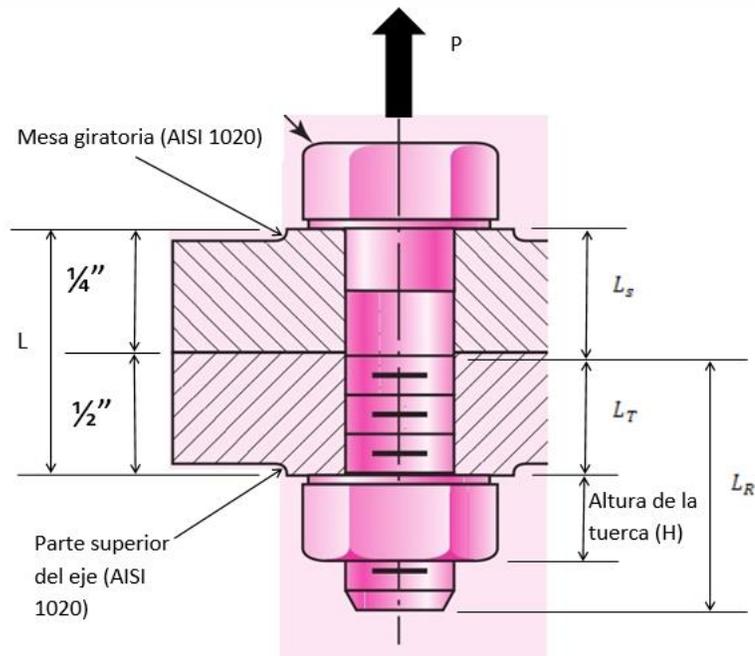


Figura 2.12 Esquema de la configuración del tornillo. [8]

En este caso se aplicará el análisis por carga estática: La fuerza que se aplica en los pernos de sujeción es de 178.87 N (40.2 lb), tal y como se muestra en la figura 2.11 el momento M somete a tracción a los dos pernos que se encuentran en la parte inferior de la línea a-a resaltada en rojo, de modo que la fuerza de 178.87 N será soportada por esos dos pernos hay que dividirla entre 2. Al hacerlo esta queda de 89.43 N (20.1 lb) y para el análisis se denominará "P" ($P= 20.1$ lb).

- Con las suposiciones hechas, se determinará una variable A_t que representa el área del tornillo supuesto, y se hará utilizando la ecuación siguiente de acuerdo a la teoría de falla de tornillos de sujeción. [8]

$$\frac{S_p}{n} = \sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = \frac{F_i}{A_t} + \frac{CP}{A_t}$$

Pero para determinar la variable A_t se necesita encontrar primero F_i la cual representa la precarga y se hará de la siguiente manera:

$$F_i = KA_t S_p$$

Dónde K : factor de sujeción.

A_t : Área de esfuerzo de tensión (variable a encontrar).

S_p : Esfuerzo permisible en tablas.

Para el valor de K de sujecion se utilizará 0.75 debido a que son aplicaciones de cargas leves y son conexiones reutilizables:

El perno que se asume es el siguiente (son las especificaciones ASTM para pernos de acero sistema Ingles).

La designación de ASTM Núm. A307M.

$$\text{Donde: } S_p = 33000 \text{ psi y } S_u = 60000 \text{ psi}$$

Con estos valores se puede tener la tensión inicial:

$$F_i = 0.75(A_t)33000 = 24750A_t$$

Ahora utilizando la teoría de falla mencionada arriba de forma simplificada se obtiene el valor de A_t , considerando previamente que el factor de seguridad es igual a 1 ($n = 1$) y F_b es igual a F_i :

$$\frac{S_p}{n} = \frac{F_i}{A_t} + \frac{CP}{A_t}$$

Sustituyendo datos:

$$\frac{33000}{1} = \frac{24750A_t}{A_t} + \frac{0.435(20.1)}{A_t}$$

Despejando la variable A_t :

$$A_t = 0.001059 \text{ in}^2 \approx 0.68 \text{ mm}$$

Nota: esta área que se ha encontrado es la mínima de falla, es decir, que diámetros mayores que el de dicha área cumplirán con las condiciones de carga.

- Se elige un perno de diámetro de 6.35 mm (1/4 pulg) y $A_t = 0.0364 \text{ in}^2 \approx 23.48 \text{ mm}^2$, con una rosca fina UNF debido a que estará sometido a vibraciones [8].

Ahora calculando los valores de K_m y K_b :

En este caso debido a que el material del que están hechos los elementos es el mismo, es decir, tienen el mismo módulo de elasticidad, se usará la siguiente ecuación:

$$K_m = \frac{0.577\pi dE}{2 \ln \left[\frac{5(0.577L + 0.5d)}{0.577L + 2.5d} \right]}$$

Donde:

L : Suma de los espesores de los materiales sujetos por el perno.

E : Módulo de elasticidad del material.

$$L = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = 19.05 \text{ mm (0.75 pulg)}$$

$$E = 206.84 \text{ GPa (30x10}^6 \text{ psi)}$$

$$d = 6.35 \text{ mm (1/4 pulg)}$$

Siendo E el módulo de elasticidad del acero AISI 1020 ^[8]. De esta forma sustituyendo y evaluando en la ecuación anterior se tiene:

$$K_m = \frac{0.577\pi \frac{1}{4} (30 \times 10^6)}{2 \ln \left[\frac{5 \left(0.577 \left(\frac{3}{4} \right) + 0.5 \left(\frac{1}{4} \right) \right)}{0.577 \left(\frac{3}{4} \right) + 2.5 \left(\frac{1}{4} \right)} \right]}$$

$$K_m = 7011836.52 \text{ lb/pulg}$$

La rigidez del perno es:

$$K_b = \frac{A_t A_s E}{A_t L_s + A_s L_t}$$

De nuevo el valor de E ya se conoce del cálculo anterior para la rigidez de los materiales y el valor de A_s es:

$$A_s = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \left(\frac{1}{4} \right)^2 = 31.68 \text{ mm}^2 \text{ (0.0491 pulg}^2\text{)}$$

De tablas ^[8] se obtiene el valor de $A_t = 23.48 \text{ mm}^2 \text{ (0.0364 pulg}^2\text{)}$

Ahora se obtendrá la longitud total del perno sumando el espesor de las dos piezas de acero que conforman la configuración del ensamble más la altura de la tuerca que se obtendrá a continuación:

Buscando la altura de tuerca en tablas [8] con $d = 6.35 \text{ mm}$ ($\frac{1}{4} \text{ pulg}$)

Altura de la tuerca $H(\text{hexagonal regular}) = 5.56 \text{ mm}$ ($7/32 \text{ pulg}$)

Ahora se hace la suma de los espesores de las piezas más la altura de la tuerca.

$$l_{\text{perno}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} + H = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} + 7/32 = 24.6 \text{ mm} (0.9687 \text{ pulg})$$

Se utilizará un perno con $l_{\text{perno}} = 25.4 \text{ mm}$ (1 pulg) debido a que la longitud de los tornillos se encuentra estandarizada según normas ASTM

Ya que $L < 6$ entonces:

$$L_R = 2d + 1/4 = 2(1/4) + 1/4 = 19.05 \text{ mm} (0.75 \text{ pulg}) \text{ (ver figura 2.12)}$$

$$L_S = l_{\text{perno}} - L_R = 1 - 0.75 = 6.35 \text{ mm} (0.25 \text{ pulg})$$

$$L_t = L - L_S = 0.75 - 0.25 = 12.7 \text{ mm} (0.5 \text{ pulg})$$

Al sustituir valores en la ecuación de K_b se obtiene lo siguiente:

$$K_b = \frac{(0.0364)(0.0491)(30 \times 10^6)}{(0.0364)(0.25) + (0.0491)(0.5)} = 1593378.9 \text{ lb/pulg}$$

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} = \frac{1593378.9}{1593378.9 + 7011836.52} = 0.1852$$

Ahora se hacen nuevamente los cálculos, solo que hoy ya se conoce el valor de A_t :

$$F_t = 0.75(0.0364)33000 = 4007.4 \text{ N} (900.9 \text{ lb})$$

Ahora utilizando la teoría de falla nuevamente, con la diferencia que esta vez lo que se busca es saber si la configuración de sujeción resiste los estados de sollicitación, por lo tanto, la variable ahora será el factor de seguridad n :

$$\frac{S_p}{n} = \frac{F_i}{A_t} + \frac{CP}{A_t}$$

Sustituyendo datos:

$$\frac{33000}{n} = \frac{900.9}{0.0364} + \frac{0.1852(20.1)}{0.0364}$$

Despejando la variable n :

$$n = 1.327 \cong 1.33$$

Como se puede apreciar el valor del factor de seguridad es de 1.33 por lo tanto este perno que fue seleccionado soporta los estados de sollicitación a los que está sometido. De este modo, se seleccionarán 5 pernos con la especificación siguiente: **6.36mm (1/4 pulg) - 28 UNF x 25.4mm (1 pulg) -ASTM A307M**. Es recomendado utilizar arandelas de presión para que ayuden a soportar las fuerzas a las que estará expuesto el sistema.

2.1.9. Diseño del tornillo sinfín y del engrane helicoidal ^[8] y ^[9]

Se definen los valores siguientes:

Diámetro de paso del helicoidal o corona $d_G = 60 \text{ mm}$

Número de dientes del helicoidal o corona $N_G = 30 \text{ dientes}$

Módulo $m = 2 \text{ mm}$

Número de dientes del sinfín $N_w = 1$

Ángulo de hélice $\psi_G = \lambda = 5^\circ$

Ángulo de presión es: $\phi_n = 20^\circ$

Con dichos valores se procede a calcular según las ecuaciones lo siguiente:

Paso diametral de la corona o helicoidal $P_d = \frac{1}{m} = \frac{30}{60} = 0.5 \text{ dientes/mm}$

Paso circular de la corona o helicoidal $p_t = \frac{\pi}{P_d} = 6.283185 \cong 6.30 \text{ mm}$

Paso axial del sinfín $p_{tG} = p_{xw} = 6.283185 \text{ mm}$

Avance $L = p_x \times N_w = 6.283185 \text{ mm}$

Diámetro de paso del sinfín $\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_w} \rightarrow d_w \cong 22.8602 \text{ mm}$ (0.90 pulg)

Se consideran dos opciones utilizar el valor anterior o aproximar a 1 pulg $\approx 25.4 \text{ mm}$

Distancia entre centros: $C = \frac{d_G + d_w}{2} = \begin{matrix} \Rightarrow 41.4301 \text{ mm (para 22,8602)} \\ \Rightarrow 42.7 \text{ mm (para 25.4)} \end{matrix}$

Ninguna de las dos opciones de diámetro anteriormente planteadas satisface la condición $\frac{C^{0.875}}{3.0} \leq d_w \leq \frac{C^{0.875}}{1.7}$ por lo que se tomará el diámetro mayor.

Addendum $a = 0.3183p_x = \frac{1}{P_d} = 2 \text{ mm}$

Dedendum $b = 0.3683p_x = \frac{1.157}{P_d} = 2.314 \text{ mm}$

Profundidad total $h_f = 0.6866p_x = \frac{2.157}{P_d} = 4.314 \text{ mm}$

Profundidad de trabajo $h_f = 2a = 0.6366p_x = \frac{2}{P_d} = 4 \text{ mm}$

Diámetro de la raíz del sinfín: $d_{rw} = d_w - 2b = 20.772 \text{ mm}$

Diámetro exterior del sinfín: $d_{ow} = d_w + 2a = 29.4 \text{ mm}$

Diámetro de la raíz del helicoidal: $d_{rG} = d_G - 2b = 55.372 \text{ mm}$

Diámetro de la garganta del helicoidal: $d_t = d_G + 2a = 64 \text{ mm}$

Ancho de cara del helicoidal: $F_G = (d_{ow}^2 - d_w^2)^{1/2} = 14.8054 \text{ mm}$ este último se aproximó a $19.05 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ pulg}$

Longitud de la cara del sinfín (longitud del tornillo): $F_w = 2 \left[\frac{d_t^2}{2} - \left(\frac{d_G}{2} - a \right)^2 \right]^{1/2} \cong 30.9080 \text{ mm}$ este último se aproximó a $31.75 \text{ mm} \approx 1.25 \text{ pulg}$

Eficiencia: $\eta = \frac{\cos \phi_n - \mu \tan \lambda}{\cos \phi_n + \mu \tan \lambda} = 0.9645$ donde $\mu = 0.20$ para nylon MC901.

Para que no exista bloqueo en el funcionamiento normal se debe cumplir lo siguiente:

$$\cos \phi_n \cos \lambda > \mu$$

Sustituyendo valores se verifica que la condición se cumple y por lo tanto no se bloqueará en funcionamiento.

2.1.10. Selección de motor [8]

El cálculo del motor se realizará por medio de establecer el torque necesario para mover la carga. Para este fin existe la ecuación siguiente:

$$T_{motor} = \left(I_1 + \frac{n^2}{\eta} I_2 \right) \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

Donde:

I_1 : Inercia del sinfín

I_2 : Suma de la inercia del eje, meza, engrane helicoidal.

n^2 : Relación de velocidades n_2/n_1 al cuadrado en rad/s

η : Eficiencia de la transmisión.

$$I_1 = \frac{m d_w^2}{8} = 4.917357064 \times 10^{-6} \text{ kg} - m^2$$

$$I_2 = I_G + I_{meza} + I_{eje}$$

$$I_G = \frac{m d_G^2}{8} = 2.8414 \times 10^{-6} \text{ kg} - m^2$$

$$I_{meza} = \frac{m d_{meza}^2}{8} = 0.1068 \text{ kg} - m^2$$

$$I_{eje} = \frac{md_{eje}^2}{8} = 1.4750 \times 10^{-6} \text{ kg} - m^2$$

$$\therefore T_{motor} = 32.19433831 \times 10^{-6} \text{ N} - m$$

Dado que los motores de paso vienen determinados por unidades de onzas-pulgadas se requiere convertir el valor anterior a dichas unidades para poder seleccionar el motor con el torque adecuado.

$$T_{motor} \equiv 0.004559 \text{ oz} - \text{pulg}$$

Dado que las exigencias del torque son muy bajas se decide escoger el motor de paso tipo NEMA 23.

2.2. Diseño electroneumático

El sistema de taladrado automatizado para fines didácticos será accionado por elementos eléctricos y neumáticos a su vez, por lo cual habrá que considerar el diseño de los circuitos de dichas áreas.

2.2.1. Descripción de componentes

Selección de cilindros neumáticos

Para seleccionar un cilindro se debe tomar en cuenta diversos factores tales como las cargas a trabajar, estructura del cilindro, instalación, etc. Debido a que la finalidad del proyecto es un fin didáctico, y la carga de trabajo es reducida, se consideró como factor principal el tamaño del cilindro, disponibilidad en el mercado y factores económicos.

Cilindros para sujeción

- Marca: Mindman
- Modelo: MCMI-11-20-25
- Diámetro: 20 mm
- Carrera: 25 mm
- Presión máxima de trabajo: 0.7 MPa
- Puerto: 3.175 mm (1/8 pulg) NPT

Cilindro taladro

- Marca: Mindman
- Modelo: MCMI-11-20-50
- Diámetro: 20 mm
- Carrera: 50 mm
- Presión máxima de trabajo: 0.7 MPa
- Puerto: 3.175 mm (1/8 pulg) NPT



Figura 2.13 Cilindro mindman MCMI.

Selección de válvulas

Válvula direccional electroneumática

La selección de una válvula está relacionada a la selección del número de vías, número de posiciones y tipo de accionamiento que sea necesario o que esté disponible para el circuito neumático. Se eligieron válvulas 5 vías y 2 posiciones (5/2) para que el circuito no esté limitado a futuras modificaciones.

- Tipo: válvula direccional 5/2 con retorno de muelle
- Marca: Mindman
- Accionamiento: Solenoide
- Voltaje: 24 DC
- Corriente: 0.08 A
- Modelo: MVSC-220-4E1-NPT
- Presión: 0.2-0.8 MPa
- Puerto: 6.35 mm (¼ pulg) NPT



Figura 2.14 Válvula electroneumática mindman.

Válvula reguladora de caudal-unidireccional.

Las válvulas reguladoras de caudal o velocidad, permiten mantener el flujo de aire en el rango óptimo, de tal modo de controlar la velocidad de accionamiento de los cilindros. Para el sistema de taladrado, se requiere regular las velocidades de desplazamiento de los cilindros que movilizan los taladros.

- Marca: Sang-A
- Modelo: NSE-06-02
- Puerto: 3.175 mm (1/8 pulg) NPT
- Presión: 0-1.03 MPa (0-150 psi)



Figura 2.15 Válvula reguladora de caudal.

Unidad de mantenimiento

Los dispositivos que conforman el circuito neumático deben recibir aire a una presión uniforme y libre de impurezas, para evitar problemas de funcionamiento. Para esto se seleccionó una unidad de mantenimiento la cual contuviera regulador, filtro y lubricador.

- Marca: Mindman
- Modelo: MACP200
- Puerto: 6.35 mm (¼ pulg) NPT
- Presión: 0 – 0.99 MPa



Figura 2.16 Unidad de mantenimiento.

2.2.2. Diseño neumático

El circuito consta de cinco cilindros los cuales realizarán la función de primer taladrado, segundo taladrado, sujeción de las piezas para realizar la operación de taladrado y un cilindro simulará una medición de tolerancias.

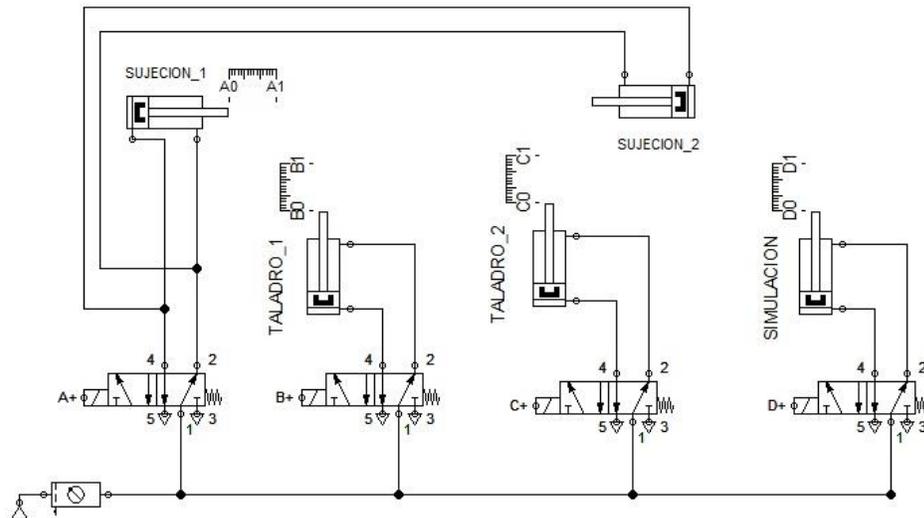


Figura 2.17 Circuito neumático.

El circuito neumático contiene los siguientes elementos y puede ser apreciado en la figura 2.17.

Tabla 2.3 Elementos del circuito neumático

Elemento	Cantidad
Cilindro neumático 20 x 25 mm	2
Cilindro neumático 20 x 50 mm	3
Válvula electroneumática 5/2 con retorno de muelle	4
Unidad de mantenimiento	1
Sensores magnéticos	8
Manifold	1
Válvula reguladora de caudal unidireccional	10
Racor	8

2.2.3. Cálculo de presión y caudal

Se estimó la fuerza necesaria para realizar una perforación en el material de trabajo; la cual es de un valor de 18.72 N. A partir de este valor se estimará la presión necesaria en el embolo del cilindro seleccionado, el cual posee un diámetro de 20 mm.

Utilizando la siguiente ecuación, se estimará el valor de presión.

$$P = \frac{F(40)}{\pi(D^2)}$$

Donde:

P: Presión, Bar

F: Fuerza, Newton

D: Diámetro, mm

Se conoce que el diámetro del cilindro es de 20 mm, sustituyendo valores, se obtiene:

$$P = \frac{18.72(40)}{\pi(20^2)} = 0.05958 \text{ MPa (0.5958 Bar)}$$

La cual será la presión mínima de operación en la extensión de los cilindros.

El consumo de aire del cilindro es una función de la relación de compresión, del área del pistón y de la carrera, según la fórmula^[1] :

$$Q = 2 * \frac{0.987 + P_{aire}}{0.987} * \frac{\pi(l)(D^2)}{4000000} * n$$

Donde:

Q: consumo total de aire, dm^3/min

P: presión del aire, Bar

D: Diámetro del cilindro, mm

L: Carrera del cilindro, mm

N: Ciclos por minuto

Tabla 2.4 fuerza de empuje y fuerza del pistón en el retroceso.^[1]

Fuerza de empuje actuando el aire en toda el área del pistón						Fuerza a restar por el área del vástago del pistón en el retroceso					
Diámetro del cilindro (mm)	Área del pistón (mm ²)	Fuerza de empuje en Newton a varias presiones (bar)				Diámetro vástago del pistón (mm)	Área del vástago del pistón (mm ²)	Fuerza de retroceso a varias presiones (Newton)			
		1,0	5,0	7,0	10,0			1,0	5,0	7,0	10,0
6	28	2,8	14,1	19,8	28,3	4	13	1,3	6,3	8,8	12,6
8	50	5,0	25,1	35,2	50,2	6	28	2,8	14,1	19,8	28,3
10	79	7,9	39,3	55,0	78,5	8	50	5,0	25,1	35,2	50,2
12	113	11,3	56,5	79,1	113,0	10	79	7,9	39,3	55,0	78,5
14	154	15,4	76,9	107,7	153,9	12	113	11,3	56,5	79,1	113,0
16	201	20,1	100,5	140,7	201,0	16	201	20,1	100,5	140,7	201,0
20	314	31,4	157,0	219,8	314,0	20	314	31,4	157,0	219,8	314,0
25	491	49,1	245,3	343,4	490,6	25	491	49,1	245,3	343,4	490,6
32	804	80,4	401,9	562,7	803,8	32	804	80,4	401,9	562,7	803,8
40	1.257	125,6	628,0	879,2	1.256,0	40	1.257	125,6	628,0	879,2	1.256,0
50	1.963	196,3	981,3	1.373,8	1.962,5						
63	3.117	311,6	1.557,8	2.181,0	3.115,7						
80	5.027	502,4	2.512,0	3.516,8	5.024,0						
100	7.854	785,0	3.925,0	5.495,0	7.850,0						
125	12.272	1.226,6	6.132,8	8.585,9	12.265,6						
160	20.106	2.009,6	10.048,0	14.067,2	20.096,0						
200	31.416	3.140,0	15.700,0	21.980,0	31.400,0						

Utilizando la ecuación se determinan el consumo de aire de cada uno de los tipos de cilindros utilizados.

Tabla 2.5 Consumo de aire de cilindros neumáticos

Cilindro	Consumo de aire, dm^3/min
20 x 25	0.1259
20 x 50	0.2519

Para efectos del circuito neumático, se utilizarán 3 cilindros de cada tipo 20 X 50 y 2 cilindros 20 X 25, por lo cual se define el caudal total de la siguiente manera:

$$Q_{Total} = n_{cil} \times Q_{cil}$$

$$Q_{Total} = 0.0010076 \text{ m}^3/min$$

$$Q_{Total} = 0.036 \text{ cfm}$$

Este es el caudal demandado por todo el circuito neumático sin considerar pérdidas; estas pérdidas se presentarán en la tubería/mangueras producto de la fricción, así como en las válvulas, unidad de mantenimiento, manifold etc.

2.3. Diseño eléctrico

El circuito eléctrico ha sido desarrollado por el método de cascada para que su desarrollo se efectúe de un modo secuencial.

Funcionamiento del circuito

El diseño del circuito es tal que admite 3 tipos de accionamiento, representados por los interruptores manuales marcha, paro y stop.

El interruptor marcha es el encargado de iniciar el ciclo de trabajo, siempre y cuando los finales de carrera de los cilindros retraídos se encuentren activados; al accionar marcha se energiza el relé KM, el cual es el encargado de mandar una señal al Arduino el cual es el control del motor paso a paso, el cual hace que la mesa se desplace angularmente. Una vez finalizado el circuito del Arduino este envía una señal que es captada por el interruptor M1 el cual en conjunto con el relé K2 energiza la bobina A+ que corresponde a la sujeción de las piezas.

Una vez extendido el cilindro de sujeción A, el sensor magnético detecta este final de carrera activando el relé K3 que a su vez activa la bobina B+ del cilindro de taladrado y energiza este mismo, efectuando el taladrado en la pieza hasta su completa extensión activando K4, el cual procede a retraer el cilindro y a desenergizar el taladro. En este punto se realiza otro ingreso de pieza y se presiona marcha para que energice KM y se ponga en marcha el motor, lo cual colocará la primera pieza en la segunda estación y la pieza recién ingresada en la primera estación.

Una vez el Arduino envía la señal al PLC se activa la bobina A+, la cual extiende los cilindros de sujeción, que a su vez extendidos activan K6 el cual energiza los taladros y las bobinas B+ y C+, que extienden los cilindros de los taladros hasta que completan su carrera, momento en el cual se energiza K7 y

hace que los cilindros sean retraídos. Al ingresar la tercera pieza y accionar marcha, se desplaza una vez más el motor paso a paso hasta finalizar el programa, y mandar la señal M1 que energizará KX el cual en conjunto con K8 extenderán los cilindros de sujeción que activarán K9, el cual energizará las bobinas B+ y C+ y sus respectivos taladros, así como la bobina D+ hasta completar sus carreras para posteriormente retraerse.

Esta secuencia se realizará continuamente cada vez que se presione marcha, dando la capacidad al sistema de taladrar tantas piezas sean necesarias. Para detener la marcha se deberá accionar stop el cual energizará el relé KB que activará K11 para dar marcha al motor y posteriormente desarrollará la secuencia en cascada para trabajar las piezas que se encuentren en la mesa giratoria.

El pulsador paro consiste en energizar KA el cual mediante contactos normalmente cerrados ubicados previo a las bobinas B+, C+ y D+ retraerá los cilindros una vez estén extendiéndose para pausar momentáneamente el desarrollo del programa en caso de ser necesario.

Selección de PLC

Para llevar a cabo esta tarea se utilizará un controlador lógico programable, el cual para la aplicación seleccionada viene limitado por el número de entradas y salidas físicas que posea el equipo.

A continuación, se presenta un breve resumen de las entradas que se utilizarán en el circuito y su respectiva representación en este:

Tabla 2.6 Denominación de contactos de entrada.

ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
A0	Final de carrera cilindro de sujeción (retraído)
A1	Final de carrera cilindro de sujeción (extendido)
B0	Final de carrera cilindro primer taladrado (retraído)
B1	Final de carrera cilindro primer taladrado (extendido)
C0	Final de carrera cilindro segundo taladrado (retraído)
C1	Final de carrera cilindro segundo taladrado (extendido)
D0	Final de carrera cilindro simulación (retraído)
D1	Final de carrera cilindro simulación (extendido)
MARCHA	Interruptor que dará inicio al circuito
STOP	Interruptor que detiene el ingreso de piezas, pero maquina las piezas restantes
PARO	Interruptor de parada del circuito
X	Entrada asignada para señal de motor que movilizará la mesa
Y	Entrada asignada para señal de motor que sacará las piezas
TOTAL	13 ENTRADAS

Resumen de las salidas a utilizar en el PLC

Tabla 2.7 Denominación de solenoides.

ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
A+	Solenoides de válvula de cilindro A
B+	Solenoides de válvula de cilindro B
C+	Solenoides de válvula de cilindro C
D+	Solenoides de válvula de cilindro D
F	Salida destinada para activar arduino de motor que movilizará mesa
G	Salida destinada para activar arduino de motor que sacará las piezas
H	Salida destinada a energizar taladro 1
I	Salida destinada a energizar taladro 2
TOTAL	8 SALIDAS

Por lo que se seleccionará un PLC Siemens S7 1200 CPU 1214C AC/DC/Relé, el cual posee las siguientes características:

- Modelo: CPU 1214C AC/DC/Relé
- Referencia: 6ES7 214-1BE30-0XB0
- E/S digitales integradas: 14E/ 10S
- E/S analógicas integradas: 2 entradas
- Rango de alimentación: 85 a 264 V AC
- Frecuencia de línea: 47 a 63 Hz
- Tensión nominal entradas digitales: 24 V DC a 4 mA
- Rango de tensión salidas digitales: 5 a 30 V DC



Figura 2.18 PLC Siemens S7 1200 CPU 1214C AC/DC/Relé.

Conexión eléctrica PLC

El PLC es energizado a 120 V AC por la fase mediante L1 y el neutro por N, además cuenta con una fuente interna de 24 V DC para alimentación de sensores la cual no se utilizará.

La alimentación de entradas es por medio de un común para las 14 entradas el cual servirá de masa para éstas, y alimentadas cada una a 24V DC. A diferencia de la alimentación de entradas, las salidas de relé son alimentadas en dos bloques, la alimentación del bloque Qa es por medio de 1L y la alimentación del bloque Qb es por medio de 2L, donde se hace llegar el extremo positivo de una fuente de 24 V DC y el neutro de cada una de las salidas se hace llegar a un nodo común el cual está puentado al extremo negativo de la fuente de 24 V DC. Esta conexión aplicada para el solenoide de las válvulas neumáticas, el motor paso a paso tiene su propio circuito de potencia.

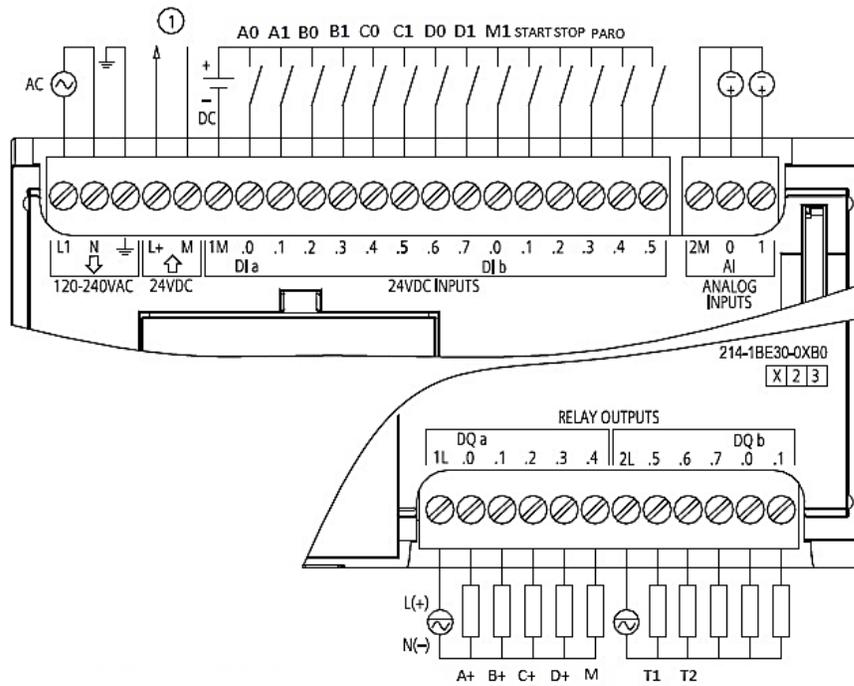


Figura 2.19 Esquema de conexión eléctrica PLC 1214C AC/DC/Relé.

Asignación de entradas y salidas

Para ejecutar un programa en el PLC es necesario definir las variables de entradas y salidas, tanto como el nombre de la variable, el tipo de datos, y definir la dirección, si es una salida o una entrada; el resumen de variables esta resumido en la tabla 2.8.

Por lo que la configuración final del PLC, tanto a nivel de programación como a nivel de conexiones físicas, es la siguiente:

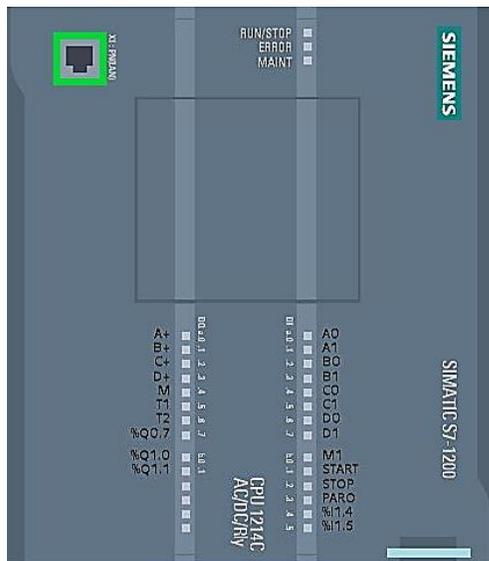


Figura 2.20 Configuración de E/S PLC.

Tabla 2.8 Tipo de datos.

Nombre	Tipo de dato	Dirección
A0	Bool	I0.0
A1	Bool	I0.1
B0	Bool	I0.2
B1	Bool	I0.3
C0	Bool	I0.4
C1	Bool	I0.5
D0	Bool	I0.6
D1	Bool	I0.7
M1	Bool	I1.0
START	Bool	I1.1
STOP	Bool	I1.2
PARO	Bool	I1.3
A+	Bool	Q0.0
B+	Bool	Q0.1
C+	Bool	Q0.2
D+	Bool	Q0.3
M	Bool	Q0.4
T1	Bool	Q0.5
T2	Bool	Q0.6

Electrónica de potencia

El circuito de potencia es el encargado de alimentar y controlar el motor paso a paso encargado de hacer rotar la mesa de trabajo, este circuito está compuesto por los siguientes elementos:

Arduino nano

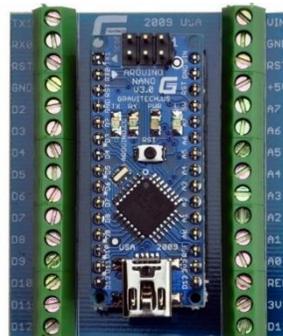


Figura 2.21 Arduino nano.

Tabla 2.9 Características arduino nano

Especificaciones	
Microcontrolador:	Atmel ATmega328P
Tensión de Operación:	5 V
Tensión de Entrada:	7-12 V
Tensión de Entrada:	6-20 V
Pines E/S Digitales:	14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
Entradas Analógicas:	8 corriente máx. por cada PIN de E/S: 40 mA
Memoria Flash:	32 KB (ATmega328P)
SRAM:	2 KB (ATmega328P)
EEPROM:	1 KB (ATmega328P)
Frecuencia de reloj:	16 MHz
Dimensiones:	18.5 x 43.2 mm

Motor paso a paso NEMA 23

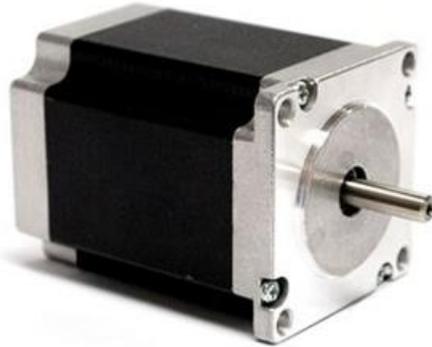


Figura 2.22 Motor paso a paso

Tabla 2.10 Características motor paso a paso

Especificaciones	
Diámetro del eje:	8mm
Torque:	178 oz-in (1.26 Nm) holding torque
Corriente nominal:	2.8 A RMS por fase
Inductancia:	3.0 mH +/-20% por fase
Pulsos por segundo:	2500 pps arrancando, 5000 pps girando
Voltaje nominal	12 – 48 V DC
Peso	0.7 kg

Driver TB6600

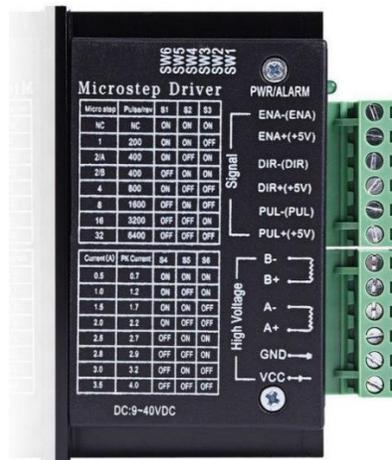


Figura 2.23 Driver TB6600

Tabla 2.11 Características driver TB6600

Especificaciones	
Corriente de entrada	0 - 5A
Corriente de Salida	0.5 - 4.0 A
Potencia (MAX)	160 W
Micro Step	1.2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32
Temperatura	-10 – 45 °C
Humedad	No condensación
Peso	0.2 kg
Dimensiones	96 x 71 x 37 mm

Configuración de micros pasos

La tabla 2.12 muestra los micros pasos del driver de control. Este se puede ajustar los micro pasos por medio de los primeros 3 interruptores DIP.

Donde:

$$\text{Ángulo de paso} = \text{ángulo de paso del motor} / \text{micro pasos}$$

Tabla 2.12 Micro paso del driver.

Micro Step	Pulse/Rev	S1	S2	S3
NC	NC	ON	ON	ON
1	200	ON	ON	OFF
2/A	400	ON	OFF	ON
2/B	400	OFF	ON	ON
4	800	ON	OFF	OFF
8	1600	OFF	ON	OFF
16	3200	OFF	OFF	ON
32	6400	OFF	OFF	OFF

Tabla 2.13 Configuración de corriente de control.

Current (A)	S4	S5	S6
0.5	ON	ON	ON
1.0	ON	OFF	ON
1.5	ON	ON	OFF
2.0	ON	OFF	OFF
2.5	OFF	ON	ON
2.8	OFF	OFF	ON
3.0	OFF	ON	OFF

Conexión de mando motor pap nema 23

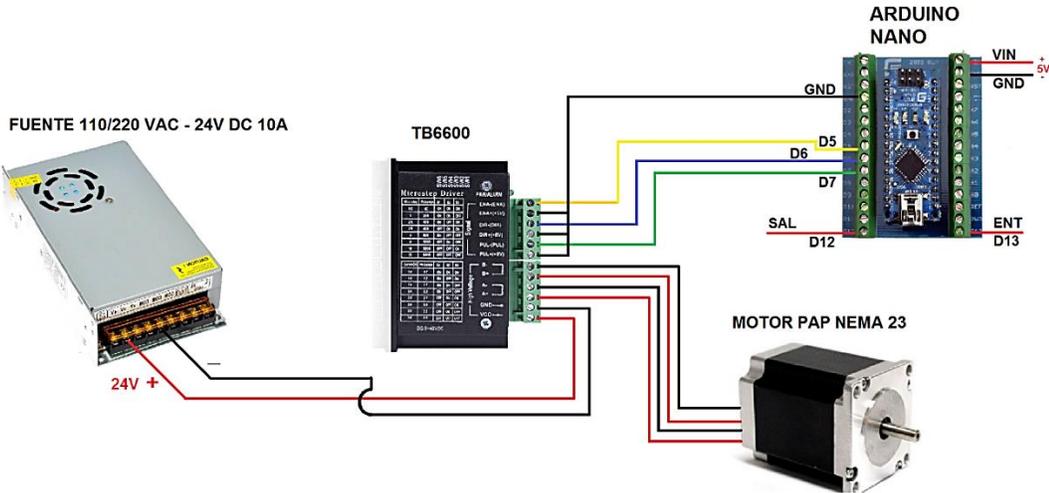


Figura 2.24 conexión eléctrica Arduino – motor.

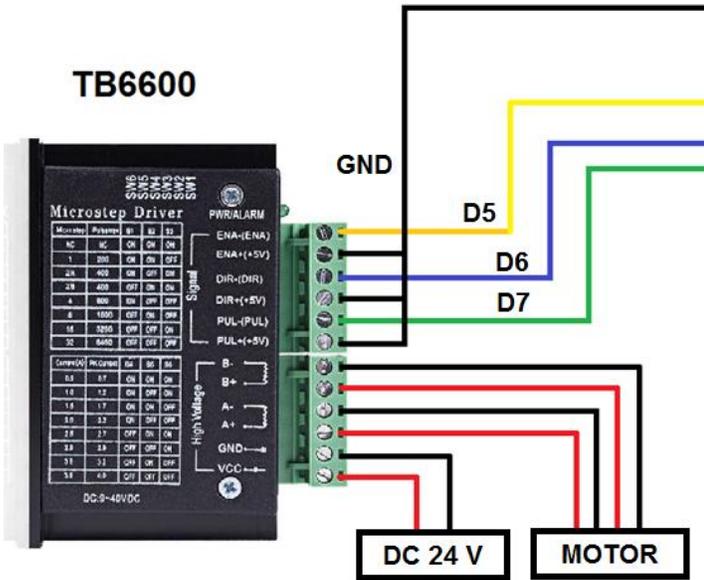


Figura 2.25 Detalle de conexión driver TB6600

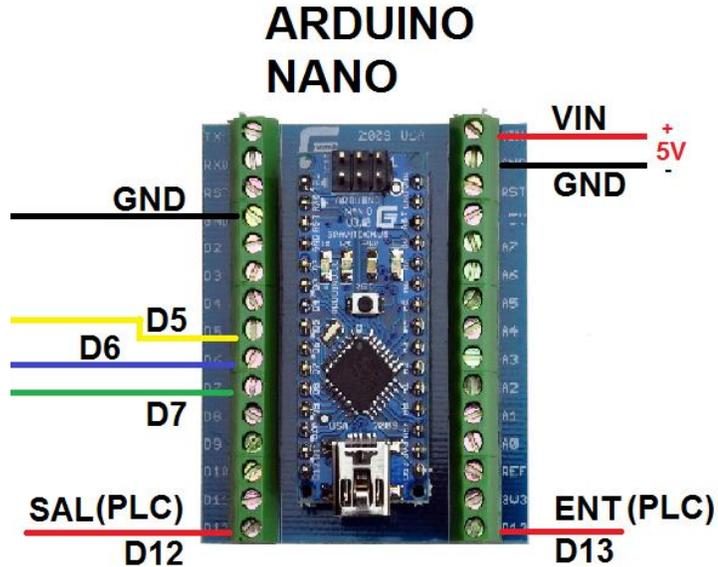


Figura 2.26 Detalle conexión arduino nano

Programación arduino

```

int SAL=12; //define Salida de señal PLC
int ENT=13; //define Entrada de señal PLC
int PUL=7; //define Pulse pin
int DIR=6; //define Direction pin
int ENA=5; //define Enable Pin

void setup() {
  pinMode (SAL, OUTPUT);
  pinMode (ENT, INPUT);
  pinMode (PUL, OUTPUT);
  pinMode (DIR, OUTPUT);
  pinMode (ENA, OUTPUT);
}

void loop() {
  if (digitalRead(ENT)==HIGH)
  {
  for (int i=0; i<1200; i++) //Avanza 1200 steps o 72 grados
  {
  digitalWrite(DIR,LOW);
  digitalWrite(ENA,LOW);
  digitalWrite(PUL,HIGH);
  delayMicroseconds(1000);
  digitalWrite(PUL,LOW);
  delayMicroseconds(1000);
  }
  digitalWrite(SAL,HIGH); //Señal de salida hacia PLC
  delay(3000); //Duración de señal
  digitalWrite(SAL,LOW);
  }
}

```

3. MANUALES DEL SISTEMA DE TALADRADO

3.1. Manual de ensamblaje del equipo

A continuación, se explicará el método adecuado de armado del sistema de taladrado paso a paso. Para todos los pasos descritos a continuación se recomienda tener a mano los planos de todo el equipo pues se hará uso de ellos para toda la explicación.

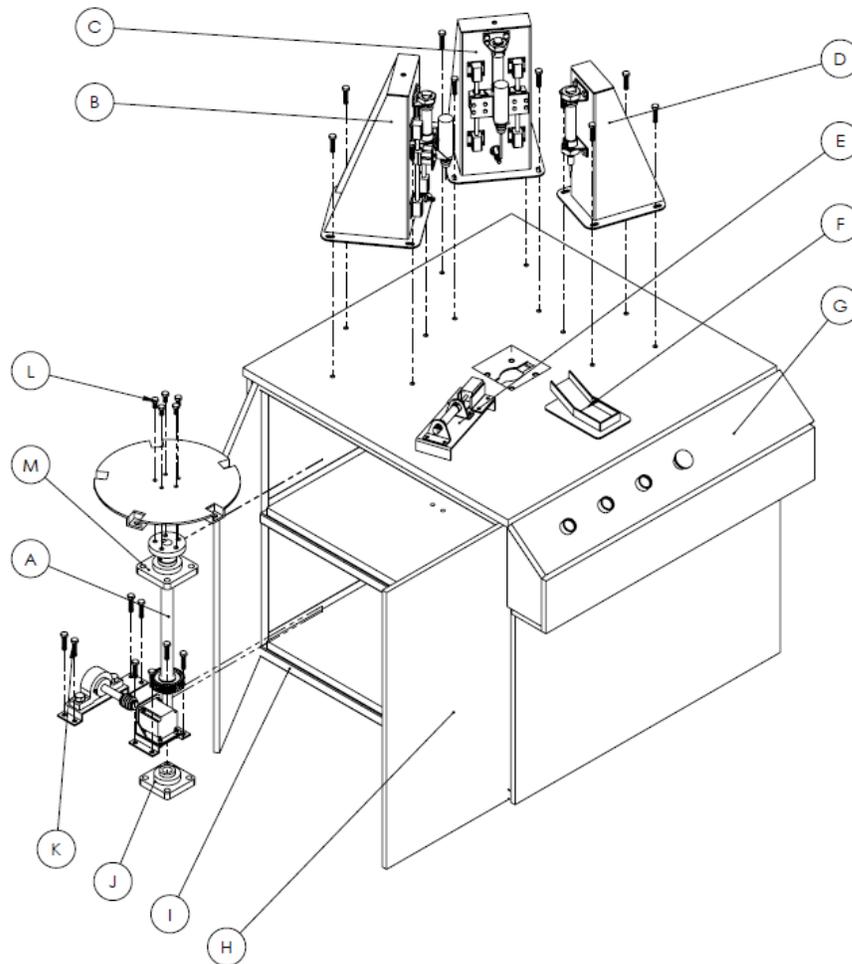


Figura 3.1 Ensamble general de estación

Transmisión de potencia

Componentes.

- 1 chumacera 20 mm (4 pernos de 12.7 mm (½ pulg), tuerca y arandela de presión) (ver plano A1 “SISTEMA DE TALADRADO” pieza N° 9).
- 1 chumacera 25 mm (4 pernos de 12.7 mm (½ pulg), tuerca y arandela de presión) (ver plano A1 “sistema de taladrado” pieza N° 12).
- 1 chumacera 322.6 mm (12.7 pulg) (2 pernos de 12.7 mm (½ pulg), tuerca y arandela de presión) (ver plano A8 “CONJUNTO SINFÍN – MOTOR PAP” pieza N° 12).
- Eje (ver plano A3 “CONJUNTO SINFÍN – MOTOR PAP” pieza N° 3).
- Engrane helicoidal con su respectiva cuña (ver plano A3 “CONJUNTO SINFÍN – MOTOR PAP” pieza N° 4 y 5).
- Mesa circular (5 pernos 8 mm, tuerca y arandela de presión) (ver plano A1 “SISTEMA DE TALADRADO” pieza N° 13).
- Tornillo sin fin (ver plano A8 “CONJUNTO SINFÍN – MOTOR PAP” pieza N° 2).
- Motor PaP NEMA 23 (ver plano A8 “CONJUNTO SINFÍN – MOTOR PAP” pieza N° 7).
- Soporte de motor PaP 1 (4 tornillos Allen M5 x 0.8 x 16 hex) (ver plano A8 “CONJUNTO SINFÍN – MOTOR PAP” pieza N° 5 y 4).
- Soporte chumacera 12.7 (perno hex 12.7 mm (½ pulg) x 1.25) (ver plano A8 “CONJUNTO SINFÍN – MOTOR PAP” pieza N° 1).
- Soporte motor PaP 2 (4 tornillos Allen M5 x 0.8 x 12 hex) (ver plano A8 “CONJUNTO SINFÍN – MOTOR PAP” pieza N° 10 y 6).

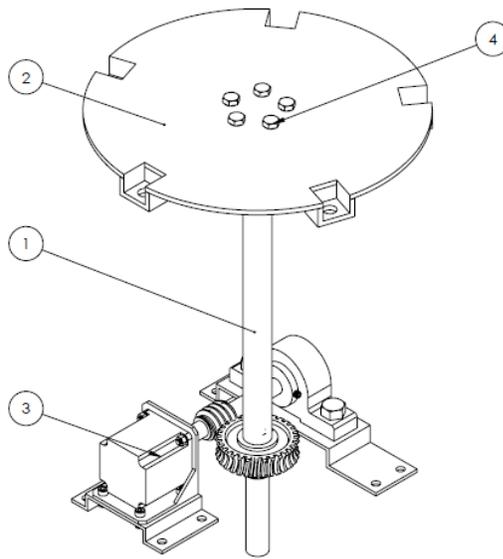


Figura 3.2 Ensamble Transmisión de potencia

Secuencia.

1. Montar la chumacera 25 mm en el piso superior y la chumacera 20mm en el piso medio del mueble, empernadas en el centro como se muestra en el plano A1.
2. Introducir el eje en la chumacera 25 mm por la parte superior como se muestra en el plano A1 hasta que la parte inferior, este entre las dos chumaceras.
3. Colocar la cuña en el chavetero del eje e introducir el engrane helicoidal como se muestra en el plano A3.
4. Apretar el tornillo prisionero del engrane helicoidal al eje.
5. Introducir el eje en la chumacera 20 mm restante hasta que los cambios de sección del mismo descansen en las chumaceras como se muestra en el plano A1.

6. Apretar los tornillos prisioneros de las chumaceras al eje.
7. Empernar la chumacera 322.6 mm (12.7 pulg) al Soporte chumacera 12.7. Ver plano A8.
8. Empernar el motor PaP NEMA 23 al Soporte de motor PaP 1. Ver plano A8.
9. Empernar el conjunto anterior al Soporte motor PaP 2, Ver plano A8.
10. Unir los conjuntos armados de motor y chumacera mediante el tornillo sin fin y emperrarlos al mueble como se muestra en el plano A8 dejando unido el conjunto engrane helicoidal-tornillo sin fin, ajustar los prisioneros de este último.22
11. Empernar la mesa circular a la parte superior del eje, Ver plano A1.

Estación de taladrado 1

Componentes.

- Estructura 1 (4 pernos hex M8 x 1.25 x35) (constituida por las piezas N° 1, 2 y 7 del plano B1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 1”).
- Pistón_MCMI_11_20_50 con dos sujeciones (4 pernos 0.25 pulg-20x0.75, tuerca 0.25 y arandela 0.25) (ver plano B1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 1” piezas N° 11, 8, 3 y 4).
- Pistón_MCMI_11_20_25 con dos sujeciones (4 pernos 0.25 pulg-20x0., tuerca 0.25 y arandela 0.25) (ver plano B1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 1” piezas N° 18, 8, 3 y 4).
- 2 conjuntos de guías con cojinetes deslizantes cada una (8 pernos hex M4 x 0.7 x 35 para los cojinetes deslizantes y 16 tornillos M3 x 0.5 x 13 con tuercas de 1/8 pulg para fijar las guías y arandela 3MM) (ver plano B1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 1” piezas N° 10, 17, 9, 6 y 5)

- 8 soporte_2 para cojinetes deslizantes (ver plano B1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 1” pieza N° 12).
- Soporte_taladro (4 tornillos M4x0.7x3MM) (ver plano B1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 1” piezas N° 16 y 15).
- Soporte_3 (ver plano B1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 1” piezas N° 13).
- Taladro 1 (2 tornillos de 3 mm).
- Broca de 2 mm.
- Sujetador para probeta de taladrado.
- Mandril (broquero con llave).
- 4 sensores magnéticos (B0, B1, A0, A1).
- 8 racores.

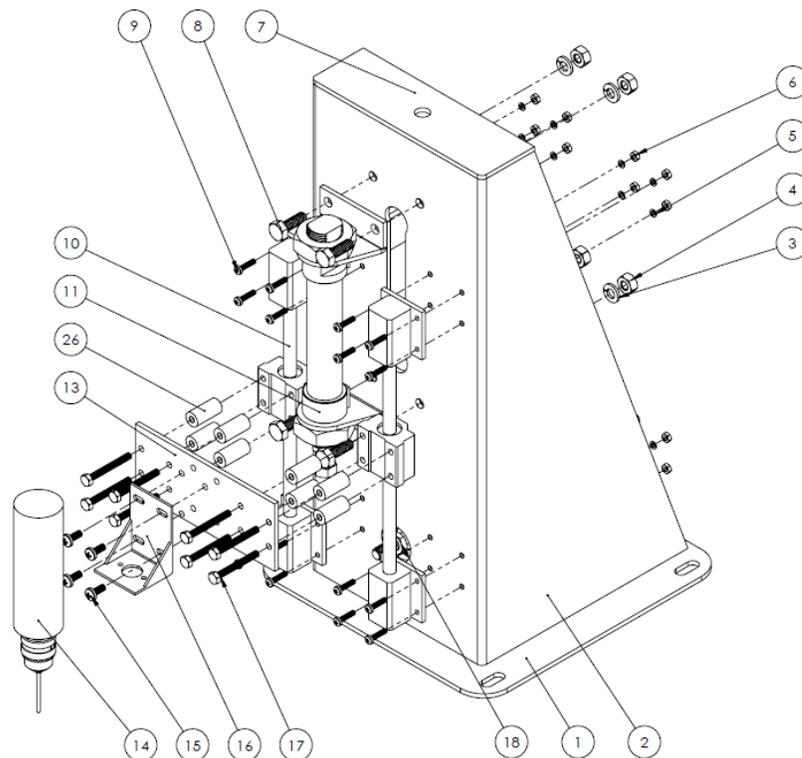


Figura 3.3 Ensamble Estación 1

Secuencia.

1. Empernar los dos conjuntos de guías a la estructura 1, ver plano B1.
2. Colocar las 2 sujeciones en el Pistón_MCMI_11_20_50, ver plano B1.
3. Colocar un racor en cada una de las salidas de aire del pistón del punto anterior, ver plano B1.
4. Empernar el cilindro del punto anterior con sujeciones en la estructura 1, ver plano B1.
5. Empernar el soporte_3 en el cilindro del punto anterior, ver plano B1.
6. Empernar el soporte_3 en los cojinetes deslizantes utilizando los 8 soporte_2, ver plano B1.
7. Empernar el soporte_taladro en el soporte_3, ver plano B1.
8. Empernar el taladro sin broquero en el soporte_taladro, ver plano B1.
9. Colocar el broquero en el taladro a presión, ver plano B1.
10. Colocar broca de 2mm en broquero usando la llave, ver plano B1.
11. Empernar las 2 sujeciones sobrantes al pistón_MCMI_11_20_25, ver plano B1.
12. Colocar un racor en cada una de las salidas de aire del cilindro del punto anterior, ver plano B1.
13. Empernar el cilindro del punto anterior con sujeciones en la parte interna de la estructura 1, ver plano B1.
14. Enroscar el sujetador para probeta de taladrado, ver plano B1.
15. Sujetare los sensores magnéticos en el pistón_MCMI_11_20_50 (B0 arriba y B1 abajo) y en el pistón_MCMI_11_20_25 (A1 más cercano al vástago y A0 el más alejado), 2 por cada pistón, ver plano B1.

16. Empernar estructura al mueble en las perforaciones para estación 1, ver plano B1.

Estación de taladrado 2

Componentes:

- Estructura 2 (4 pernos hex M8 x 1.25 x35) (constituida por las piezas N° 1, 2 y 7 del plano C1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 2”).
- Pistón_MCMI_11_20_50 con dos sujeciones (4 pernos 0.25 pulg-20x0.75, tuerca 0.25 pulg y arandela 0.25 pulg) (ver plano C1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 2” piezas N° 11, 8, 3 y 4).
- Pistón_MCMI_11_20_25 con dos sujeciones (4 pernos 0.25 pulg-20x0.75, tuerca 0.25 pulg y arandela 0.25 pulg) (ver plano C1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 2” piezas N° 18, 8, 3 y 4).
- 2 conjuntos de guías con cojinetes deslizantes cada una (8 pernos hex M4 x 0.7 x 35 para los cojinetes deslizantes y 16 tornillos M3 x 0.5 x 13 con tuercas de 1/8 pulg para fijar las guías y arandela 3MM) (ver plano C1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 2” piezas N° 10, 17, 9, 6 y 5)
- 8 soporte_2 para cojinetes deslizantes (ver plano C1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 2” pieza N° 12).
- Soporte_taladro (4 tornillos M4x0.7x3MM) (ver plano C1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 2” piezas N° 16 y 15).
- Soporte_3 (ver plano C1 “ESTACIÓN DE TALADRADO 2” piezas N° 13).
- Taladro 2 (2 tornillos de 3mm).
- Broca de 3mm.
- Sujetador para probeta de taladrado.
- Mandril (broquero con llave).
- 4 sensores magnéticos (B0, B1, A0, A1).

- 8 racores.

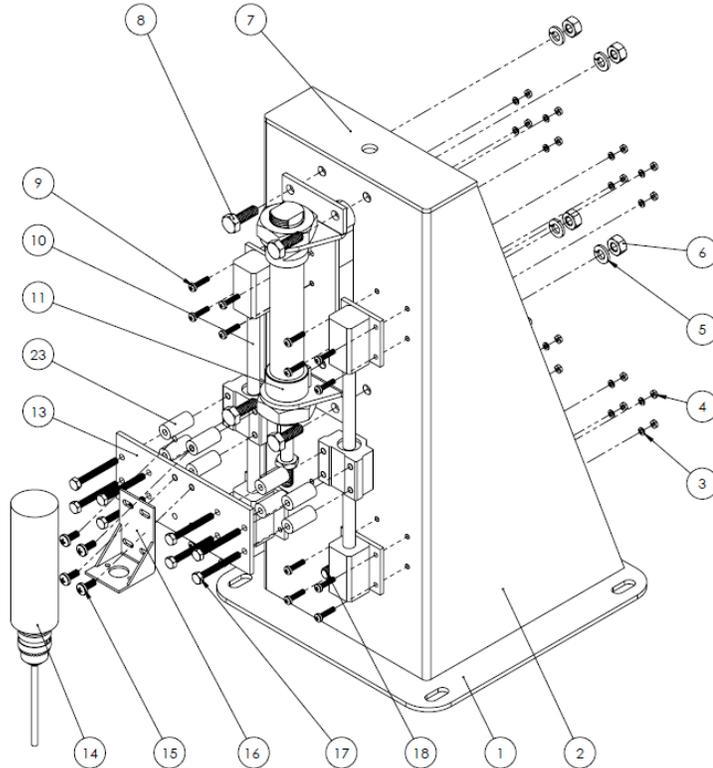


Figura 3.4 Ensamble Estación 2

Secuencia.

17. Empernar los dos conjuntos de guías a la estructura 2, ver plano C1.
18. Colocar las 2 sujeciones en el Pistón_MCMI_11_20_50, ver plano C1.
19. Colocar un racor en cada una de las salidas de aire del pistón del punto anterior, ver plano C1.
20. Empernar el cilindro del punto anterior con sujeciones en la estructura 2, ver plano C1.
21. Empernar el soporte_3 en el cilindro del punto anterior, ver plano C1.
22. Empernar el soporte_3 en los cojinetes deslizantes utilizando los 8 soporte_2, ver plano C1.

23. Empernar el soporte_taladro en el soporte_3, ver plano C1.
24. Empernar el taladro sin broquero en el soporte_taladro, ver plano C1.
25. Colocar el broquero en el taladro a presión, ver plano C1.
26. Colocar broca de 2mm en broquero usando la llave, ver plano C1.
27. Empernar las 2 sujeciones sobrantes al pistón_MCMI_11_20_25, ver plano C1.
28. Colocar un racor en cada una de las salidas de aire del cilindro del punto anterior, ver plano C1.
29. Empernar el cilindro del punto anterior con sujeciones en la parte interna de la estructura 2, ver plano C1.
30. Enroscar el sujetador para probeta de taladrado, ver plano C1.
31. Sujetare los sensores magnéticos en el pistón_MCMI_11_20_50 (B0 arriba y B1 abajo) y en el pistón_MCMI_11_20_25 (A1 más cercano al vástago y A0 el más alejado), 2 por cada pistón, ver plano C1.
32. Empernar estructura al mueble en las perforaciones para estación 2, ver plano C1.

Estación de medición

Componentes.

- Estructura 3 (4 pernos hex M8 x 1.25 x 35) (constituida por las piezas N° 1, 2 y 5 del plano D1 “ESTACIÓN DE MEDICIÓN”).
- Pistón_MCMI_11_20_50 con dos sujeciones (4 pernos 0.25 pulg-20x0.75, tuerca 0.25 y arandela 0.25) (ver plano D1 “ESTACIÓN DE MEDICIÓN” piezas N° 7, 8, 3 y 4).
- Medidor (ver plano D1 “ESTACIÓN DE MEDICIÓN” pieza N°9).
- 2 sensores magnéticos (D0, D1).

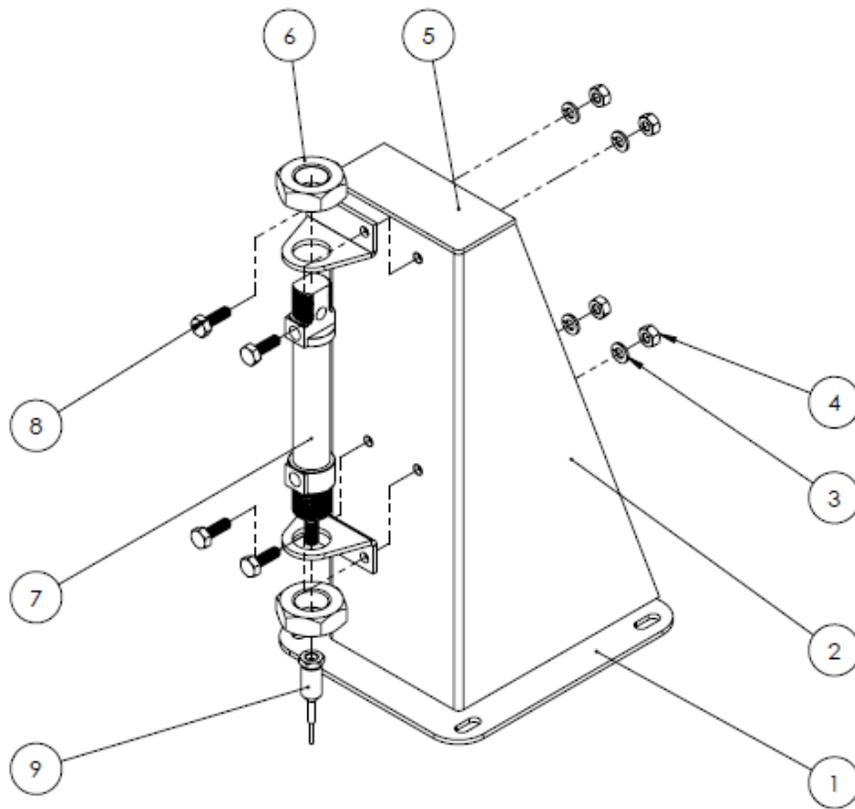


Figura 3.5 Ensamble Estación de medición

Secuencia.

1. Empernar las sujeciones en el pistón_MCMI_11_20_50, ver plano D1.
2. Colocar un racor en cada una de las salidas de aire del pistón del punto anterior, ver plano D1.
3. Enroscar el medidor al pistón del punto anterior, ver plano D1.
4. Empernar el pistón_MCMI_11_20_50 con sujeciones a la estructura 3, ver plano D1.
5. Empernar la estructura 3 al mueble en los orificios designados para la Estación de Medición, ver plano D1.
6. Sujetar los dos sensores magnéticos al pistón (D0 arriba y D1 abajo), ver plano D1.

Salida de piezas

Componentes.

- Motor de paso.
- Soporte para motor de paso (8 pernos Allen de 5 mm).
- Estructura de entrada.
- Palanca de extracción.

Secuencia.

1. Empernar soporte de motor a estructura.
2. Empernar motor a soporte.
3. Empernar la estructura de salida al mueble en el espacio para salida.

Componentes neumáticos

Componentes.

- Unidad de mantenimiento (pernos).
- Mangueras.
- 4 válvulas monoestables 5/2 (A+, B+, C+, D+).
- 10 válvulas reguladoras de caudal anti-retorno.
- 3 racores.
- Manifold.

Secuencia.

1. Instalar la unidad de mantenimiento en la ubicación con la viñeta que corresponde a la unidad de mantenimiento.
2. Colocar el manifold en el espacio del mueble con la viñeta “manifold”.
3. Instalar las 5 válvulas 63.5 mm (5/2 pulg) en las ubicaciones del manifold con las viñetas que corresponden a ellas.

4. Colocar la manguera de 9.5 mm (3/8 pulg) uniendo con ella la unidad de mantenimiento y el manifold.
5. Colocar las mangueras de 6mm en las salidas de 4 de las válvulas 5/2 hacia los cilindros de taladro-estación 1 (Válvula B+), taladro-estación 2 (válvula C+) y comprobación (válvula D+).
6. Colocar las 2 mangueras de 6mm en la salida de la válvula 5/2 (válvula A+) restante y conectar cada una con una conexión T, a cada una de las dos conexiones T conectar dos mangueras, las dos mangueras de una T hacia la entrada de los dos cilindros de sujeción y las dos mangueras restantes de la otra T conectarlas a la salida de ambos cilindros de sujeción.

3.2. Manual de operación

En este manual se explica la correcta utilización del sistema de taladrado automatizado para fines didácticos, partiendo del hecho que el programa ha sido previamente cargado en el controlador lógico programable y el sistema neumático ha sido presurizado.

Encendido

Antes de taladrar las piezas, debe llevarse a cabo la energización de los diferentes componentes eléctricos que conforman el sistema

- Conectar la alimentación general a la red eléctrica, y asegurarse que la regleta este encendida.
- Activar el interruptor de encendido en el tablero principal.

Puesta en marcha

La puesta en marcha hace referencia a los pasos poner en marcha el sistema de taladrado, así como su ejecución durante el proceso de taladrado.

- Colocar la pieza en la estación de entrada.
- Presionar el pulsador de **start** para iniciar el giro de la mesa, sujeción de la pieza y taladrado de la misma.
- Colocar la segunda pieza y presionar **start** de nuevo, para efectuar el giro de la mesa e iniciar la sujeción de ambas piezas, así como el taladrado de la segunda y la expansión del agujero de la primera pieza.
- Colocar la tercera pieza y presionar **start**, por lo que al girar la mesa la primera pieza introducida será colocada en la estación de simulación, la segunda se realizará su respectiva expansión del agujero, y a la última que fue ingresada será taladrada.

Esta secuencia puede ser llevada a cabo las veces necesarias, según el número de piezas que se deseen taladrar y realizando el retiro de las mismas.

Paro de emergencia

Este puede realizarse en cualquier momento que sea necesario. Su función consiste en retraer los taladros, suspendiendo el taladrado de la pieza, mientras está permanece sujeta por los cilindros. Para llevarse a cabo debe presionarse el interruptor de **paro de emergencia**.

La duración de esta acción depende del tiempo que el usuario requiera, ya sea para llevar a cabo un cambio de broca, inspecciones visuales o cualquier tipo de emergencia, etc. Para reincorporarse al ciclo de trabajo basta girar el botón del interruptor tal como este lo indica.

Finalización de taladrado

Esta función efectuará el taladrado y simulación de tolerancias de todas las piezas que se encuentren en la mesa de trabajo de forma automatizada, de tal modo que se retiren una por una, hasta finalizar el retiro de las mismas. La finalización del ciclo puede realizarse en cualquier momento que el usuario lo requiera.

- Pulsar el interruptor **stop** para suspender la admisión de piezas, y proceder al taladrado, expansión del agujero y simulación de las mismas para ser previamente retiradas.

3.3. Recomendaciones de mantenimiento.

I. Transmisión.

- a. Revisar antes de la puesta en marcha que los dientes de los engranes encajen como corresponde, esto es necesario efectuarlo si se han desmontado previamente.
- b. Evaluar el desgaste del engrane helicoidal, si es excesivo reemplazarlo, por otro de las mismas características, no se recomienda cambiar el material del mismo.
- c. Comprobar que la temperatura del motor NEMA 23 no suba en exceso por los un uso frecuente y prolongado, para evitar daños al embobinado.
- d. Corroborar la calidad de la superficie del engrane sinfín, de ser necesario, eliminar la capa de óxido que pueda estar presente y aplicarle un recubrimiento de protección, se recomienda realizar un pavonado.

- e. Verificar que el eje de la mesa no se encuentre con óxido, de ser así será necesario desmontar el eje, llevarlo al torno y por medio de una lija fina remover el óxido y luego aplicar una capa fina de laca para efectuar la protección necesaria.
- f. Probar que las chumaceras estén en óptimo funcionamiento y que no se encuentren bloqueadas por suciedad o por envejecimiento del lubricante, de ser así, es necesario realizar una limpieza y posteriormente una lubricación efectiva.

II. Estaciones fijas.

- a. Confirmar que, en las guías, no se presente óxido en la superficie, de ser así deberá eliminarse mediante un proceso similar que el utilizado para el eje de la mesa.
- b. Probar el funcionamiento adecuado de los cojinetes lineales, si se detecta que no desliza con libertad se deberá limpiar y luego lubricar apropiadamente para mejorar su movimiento durante la operación. Se recomienda hacer esta comprobación sin contar con el sistema presurizado y realizarlo de forma manual.
- c. Examinar que los mandriles de los taladros pueden cerrar y abrir con facilidad de igual manera que su apreté ofrezca seguridad durante la operación, sino es así, usar aceite penetrante para limpiar el interior de los mismos.

III. Componentes neumáticos.

- a. Identificar una vez presurizado el sistema, que no existan fugas del aire en los acoples o uniones, de estar presentes se deberá corregir, ya sea mediante un mayor apreté del acople y de persistir desmontar el acople y reemplazar la cinta teflón por nueva y realizar un apreté satisfactorio esto en el caso de acoples, en el caso de mangueras se deberá cerciorar que no se encuentren roturas en ella o que se haya introducido en la totalidad del acople receptor.
- b. Inspeccionar que el nivel de aceite de la unidad de mantenimiento no esté abajo del mínimo, ya que este aceite es el encargado de lubricar las partes móviles del circuito, como cilindros o las partes internas de las válvulas; y un nivel de aceite abajo del mínimo evitara que el dispositivo funcione de manera apropiada dando como resultado una mala lubricación de los componentes mencionados.

IV. Componentes eléctricos.

- a. Ver que las conexiones eléctricas estén bien realizadas, que no se encuentren cables sueltos o cortados, pues un cortocircuito podría dañar el equipo.
- b. Controlar el ajuste de los finales de carrera para asegurarse que es programa corra sin ningún inconveniente.
- c. Vigilar que, en el driver de control del motor de paso, los switch estén activados y desactivados de acorde a lo estipulado para corriente, voltaje y pasos a usar.

- d. Cotejar que ningún componente del circuito electrónico de potencia este dañado, reemplazarlo si es el caso, para que exista una comunicación precisa entre el PLC y Arduino.
- e. Evidenciar que la velocidad que se ajustó a los taladros es la apropiada, para no infundir vibraciones extremas en el equipo, que puedan ocasionar problemas durante el funcionamiento.
- f. Constatar que la programación del Arduino no ha sido modificada, cambiada o alterada por otra que dificulte o impida el giro del motor y por extensión de la mesa como está previsto; prestando atención especial a la frecuencia asignada a los pasos y el tiempo de duración de la señal de salida que el Arduino envía al PLC.
- g. Contrastar que las conexiones de entrada y salida de los pines del Arduino correspondan a las usadas dentro de la programación, sino llevar a cabo los cambios que permitan ajustar las conexiones acordes a lo que presenta el software.

4. CONCLUSIONES

- Se finalizó la construcción del sistema de taladrado automatizado con fines didácticos satisfactoriamente. Realiza los procedimientos estipulados en el diseño de manera correcta y puede ser utilizado como equipo de laboratorio para los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica en la asignatura de Electroneumática.
- Se pueden construir equipos que representen un proceso de producción automatizado (llenado, taladrado, taponado, clasificación, entre otros) a una escala considerablemente reducida que permita una apreciación general y sencilla de todos los componentes y secuencias involucradas. Por ejemplo, para el caso en cuestión de taladrado, separando los procesos de perforación, el estudiante será capaz de visualizar la interacción entre las válvulas, sensores, PLC, cilindros, Arduino y motor de paso a un nivel práctico y técnico.
- El uso de un motor de paso para realizar el giro de la mesa circular para llevar ésta última a su posición de trabajo es ventajoso porque se obtienen 72° de giro exactos que difícilmente se hubiese logrado dicha precisión con un motor eléctrico convencional.
- La implementación de un PLC para sustituir las intrincadas configuraciones de elementos eléctricos y electrónicos (sean éstos, relé, contactores, temporizadores, switches y pulsadores, entre otros) que se tienen en la electroneumática básica, es un rasgo más ventajoso, puesto que de no ser así, el mantenimiento, modificación y depuración del circuito de control conllevaría una gran complejidad.

5. RECOMENDACIONES

- En caso de modificar la programación del Arduino para las prácticas de control de motor PAP, asegurarse de reprogramar el módulo con el código proporcionado, así como conectar nuevamente según los diagramas especificados.
- Revisar la posición de la mesa con respecto a cada una de las estaciones y en caso de no estar centradas las cavidades para las piezas se deberá girar el tornillo sinfín manualmente con el equipo apagado hasta que estas queden ajustadas. (Nota: No forzar el giro de la mesa por la parte superior para evitar daños en la transmisión)
- Asegurar que las brocas estén completamente aseguradas para evitar una incorrecta operación de taladrado.
- Tener un especial cuidado cuando se fijen las estaciones de taladrado al mueble puesto que el material al que se fija consiste en una lámina de metal de espesor pequeño y una tabla de madera de $\frac{3}{4}$ " entre la estación y la lámina mencionada por lo tanto se debe presionar el perno con cuidado de no dañar la madera.
- Previo a probar el programa se recomienda retirar las brocas y los mandriles de los taladros y correrlo para corroborar que la secuencia sigue los pasos preestablecidos, puesto que las brocas alcanzan el área de acción de la mesa circular y al girar ésta en un momento equivocado podría dañar los taladros.
- Revisar el estado de todos los rodamientos del equipo, tanto del eje de la mesa circular, así como el del tornillo sinfín y el de las guías de las estaciones de taladro. De este diagnóstico previo se recomienda, de ser necesario antes de la

puesta en marcha del equipo lubricar estos rodamientos para un buen desempeño durante la práctica.

- Debido al desfase angular de la mesa, provocado por la holgura entre el tornillo sinfín y la corona, se recomienda instalar un engrane helicoidal adicional con un diámetro mayor, instalado directamente al eje de transmisión para minimizar dicho desfase.

- Mantener el eje de la mesa libre de corrosión, esto se puede lograr aplicando una pequeña capa de laca, después de remover la capa de óxido existente.

- Mediante el uso de módulos de expansión de entradas y salidas del PLC, se logrará una mejor prestación del equipo, utilizando de manera automatizada todos los componentes del sistema.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Sole, A. C. (2007). *Neumática e Hidráulica*. España: MARCOMBO, S.A.
- [2] Systems, T. T. (s.f.). *NEUMÁTICA BÁSICA - Principios y Características de Funcionamiento de los Sistemas y Componentes de Aire Comprimido*. 1301 S. Grove Ave. Barrington, Illinois 60010: TPC Training Systems.
- [3] Berrío I. G., y Ochoa, S. R., (2007). *Neumática básica*, Medellín, Colombia, Fondo editorial Instituto Tecnológico Metropolitano.
- [4] Frank Ebel, Siegfried Idler, Georg Prede y Dieter Scholz, (2009), *Neumática, Electroneumática: Fundamentos*, Denkendorf, Alemania, Festo Didactic GmbH & Co.
- [5] Majundar, S. R. (1998). *Sistemas Neumáticos, Principios y Mantenimiento*. México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- [6] John W. Webb, Ronald A. Reis (1999). *Programmable Logic Controllers: Principles and Applications*, Universidad de Michigan USA, Prentice Hall.
- [7] Rojas, Oscar A. (2002). *Software Para Aplicaciones Industriales I*, Universidad Del Cauca, Popayán, Colombia.
- [8] Budinas, R. G. & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México, D. F.: McGraw Hill Interamericana.
- [9] Mott, Robert L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas. Cinemática de los engranes (pp. 329-333 & 339-347)* México, D.F.: Pearson Educación.
- [10] MICRO capacitación (22 de junio de 2007). *Curso 021 Introducción a la neumática*, obtenido de <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual021IntroduccionalaNeumtica.pdf>

- [11] MiCRO (22 de abril del 2014). *Capítulo 02 Válvulas*, obtenido de: <http://www.microautomacion.com/catalogo/02Valvulas.pdf>
- [12] López Boda, B. y Olmeda Santamaría, E. (18 de septiembre 2008). *Válvulas Neumáticas*, obtenido: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/neumatica-y-oleohidraulica/trasparencias/valvulasNeumaticas.pdf>
- [13] Festo Didactic GmbH & Co. (23 de agosto del 2006). *Fundamentos de Neumática, Conjunto de transparencias*, obtenido de: <http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/0598048001156321794.pdf>
- [14] Universidad del País Vasco, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao (15 de febrero del 2010). *Fabricación asistida por ordenador, tema 12: válvulas de los sistemas neumáticos*, obtenido de: http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/360_ca.pdf
- [15] Autor desconocido, (8 de noviembre del 2006). Capítulo 4 *Válvulas neumáticas*, obtenido de: <https://renatosarce.files.wordpress.com/2011/11/cap4-valvulas-neumaticas.pdf>
- [16] Escalera Tornero, Manuel Jesús y Rodríguez Fernández, Antonio José (19 de enero de 2010), *Actuadores Neumáticos*, obtenido de: <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Trabajos%20IM%202009-10/Manuel%20Jesus%20Escalera-Antonio%20Rodriguez-Actuadores%20Neumaticos.pdf>
- [17] MiCRO capacitación (19 de junio del 2007). *Manual 061 Controlador Lógico Programable (PLC)*, obtenido de: <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>

- [18] Autor desconocido (7 de marzo de 2007), *Introducción a los Controladores Lógicos Programables*, obtenido de:
http://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/digital_I/Apunte_PLC.pdf
- [19] VARGAS FLOREZ, JESUS OMAR (19 de diciembre del 2014). *PROGRAMACION DE PLC*, obtenida de:
[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/2150512/AVA/material_de_apoyo/MODULO_PROGRAMACION_DE_PLC - UNIDAD 2 - V.10.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/2150512/AVA/material_de_apoyo/MODULO_PROGRAMACION_DE_PLC_-_UNIDAD_2_-_V.10.pdf)

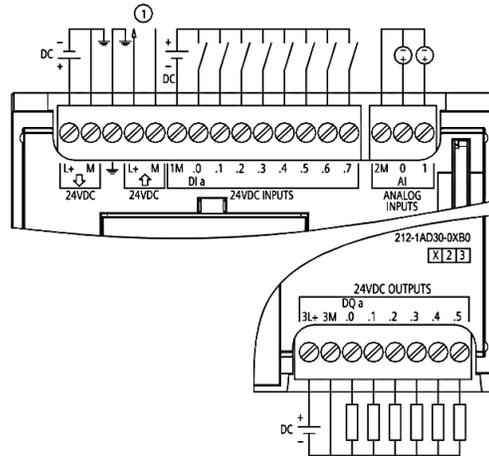
7. ANEXOS

Costos

DESCRIPCIÓN	MONTO
Elementos electrónica	\$48.00
Elementos de sujeción	\$41.03
Taladros	\$56.87
Motor de paso NEMA 23	\$35.96
Pistones neumáticos MINDMAN	\$249.16
Electroválvulas + Manifold + UFRL	\$215.29
SIMATIC S7-1200, CPU 1214C + LICENCIA	\$595.90
Elementos de carpintería	\$9.75
Arduino nano	\$17.50
Cojinetes lineales	\$13.50
Chumaceras de banco	\$38.22
Elementos para construcción	\$60.80
Transmisión sinfín - corona	\$100.01
Mesa	\$66.67
Fuente DC 24 V 10 A	\$60.75
Pintura	\$58.45
TOTAL	\$1,667.86

Datos técnicos PLC SIEMENS CPU 1214C

Datos técnicos
A.2 CPUs



① Alimentación de sensores 24 V DC

Figura A-6 CPU 1212C DC/DC/DC (6ES7 212-1AD30-0XB0)

A.2.3 Datos técnicos de la CPU 1214C

Datos técnicos			
Modelo	CPU 1214C AC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/DC
Referencia	6ES7 214-1BE30-0XB0	6ES7 214-1HE30-0XB0	6ES7 214-1AE30-0XB0
General			
Dimensiones A x A x P (mm)	110 x 100 x 75		
Peso	475 gramos	435 gramos	415 gramos
Disipación de potencia	14 W	12 W	
Intensidad disponible (SM y bus CM)	1600 mA máx. (5 V DC)		
Intensidad disponible (24 V DC)	400 mA máx. (alimentación de sensores)		
Consumo de corriente de las entradas digitales (24 V DC)	4 mA/entrada utilizada		
Características de la CPU			
Memoria de usuario	50 KB de memoria de trabajo / 2 MB de memoria de carga / 2 KB de memoria remanente		
E/S digitales integradas	14 entradas/10 salidas		
E/S analógicas integradas	2 entradas		
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes de entradas (I)/1024 bytes de salidas (Q)		
Área de marcas (M)	8192 bytes		
Ampliación con módulos de señales	8 SMs máx.		

Controlador programable S7-1200
Manual de sistema, 11/2009, A5E02486683-02

Datos técnicos

A.2 CPUs

Datos técnicos			
Modelo	CPU 1214C AC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/DC
Ampliación con Signal Boards	1 SB máx.		
Ampliación con módulos de comunicación	3 CMs máx.		
Contadores rápidos	6 en total Fase simple: 3 a 100 kHz y 3 a 30 kHz de frecuencia de reloj Fase en cuadratura: 3 a 80 kHz y 3 a 20 kHz de frecuencia de reloj		
Salidas de impulsos	2		
Entradas de captura de impulsos	14		
Alarmas de retardo/cíclicas	4 en total con resolución de 1 ms		
Alarmas de flanco	12 ascendentes y 12 descendentes (14 y 14 con Signal Board opcional)		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Precisión del reloj en tiempo real	+/- 60 segundos/mes		
Tiempo de respaldo del reloj en tiempo real	10 días típ./6 días mín. a 40°C (condensador de alto rendimiento sin mantenimiento)		
Rendimiento			
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución de transferencia de palabras	12 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Comunicación			
Número de puertos	1		
Tipo	Ethernet		
Conexiones	<ul style="list-style-type: none"> • 3 para HMI • 1 para la programadora • 8 para instrucciones Ethernet en el programa de usuario • 3 para CPU a CPU 		
Transferencia de datos	10/100 Mb/s		
Aislamiento (señal externa a lógica del PLC)	Aislado por transformador, 1500 V DC		
Tipo de cable	CAT5e apantallado		
Fuente de alimentación			
Rango de tensión	85 a 264 V AC	20,4 a 28,8 V DC	
Frecuencia de línea	47 a 63 Hz	--	
Intensidad de entrada CPU sólo a carga máx.	100 mA a 120 V AC 50 mA a 240 V AC	500 mA a 24 V DC	
CPU con todos los accesorios de ampliación a carga máx.	300 mA a 120 V AC 150 mA a 240 V AC	1500 mA a 24 V DC	
Corriente de irrupción (máx.)	20 A a 264 V AC	12 A a 28,8 V DC	
Aislamiento (potencia de entrada a lógica)	1500 V AC	Sin aislamiento	
Corriente de fuga a tierra, línea AC a tierra funcional	0,5 mA máx.	-	

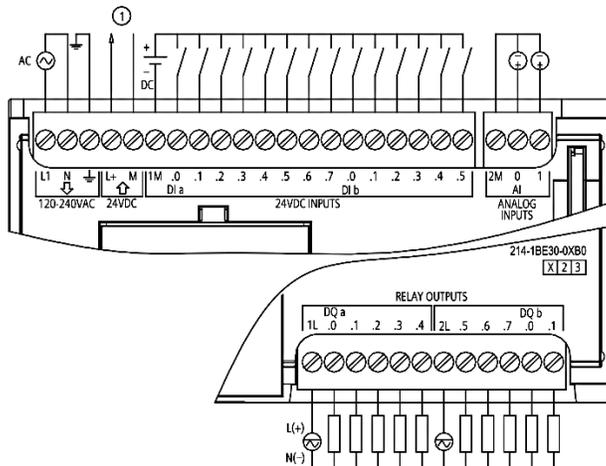
Datos técnicos			
Modelo	CPU 1214C AC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/DC
Tiempo de mantenimiento (pérdida de potencia)	20 ms a 120 V AC 80 ms a 240 V AC	10 ms a 24 V DC	
Fusible interno, no reemplazable por el usuario	3 A, 250 V, de acción lenta		
Alimentación de sensores			
Rango de tensión	20,4 a 28,8 V DC	L+ menos 4 V DC mín.	
Intensidad de salida nominal (máx.)	400 mA (protegido contra cortocircuito)		
Ruido de rizado máx. (<10 MHz)	< 1 V de pico a pico	Igual a la línea de entrada	
Aislamiento (lógica de la CPU a alimentación de sensores)	Sin aislamiento		
Entradas digitales			
Número de entradas	14		
Tipo	Sumidero/fuente (tipo 1 IEC sumidero)		
Tensión nominal	24 V DC a 4 mA, nominal		
Tensión continua admisible	30 V DC, máx.		
Sobretensión transitoria	35 V DC durante 0,5 seg.		
Señal 1 lógica (mín.)	15 V DC a 2,5 mA		
Señal 0 lógica (máx.)	5 V DC a 1 mA		
Aislamiento (campo a lógica)	500 V AC durante 1 minuto		
Grupos de aislamiento	1		
Tiempos de filtro	0,2, 0,4, 0,8, 1,6, 3,2, 6,4 y 12,8 ms (seleccionable en grupos de 4)		
Frecuencias de entrada de reloj HSC (máx.) (señal 1 lógica = 15 a 26 V DC)	Fase simple: 100 KHz (Ia.0 a Ia.5) y 30 KHz (Ia.6 a Ib.5) Fase en cuadratura: 80 KHz (Ia.0 a Ia.5) y 20 KHz (Ia.6 a Ib.5)		
Número de entradas ON simultáneamente	14		
Longitud de cable (metros)	500 apantallado, 300 no apantallado, 50 apantallado para entradas HSC		
Entradas analógicas			
Número de entradas	2		
Tipo	Tensión (asimétrica)		
Rango	0 a 10 V		
Rango total (palabra de datos)	0 a 27648 (consulte Representación de entradas analógicas para tensión (Página 346))		
Rango de sobreimpulso (palabra de datos)	27.649 a 32.511 (consulte Representación de entradas analógicas para tensión (Página 346))		
Desbordamiento (palabra de datos)	32.512 a 32767 (consulte Representación de entradas analógicas para tensión (Página 346))		
Resolución	10 bits		
Tensión de resistencia al choque máxima	35 V DC		
Alisamiento	Ninguno, débil, medio o fuerte (consulte los tiempos de respuesta de las etapas en Tiempos de respuesta de las entradas analógicas (Página 346))		

Datos técnicos

A.2 CPUs

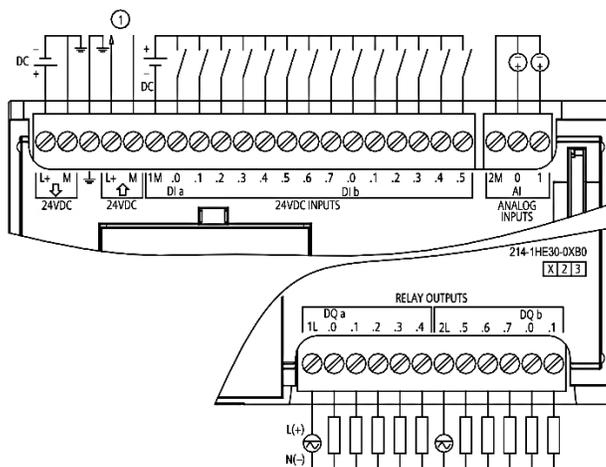
Datos técnicos			
Modelo	CPU 1214C AC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/relé	CPU 1214C DC/DC/DC
Rechazo de interferencias	10, 50 ó 60 Hz (consulte las frecuencias de muestreo en Tiempos de respuesta de las entradas analógicas (Página 346))		
Impedancia	≥100 KΩ		
Aislamiento (campo a lógica)	Ninguno		
Precisión (25°C / 0 a 55°C)	3,0% / 3,5% de rango máximo		
Rechazo en modo común	40 dB, DC a 60 Hz		
Rango de señales operativo	La tensión de señal más la tensión en modo común debe ser menor que +12 V y mayor que -12 V		
Longitud de cable (metros)	10 trenzado y apantallado		
Salidas digitales			
Número de salidas	10		
Tipo	Relé, contacto seco		Estado sólido - MOSFET
Rango de tensión	5 a 30 V DC ó 5 a 250 V AC		20,4 a 28,8 V DC
Señal 1 lógica a intensidad máx.	--		20 V DC mín.
Señal 0 lógica con carga de 10 KΩ	--		0,1 V DC máx.
Intensidad (máx.)	2,0 A		0,5 A
Carga de lámparas	30 W DC/200 W AC		5 W
Resistencia en estado ON	Máx. 0,2 Ω (si son nuevas)		0,6 Ω máx.
Corriente de fuga por salida	--		10 µA máx.
Sobrecorriente momentánea	7 A si están cerrados los contactos		8 A durante máx. 100 ms
Protección contra sobrecargas	No		
Aislamiento (campo a lógica)	1500 V AC durante 1 minuto (bobina a contacto) Ninguno (bobina a lógica)		500 V AC durante 1 minuto
Resistencia de aislamiento	100 MΩ mín. si son nuevas		--
Aislamiento entre contactos abiertos	750 V AC durante 1 minuto		--
Grupos de aislamiento	2		1
Tensión de bloqueo inductiva	--		L+ menos 48 V DC, disipación de 1 W
Retardo de conmutación (Qa.0 a Qa.3)	10 ms máx.		1,0 µs máx., OFF a ON 3,0 µs máx., ON a OFF
Retardo de conmutación (Qa.4 a Qb.1)	10 ms máx.		50 µs máx., OFF a ON 200 µs máx., ON a OFF
Frecuencia de tren de impulsos (Qa.0 y Qa.2)	No recomendado		100 KHz máx., 2 Hz mín.
Vida útil mecánica (sin carga)	10.000.000 ciclos abiertos/cerrados		--
Vida útil de los contactos bajo carga nominal	100.000 ciclos abiertos/cerrados		--
Reacción al cambiar de RUN a STOP	Último valor o valor sustitutivo (valor predeterminado: 0)		
Número de salidas ON simultáneamente	10		
Longitud de cable (metros)	500 apantallado, 150 no apantallado		

Diagramas de cableado



① Alimentación de sensores 24 V DC

Figura A-7 CPU 1214C AC/DC/relé (6ES7 214-1BE30-0XB0)



① Alimentación de sensores 24 V DC

Figura A-8 CPU 1214C DC/DC/relé (6ES7 214-1HE30-0XB0)

Datos técnicos pistones MINDMAN

MCFI series

ISO-6432 **MINIATURE CYLINDER** / NON-PIVOT TYPE **MINIATURE CYLINDER** mindman



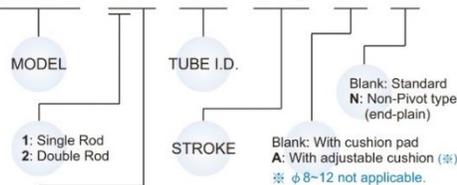
Table for standard stroke

	Tube I.D.	Stroke (mm)
Single acting	φ 16	15, 25, 50, 75, 100
	φ 20, 25	15, 25, 50, 75, 100, 125, 150
Double acting	φ 8, 10	10, 25, 40, 50, 80, 100
	φ 12	10, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200
	φ 16	15, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500
	φ 20, 25	15, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500

※ Stroke out of specification is also available.
 ※ Please consult us if stroke out of specification.

Order example

MCFI - 11 - 16 - 100 - A - N



STYLE

Code	Symbol	Description
1 1		Double acting / Male thread
1 3		Single acting / Normally extended male thread
1 5		Single acting / Normally returned male thread
2 1		Double rod / Male thread
2 7		Double rod / Adjustable male thread Please mark "adjustable distance(mm)" at order list

※ Single acting type, please consult us.
 ※ Order example for special specification, refer to page 0-7.

Features

- **Non lubrication**
Special housing and bushing enables self lubrication of piston rod.
- **High quality long service life**
Hard anodised stainless steel cylinder tubes offer a high resistance to corrosion and low internal friction.
- **Cylinder mountings**
Available with a comprehensive range of accessories for rigid or flexible mounting.
- **ISO-6432 standard**
Enables world-wide inter-changeability.
- **Port thread Rc. NPT. are also available.**
- **Magnetic as standard.**

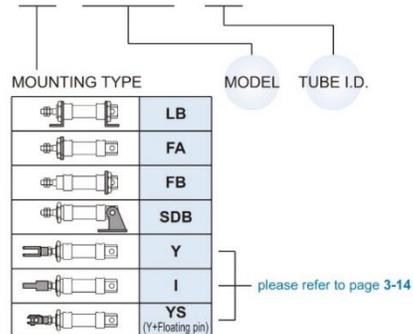
Specification

Model	MCFI					
Tube I.D. (mm)	8	10	12	16	20	25
Port size	M5 × 0.8			G1/8		
Medium	Air					
Max. operating pressure	0.7 MPa					
Min. operating pressure (MPa)	0.1	0.08	0.06			
Proof pressure	1 MPa					
Ambient temperature	-5~+60°C (No freezing)					
Available speed range	50~500 mm/sec					
Max. allowable kinetic energy (J)	Cushion pad	0.02	0.03	0.04	0.09	0.27
	Adjustable cushion	—	—	—	0.4	0.66
Lubricator	Not required					
Sensor switch (band) (※)	RCA (Matching the BA20,BA25 band)					
	RCM (Matching the BGS20,BGS25 band)					
	RCM (Matching the BM16-BM25 band)					
	RCS (Matching the BJ8-BJ16 band)					

※ RCA, RCM, RCS specification, please refer to page 8-6, 13, 14.
 ※ The code of sensor switch band is BM16. "16" represents the tube I.D.

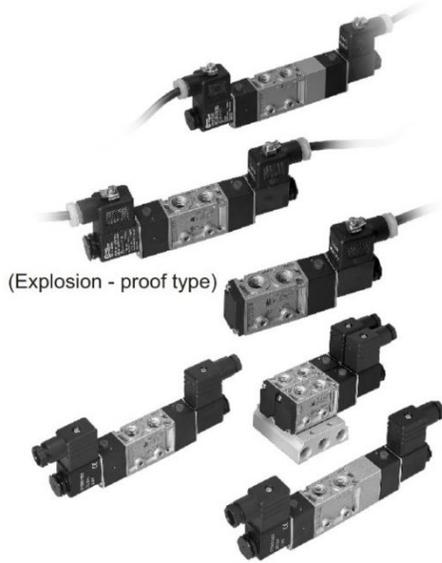
Mounting accessories

FA - MCFI - 16



Datos técnicos electroválvulas MINDMAN

MVSC-220 series SOLENOID VALVE



Specification:

Model	MVSC-220-3E1,E2	MVSC-220-4E1,E2	MVSC-220-4E2C.P.R
Bore No.	8A		
Port size	PT 1/4		
No. of port	3	5	
No. of position	2	2	3
Medium	Air		
Operating pressure range	2~7 kgf/cm ²		3~7 kgf/cm ²
Proof pressure	10 kgf/cm ²		
Effective orifice	18 mm ²		16 mm ²
Response time	30 ms		40 ms
Ambient temperature	- 5~ + 50°C (No freezing)		
Voltage	AC110V, 220V (50/60)Hz, DC24V		
Power consumption	AC=6/4.9VA, DC=2.5W		
Available voltage range	± 10%		
Insulation class	F class		
Weight	203 g	296 g	184 g 292 g 338 g

Order example of valve:

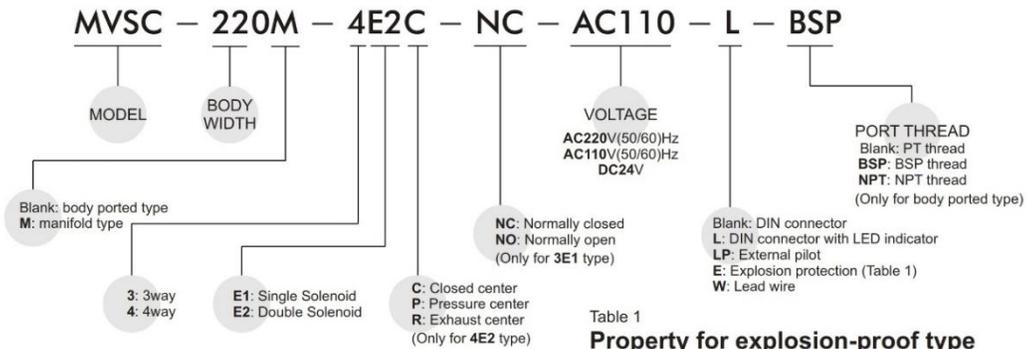
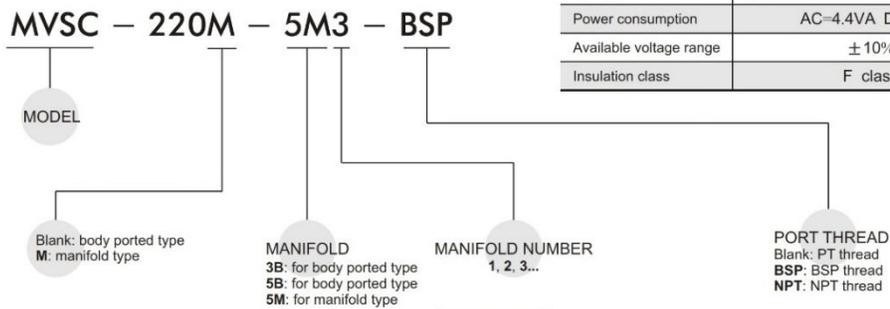


Table 1
Property for explosion-proof type

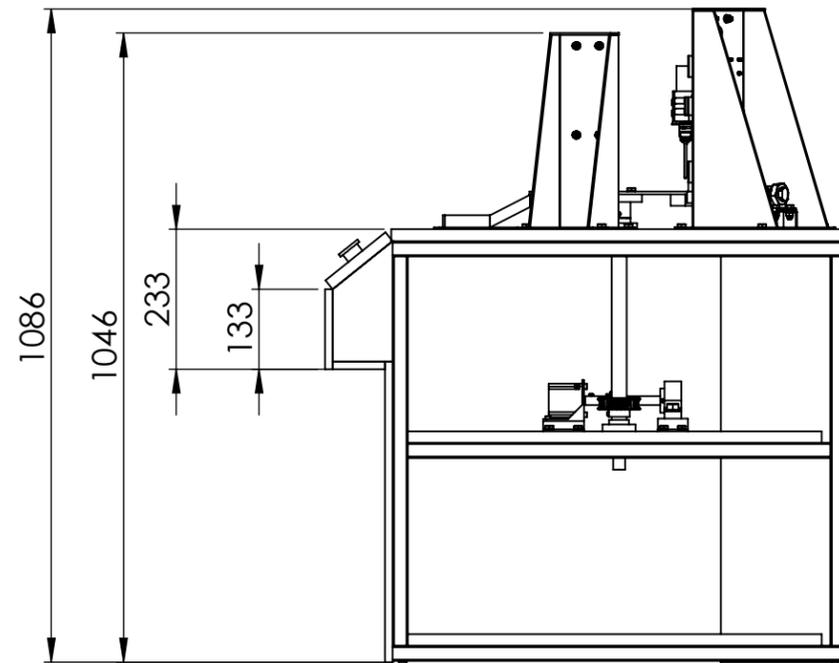
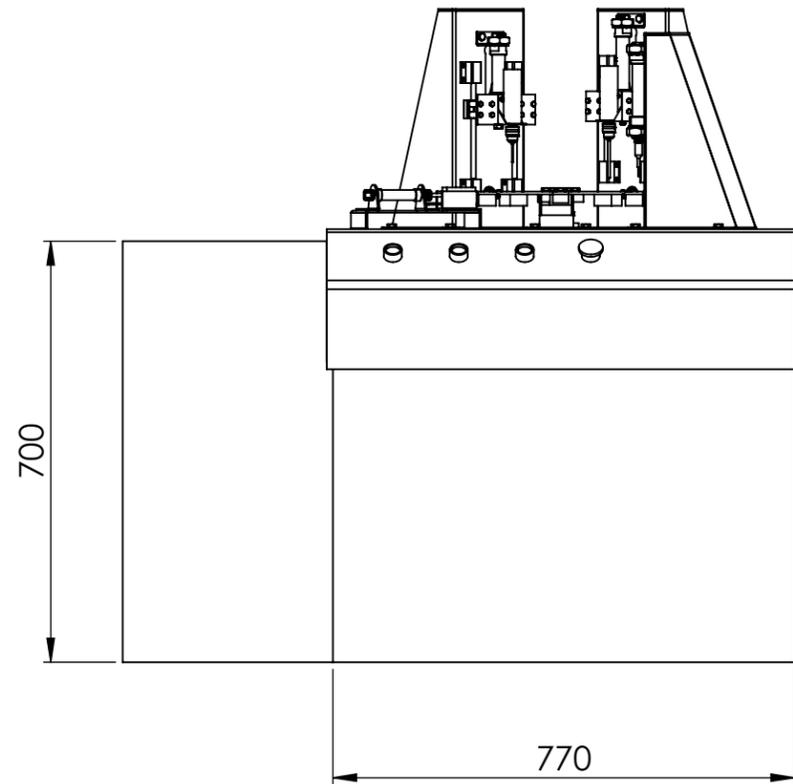
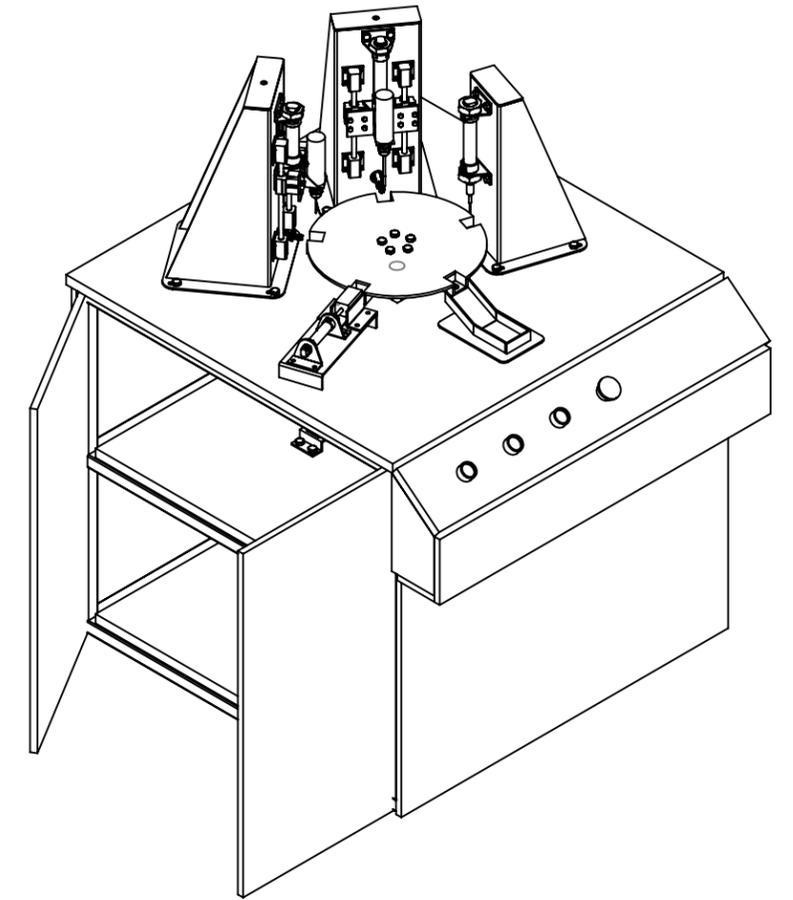
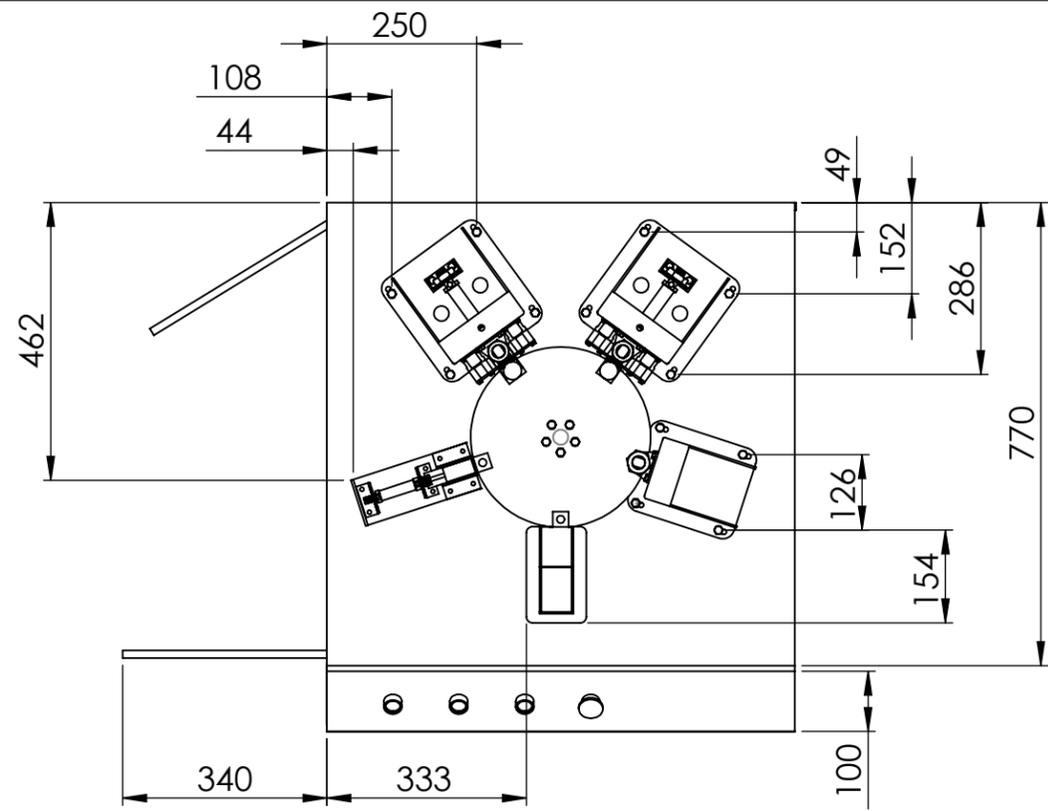
Anti-explosion class	EEx m II T4
Voltage	AC110V, 220V, (50/60)Hz, DC24V.
Power consumption	AC=4.4VA DC=5W
Available voltage range	± 10%
Insulation class	F class

Order example of manifold:

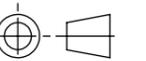


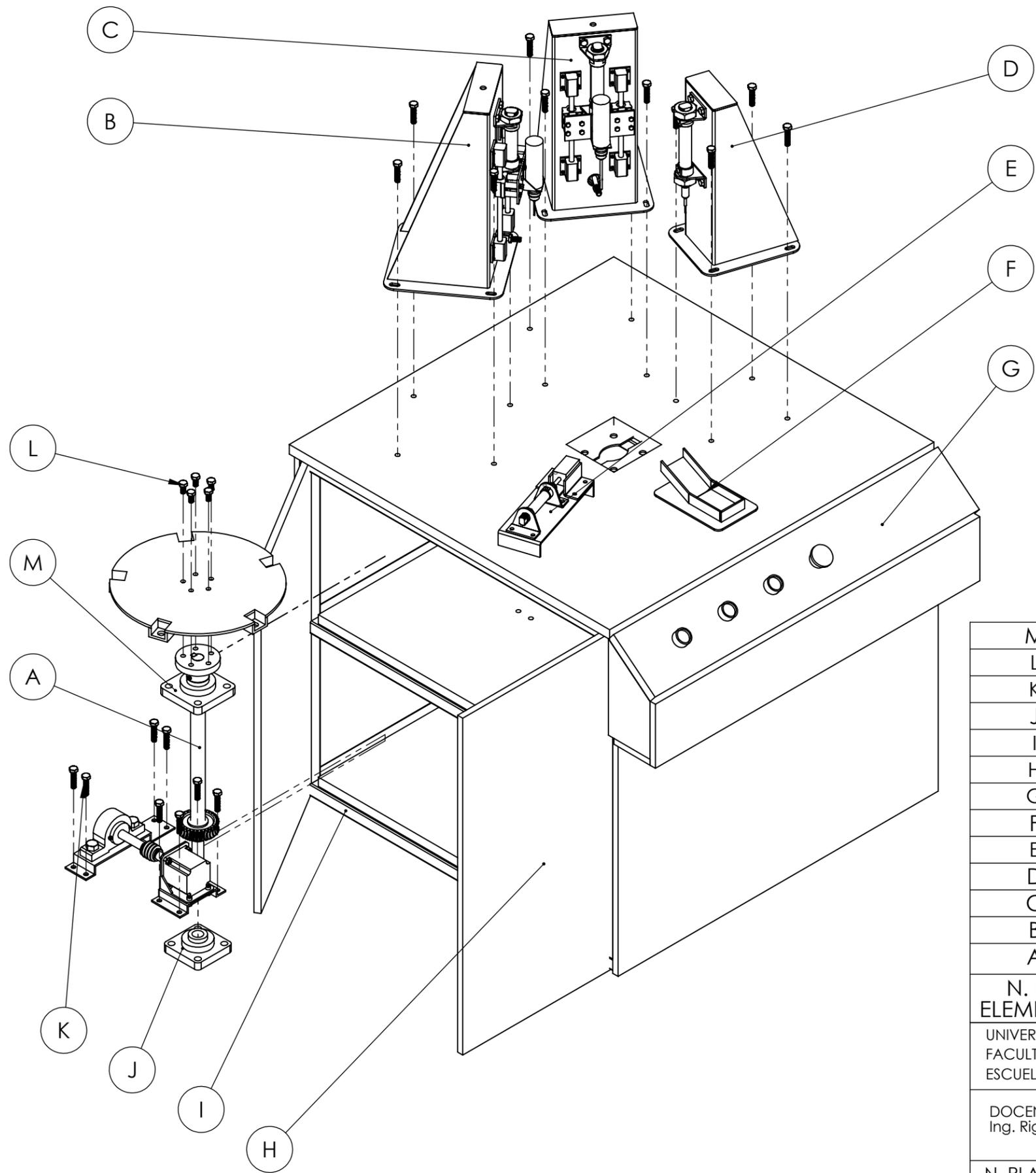
A-31



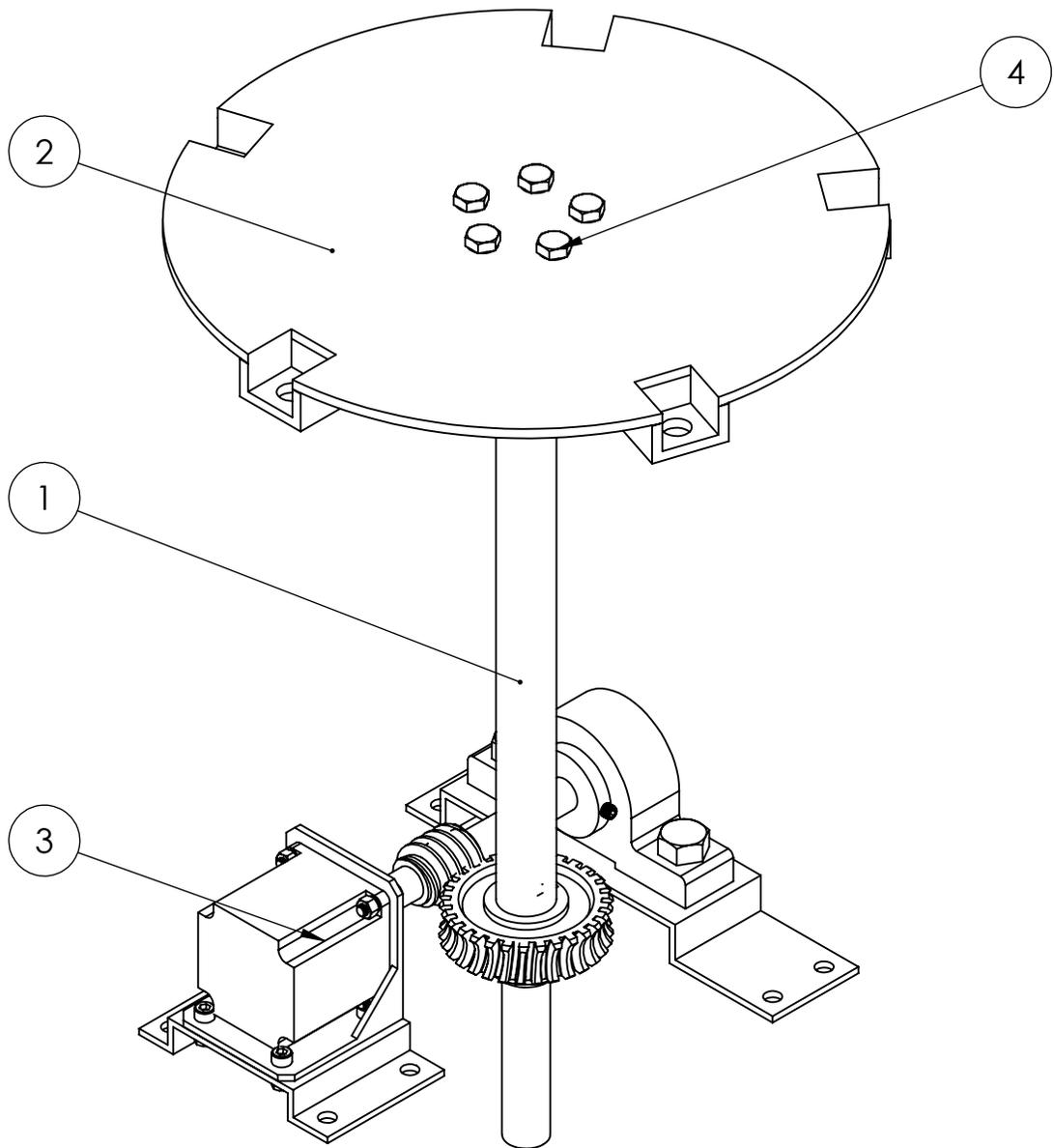


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:12
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO 1	FECHA: 17/07/17	SISTEMA DE TALADRADO	

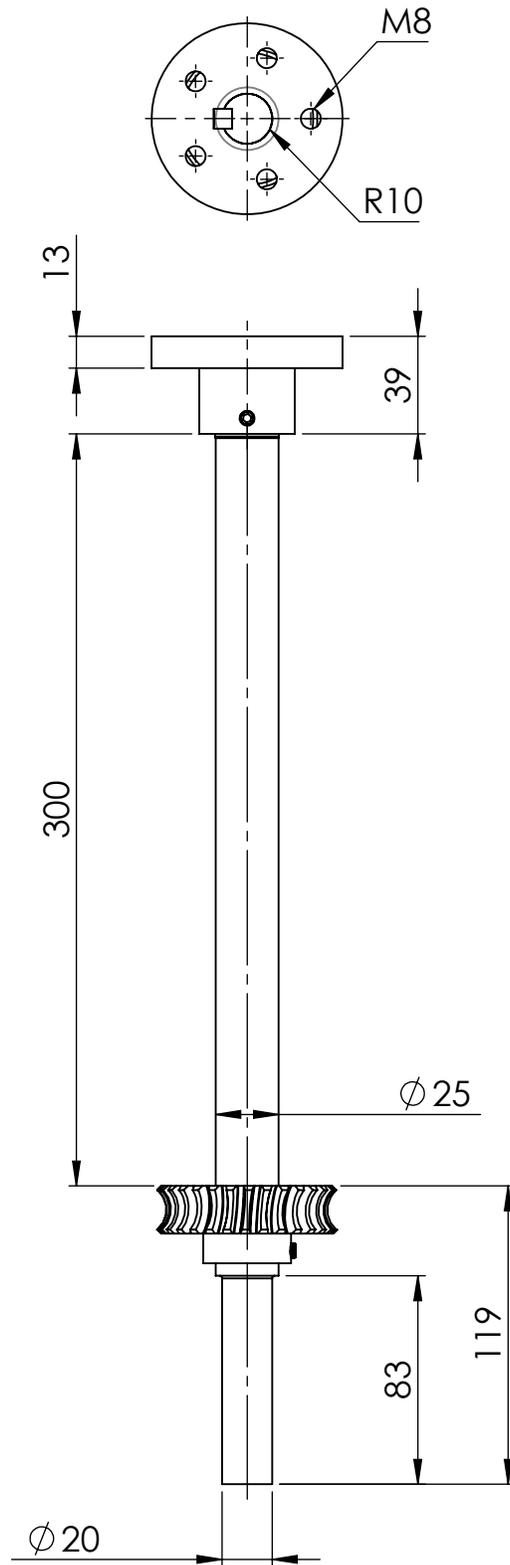




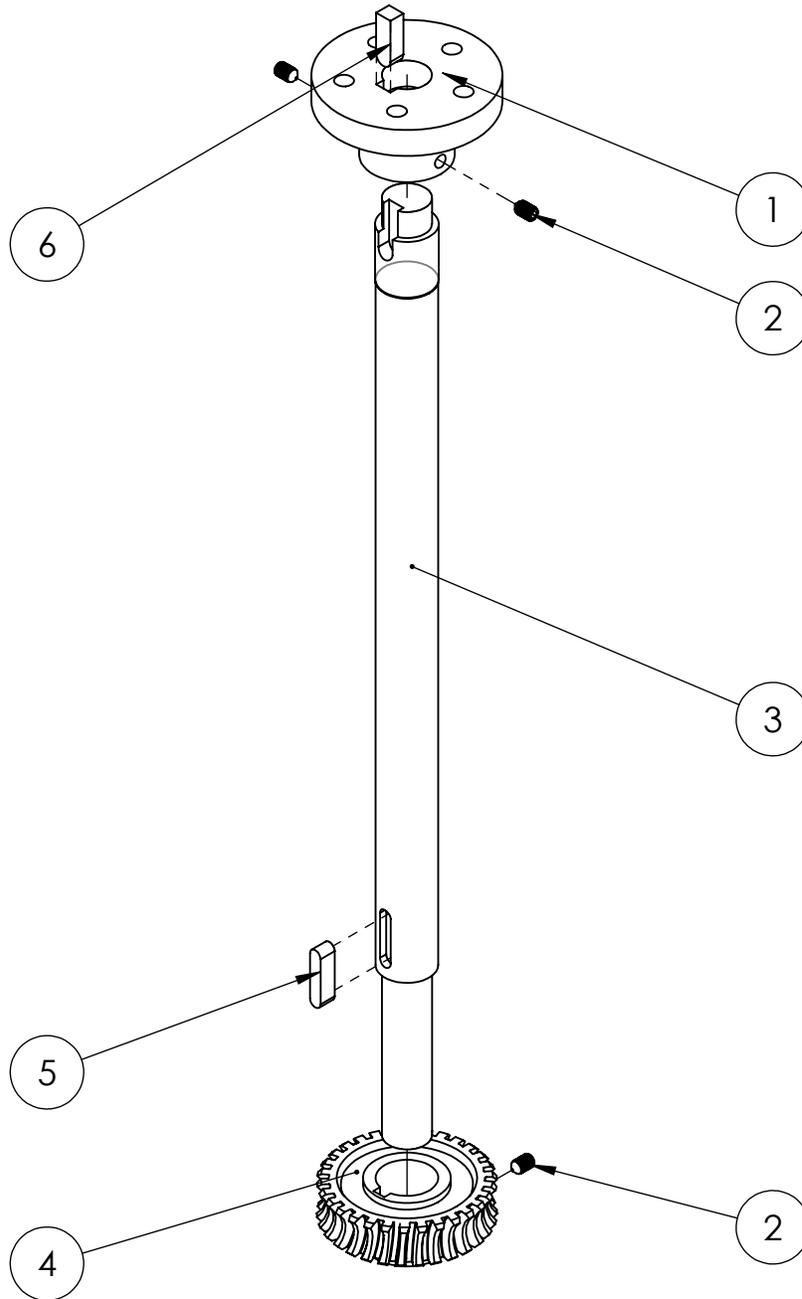
M	Chumacera 25mm		1
L	Perno hex M8 x 1.25 x 16		5
K	Perno hex M8 x 1.25 x 35		20
J	Chumacera 20mm		1
I	Estructura		1
H	Puertas		2
G	Botonera		1
F	Salida		1
E	Entrada		1
D	Estación de medición		1
C	Estación de taladrado 2		1
B	Estación de taladrado 1		1
A	Transmisión	Subconjunto	1
N. DE ELEMENTO	N. PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:8
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO 2	FECHA: 17/07/17	SISTEMA DE TALADRADO	



4	Perno M8 x 1.25 x 35	Galvanizados	25
3	Conjunto sin-fin		1
2	Mesa	AISI 1020	1
1	Transmisión	Subconjunto	1
N. ELEMENTO	N. PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:3
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO A	FECHA: 07/07/17	SUBCONJUNTO TRANSMISIÓN	

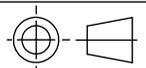


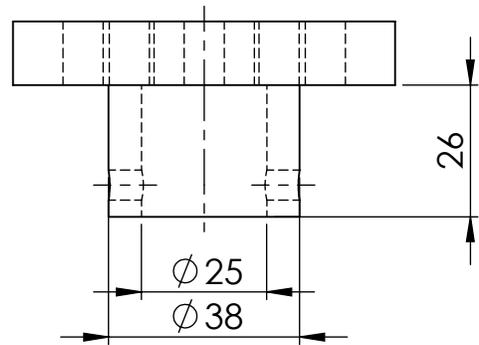
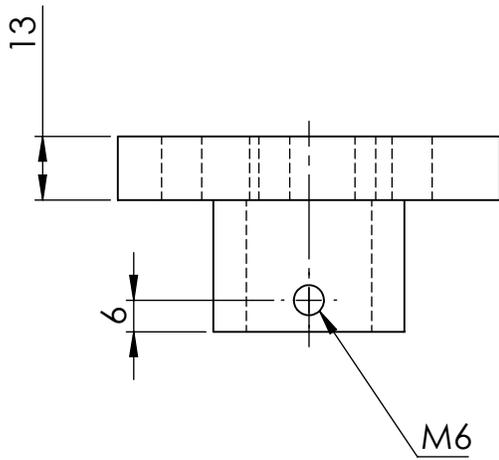
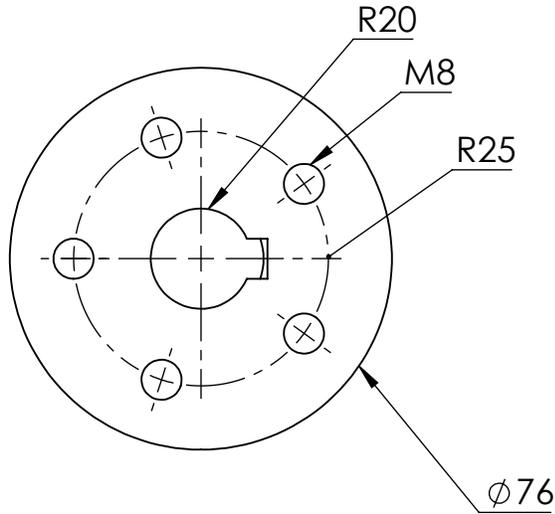
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:3
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO A1	FECHA: 07/07/17	SUBCONJUNTO EJE	



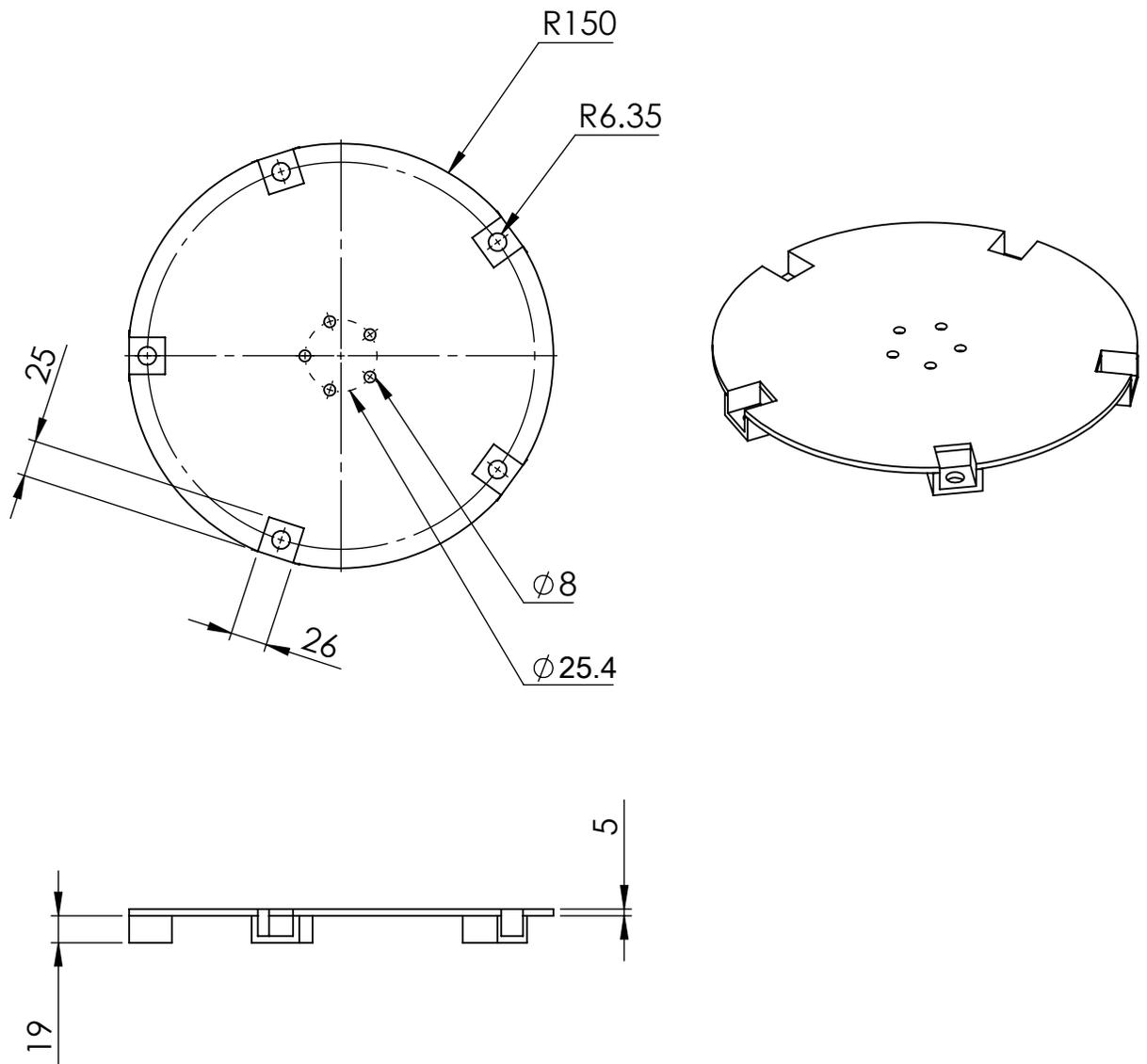
6	Cuña 2		1
5	Cuña 1		1
4	Corona helicoidal		1
3	eje		1
2	Perno sujeción M6		4
1	Acople eje - mesa		1

N. ELEMENTO	N. PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:3
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO A2	FECHA: 07/07/17	SUBCONJUNTO EJE	

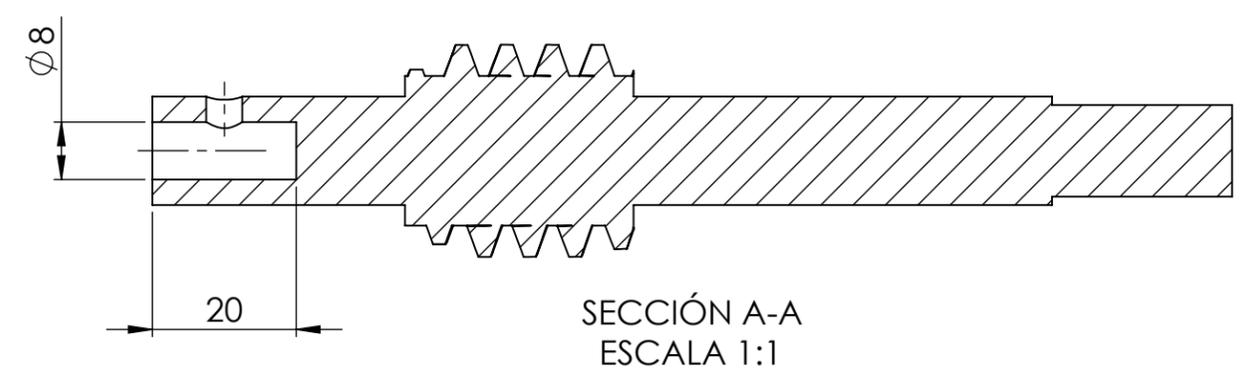
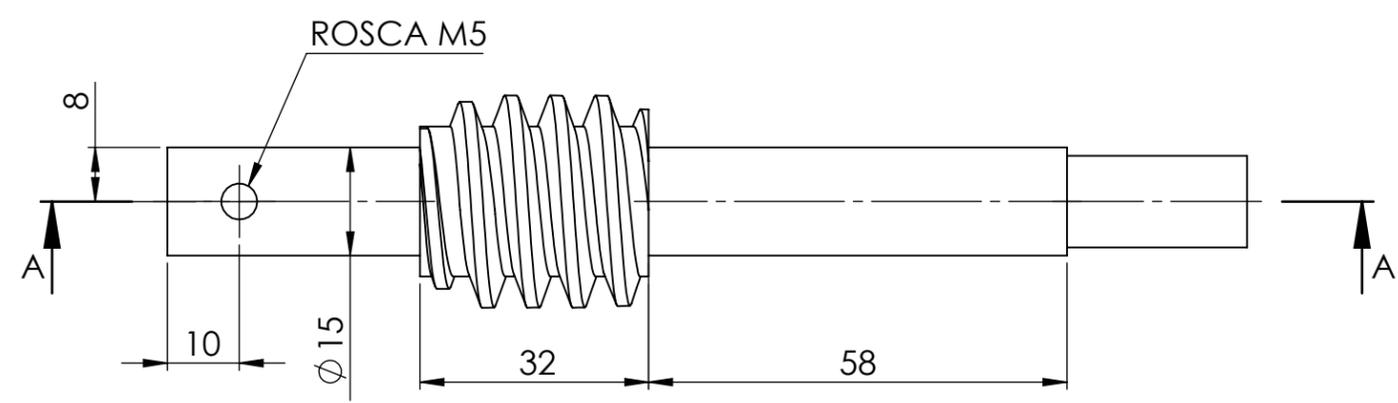
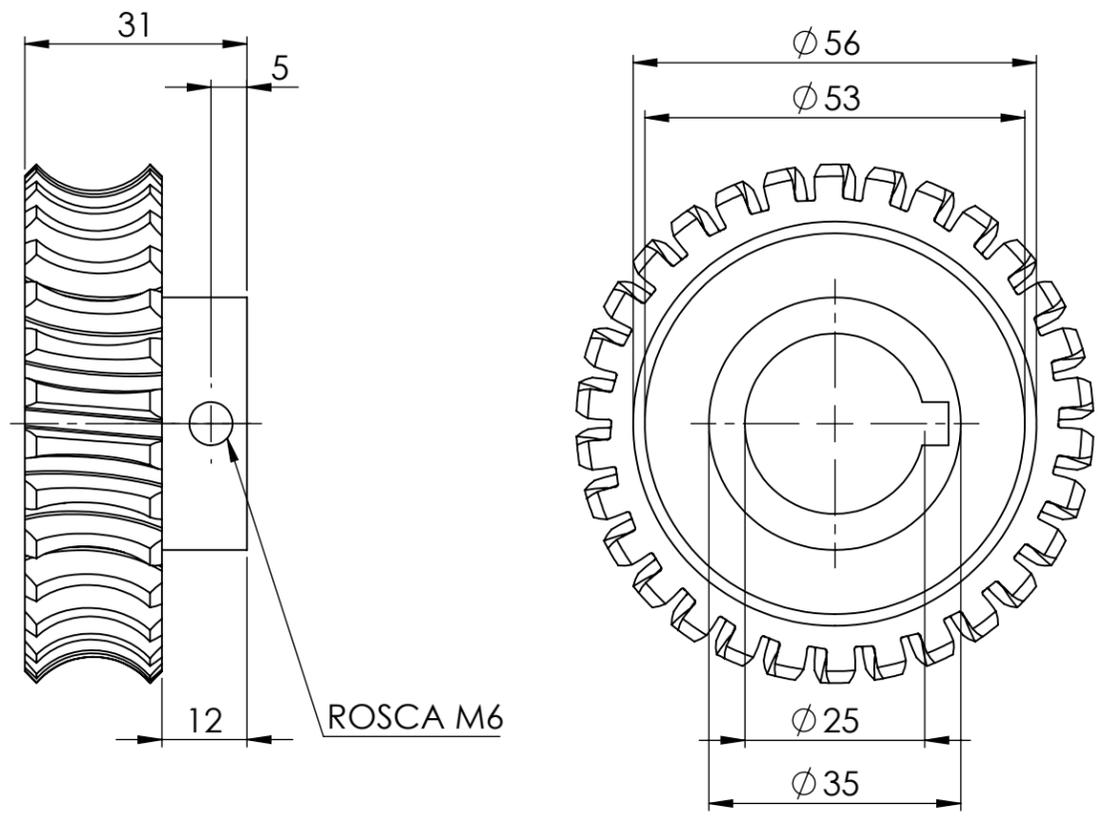




UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:1.5
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Porfillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO A3	FECHA: 07/07/17	ACOPLE EJE - MESA	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:5
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Porfillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO A4	FECHA: 05/07/17	MESA	

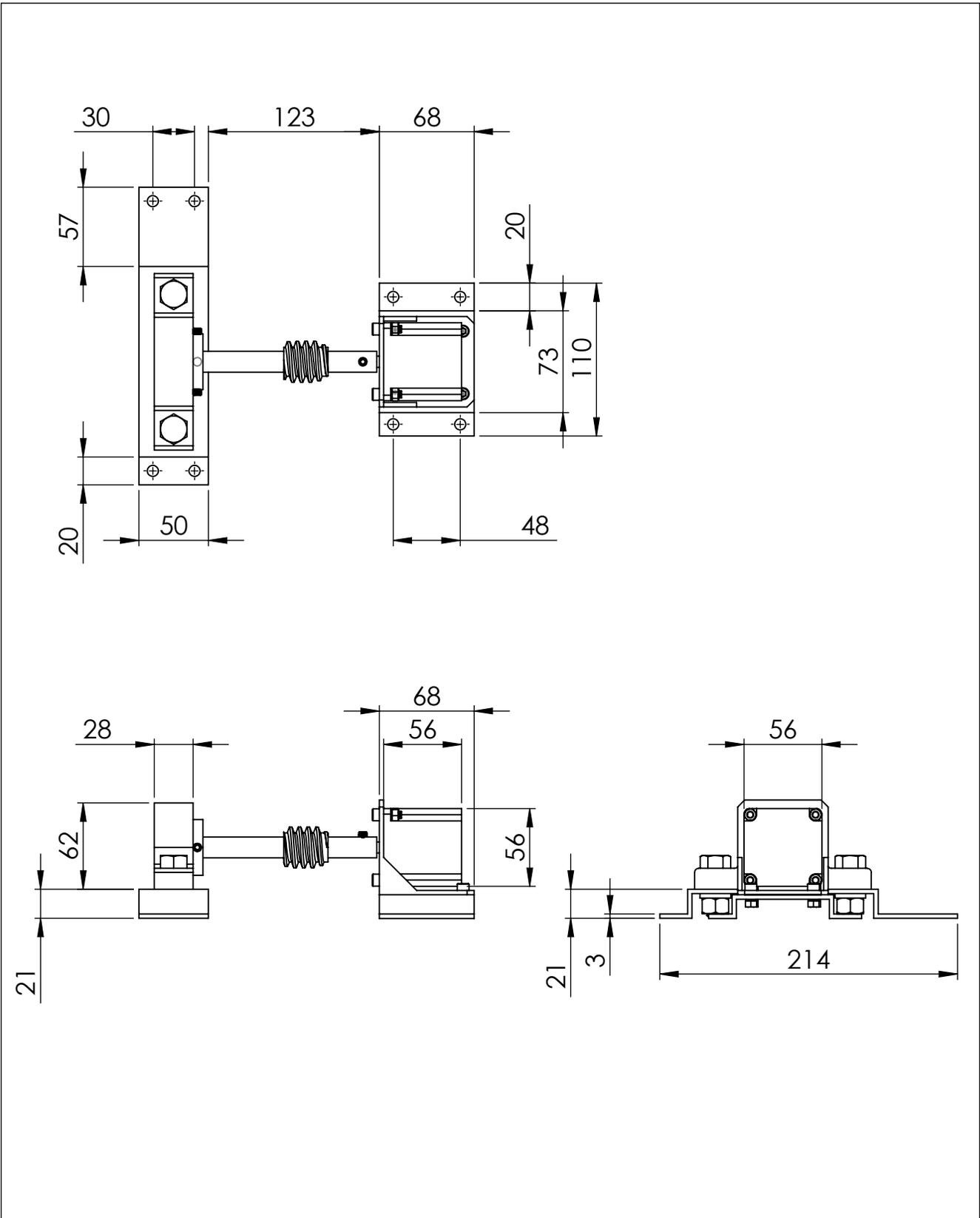


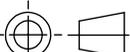
Diametro de paso	60	25.4
Numero de dientes	30	1 HILO
Módulo	2	2
Distancia entre centros	42.7	
Addendum	2	2
Dedendum	2.31	2.31
Profundidad total	4.31	4.31
Profundidad de trabajo	4	4
Diametro de raiz	55.37	20.77
Diametro exterior	72	29.4
Diametro de garganta	64	-
Ancho de cara	19 (3/4 pulg)	-
Longitud roscada	-	31.75
Largo total	-	150

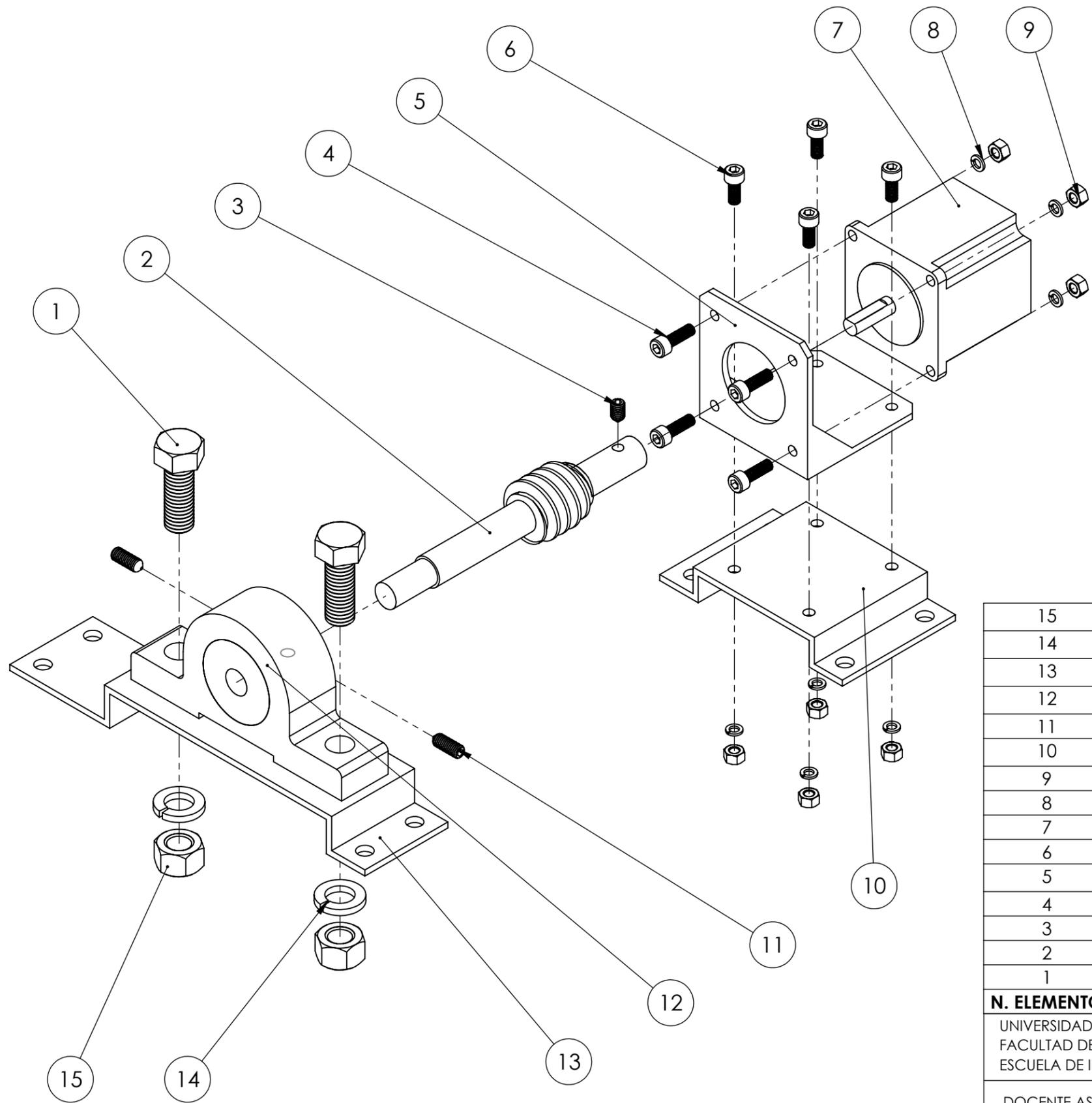
MEDIDAS		ENGRANE HELICOIDAL	TORNILLO SIN FIN
2	Tornillo sin fin	AISI 1020	1
1	Corona helicoidal	Nylon	1

N. ELEMENTO	N. PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm

N. PLANO A5	FECHA: 21/07/17	TRANSMISIÓN SIN FIN-CORONA	
----------------	--------------------	----------------------------	--

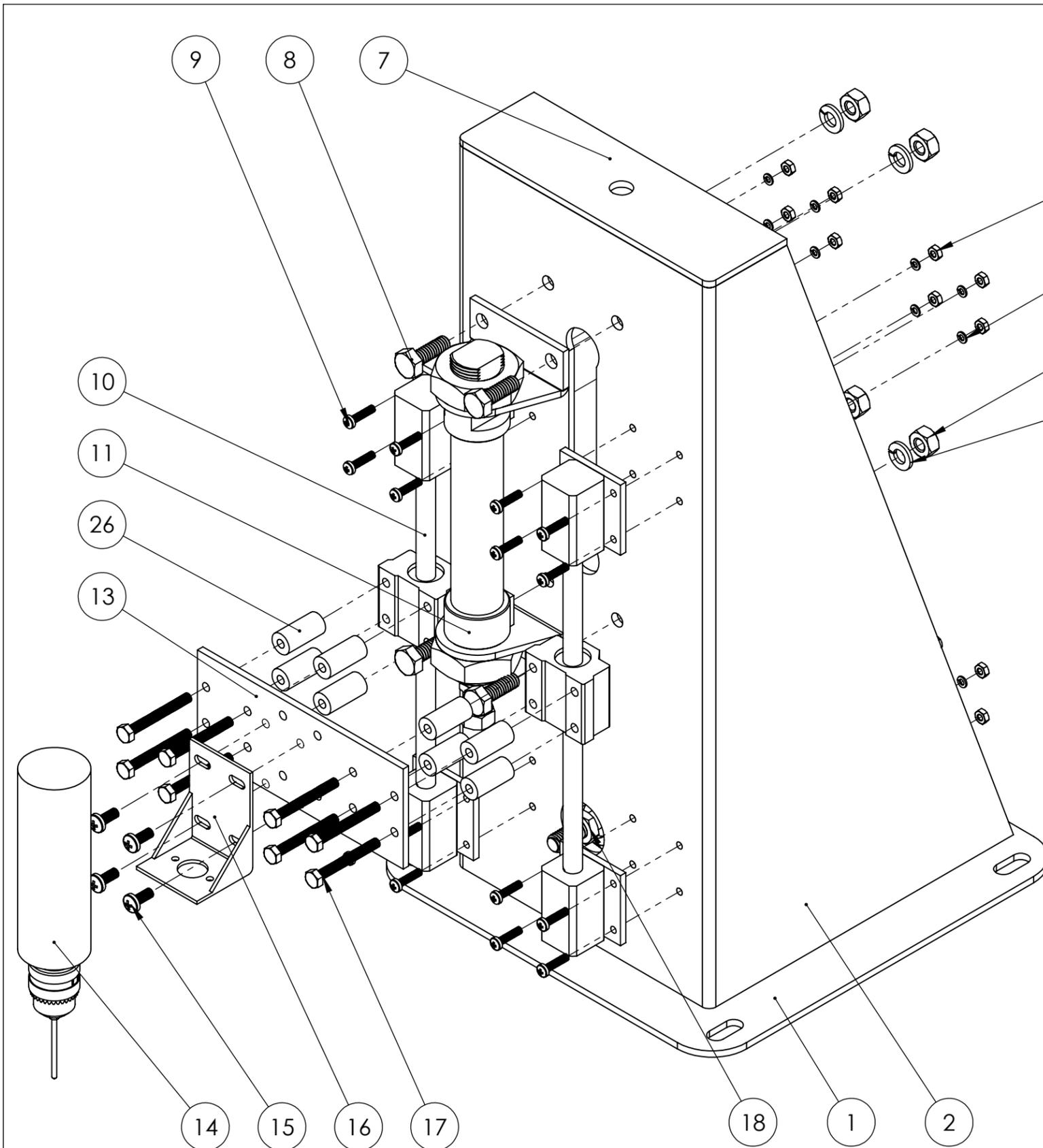


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:4
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Porfillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO A6	FECHA: 07/07/17	CONJUNTO SIN FIN - MOTOR PAP	
			



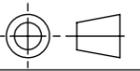
15	Perno 13 mm (1/2 pulg)	Inoxidable	2
14	Arandela 13 mm (1/2 pulg)	Inoxidable	2
13	Soporte chumacera 13 mm (1/2 pulg)	AISI 1020	1
12	Chumacera 13 mm(1/2 pulg)		1
11	Prisionero M6 x 16		2
10	Soporte motor PaP 2	AISI 1020	1
9	Tuerca M5 x 0.8	Inoxidable	8
8	Arandela 5 mm	Inoxidable	8
7	Motor PaP NEMA 23		1
6	Tornillo allen M5 x 0.8 x 12 Hex	Inoxidable	4
5	Soporte motor PaP 1	AISI 1020	1
4	Tornillo allen M5 x 0.8 x 16 Hex	Inoxidable	4
3	Prisionero M6 x 10		1
2	Tornillo sin fin	AISI 1020	1
1	Perno hex 13 x 1.25	Inoxidable	2

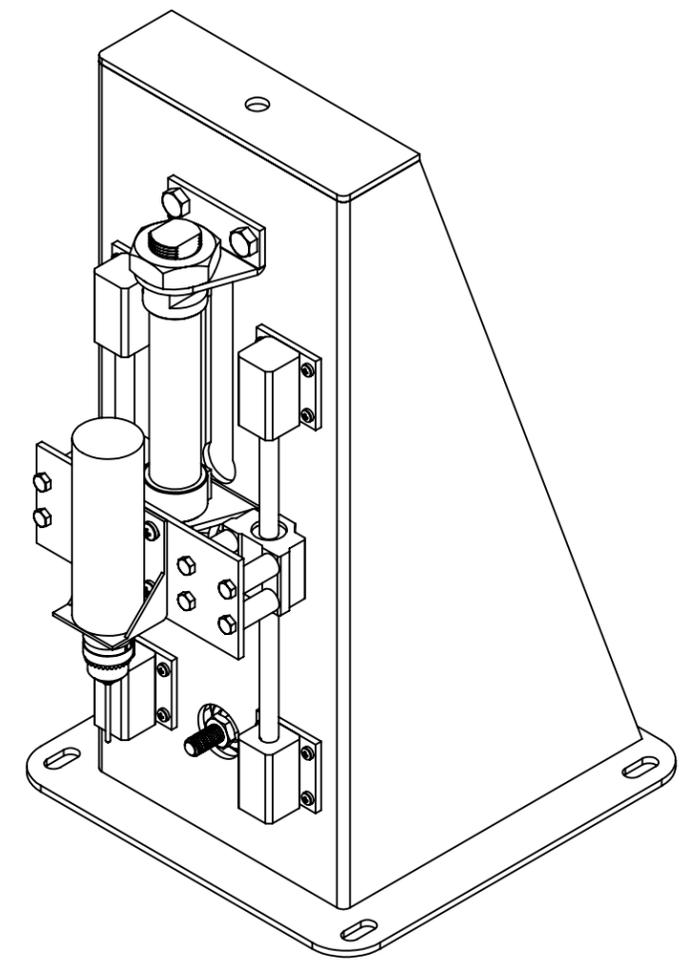
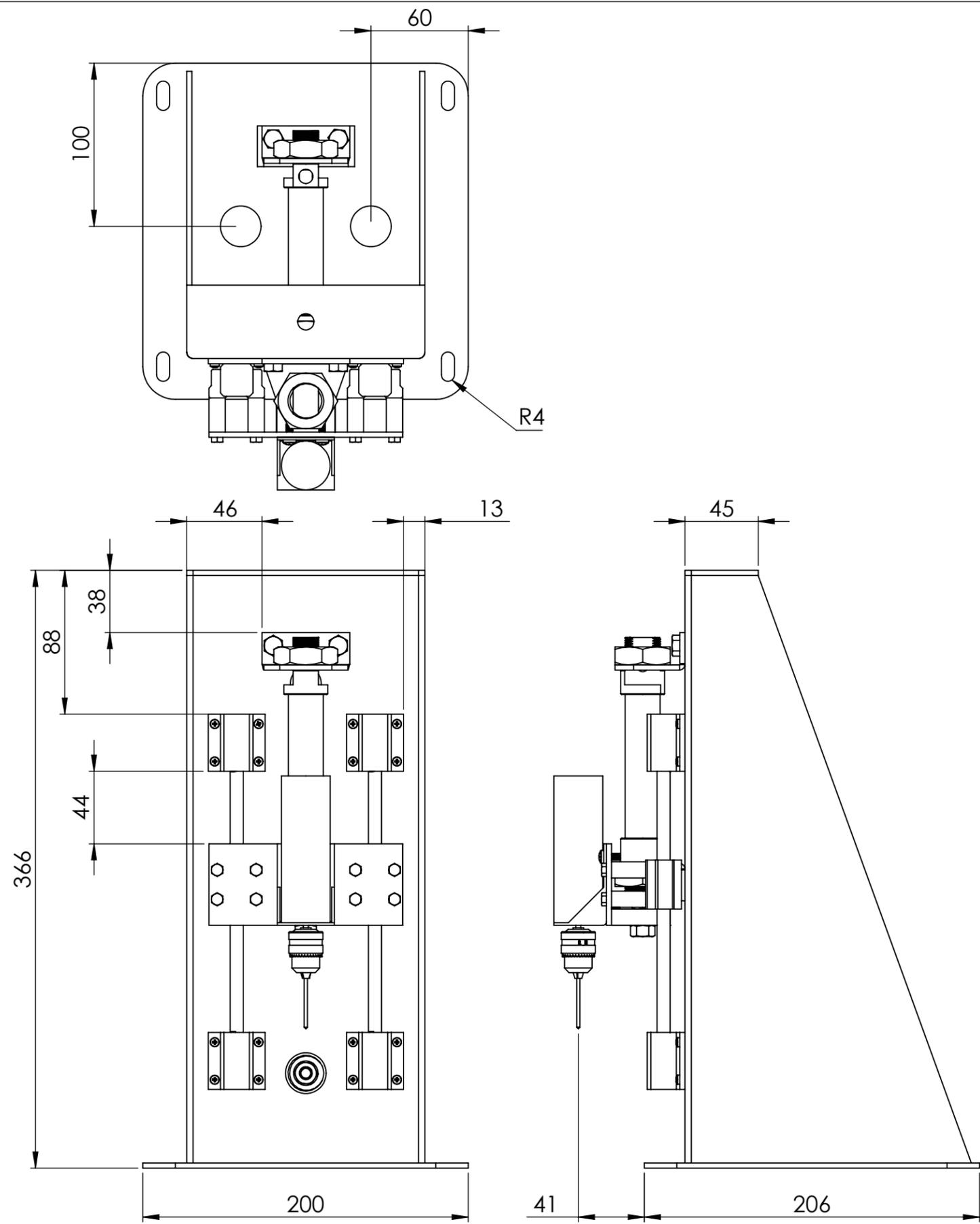
N. ELEMENTO	N. PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO A7	FECHA: 17/07/17	CONJUNTO SIN FIN - MOTOR PAP	



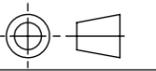
18	Pistón MCMI_11_20_25	0.06 - 0.7 MPa	1
17	Perno hex M4 x 0.7 x 35	Inoxidable	8
16	Soporte taladro	AISI 1020	1
15	Tornillo M4 x0.7x 13	Inoxidable	4
14	Taladro		1
13	Soporte 3	AISI 1020	1
12	Soporte 2	AISI 1020	2
11	Pistón MCMI_11_20_50	0.06 - 0.7 MPa	1
10	Subconjunto guía		2
9	Tornillo M3 x 0.5 x 13	Inoxidable	16
8	Perno hex 6 mm (0.25x0.75 pulg)	Inoxidable	8
7	Lamina tapa 3 mm	AISI 1020	1
6	Tuerca M3	Inoxidable	16
5	Arandela 3 mm	Inoxidable	16
4	Tuerca 6mm (0.25 pulg)	Inoxidable	8
3	Arandela 6 mm (0.25 pulg)	Inoxidable	8
2	Lamina 3 mm	AISI 1020	1
1	Lamina base 3 mm	AISI 1020	1

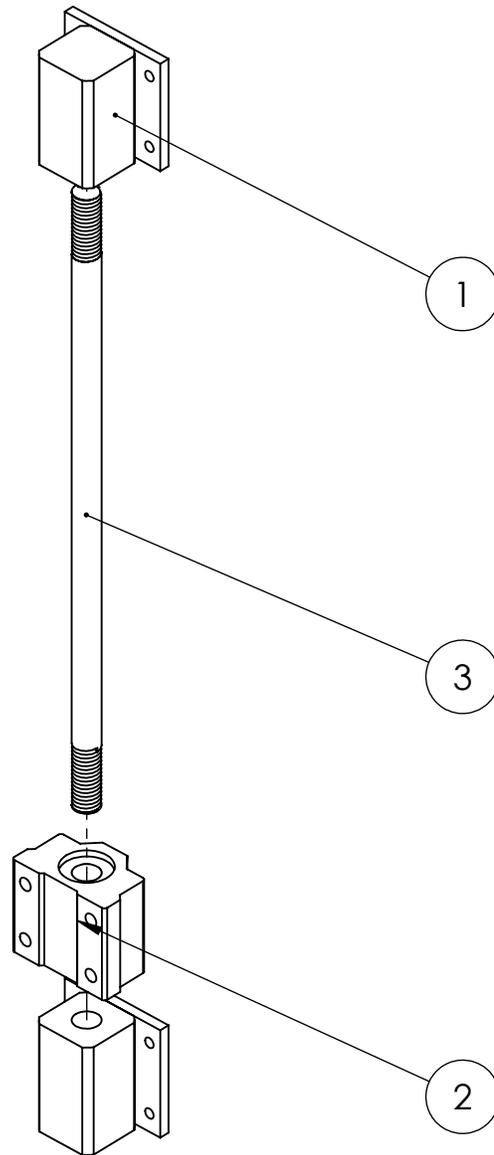
N. ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B	FECHA: 17/07/17	ESTACIÓN DE TALADRADO 1	



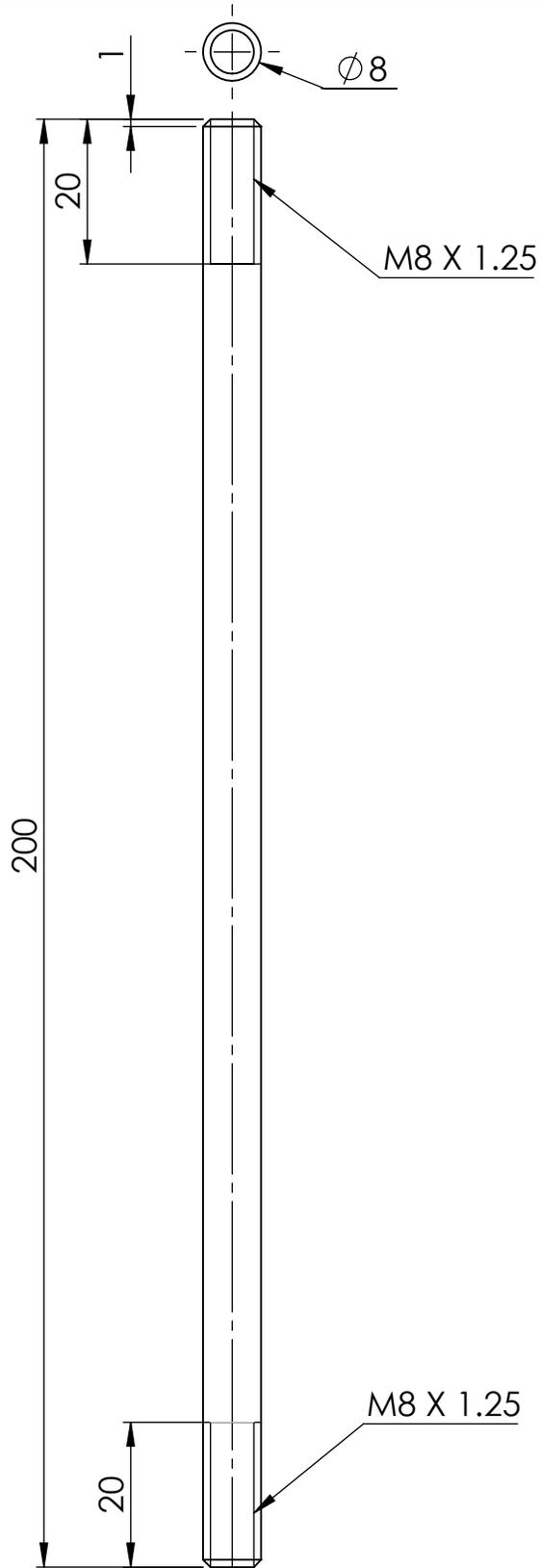


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:3
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B1	FECHA: 17/07/17	ESTACIÓN DE TALADRADO 1	

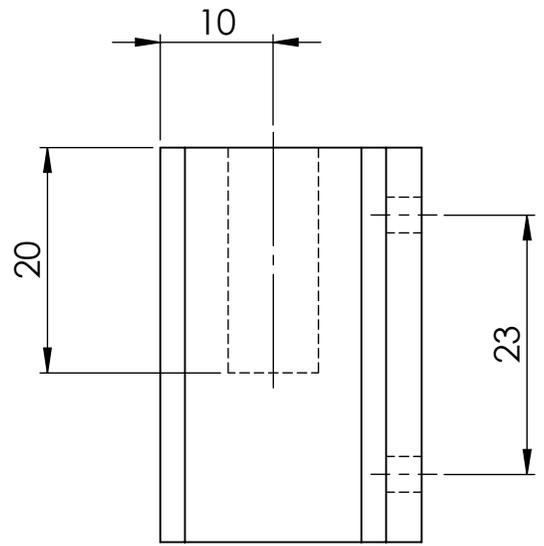
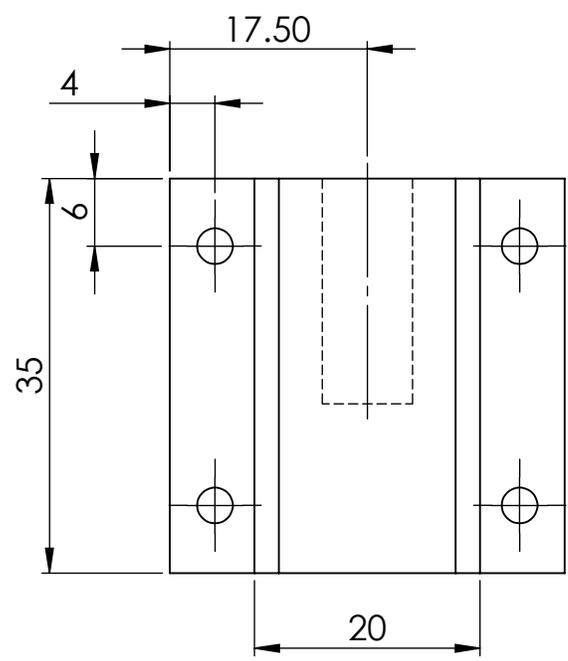
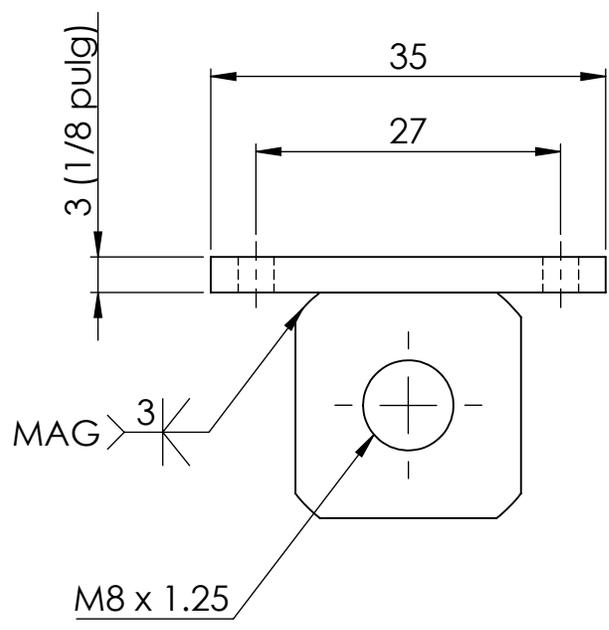




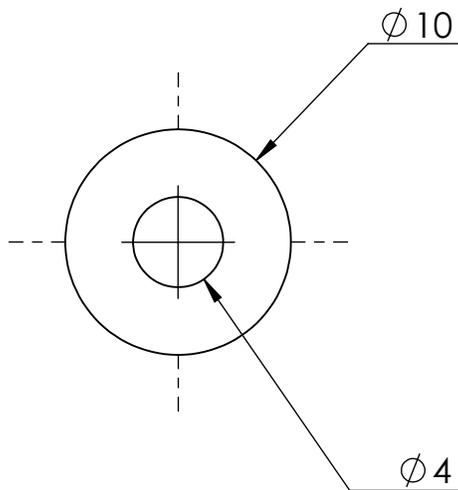
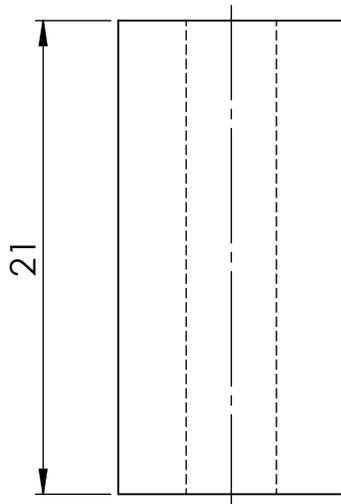
3	Cojinete lineal	Aluminio	1
2	Guía	AISI 1020	1
1	Soporte 1	AISI 1020	2
N. ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B2	FECHA: 07/07/17	CONJUNTO GUIA	



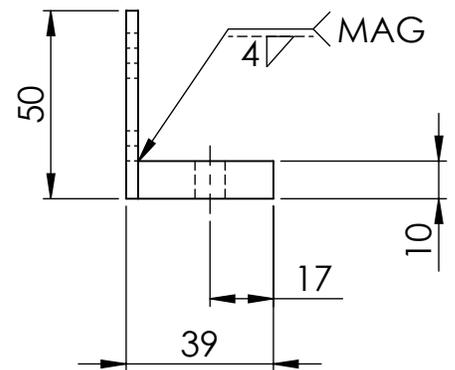
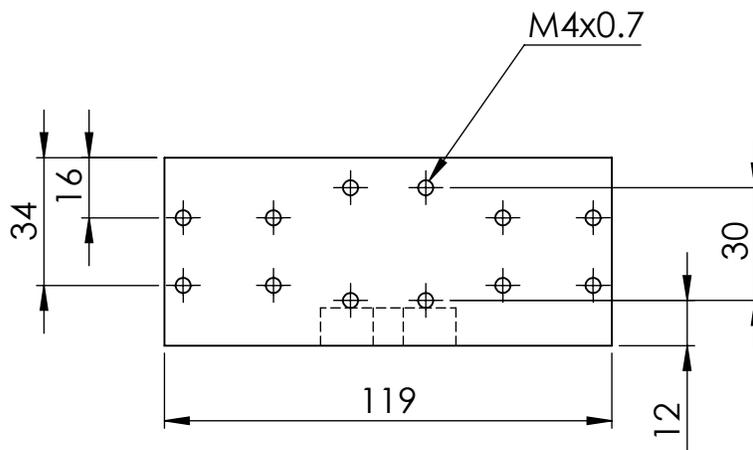
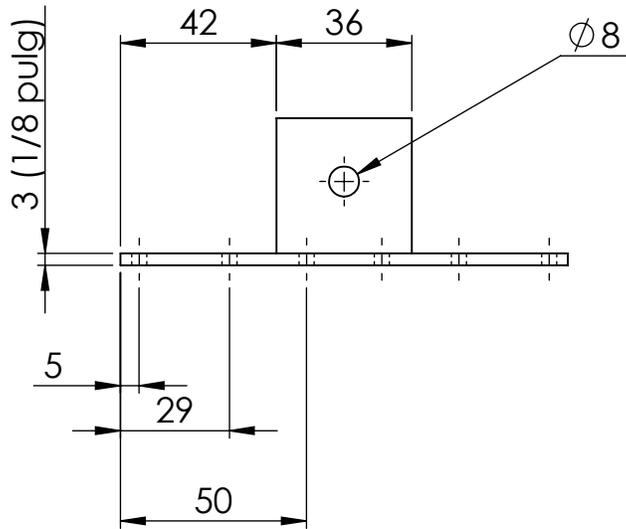
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Porfillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B3	FECHA: 07/07/17	GUIA ESTACIÓN 1	



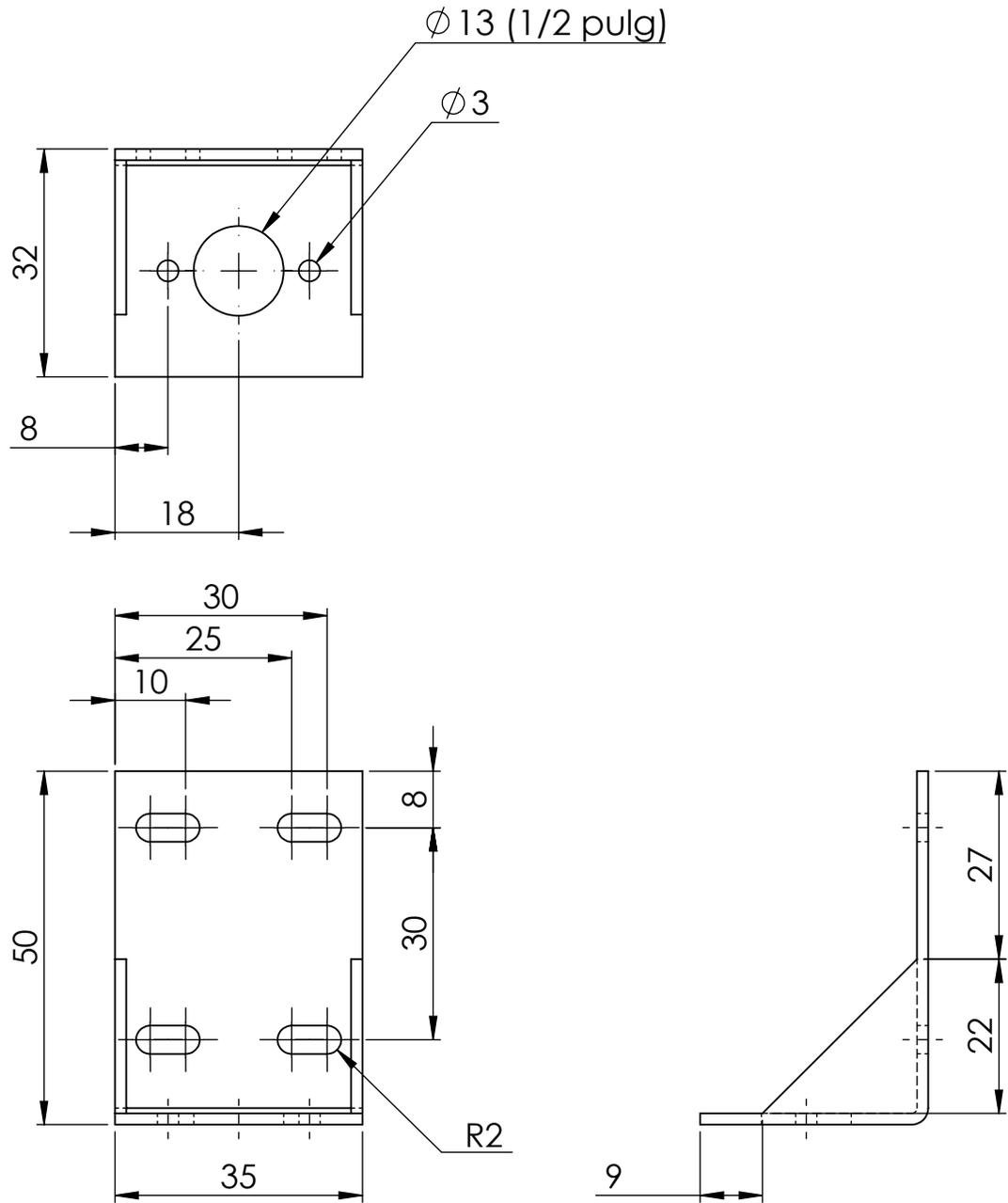
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1.5:1
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Porfillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B4	FECHA: 07/07/17	SOPORTE 1	



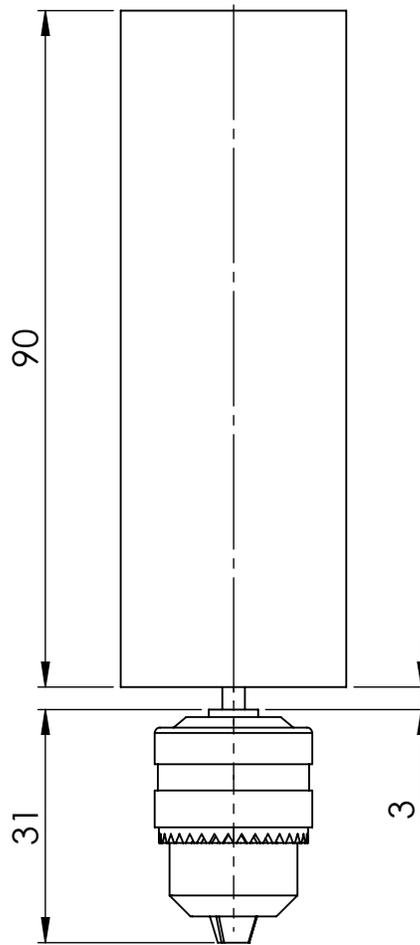
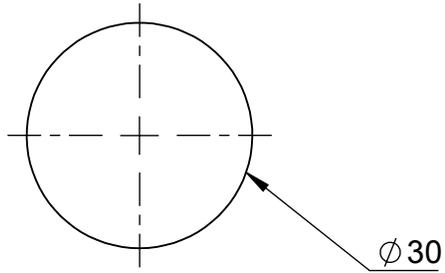
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 3:1
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Porfillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B5	FECHA: 07/07/17	SOPORTE 2	



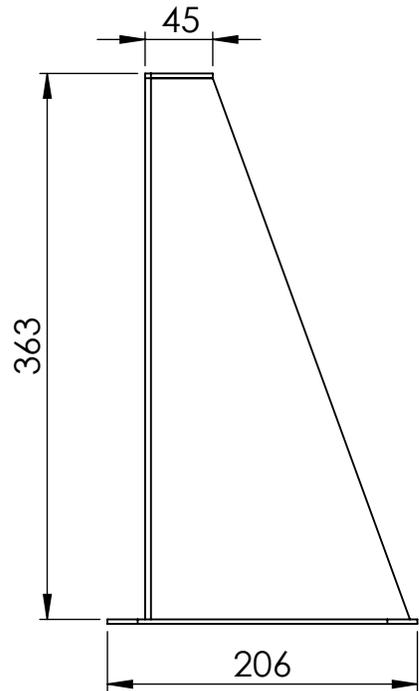
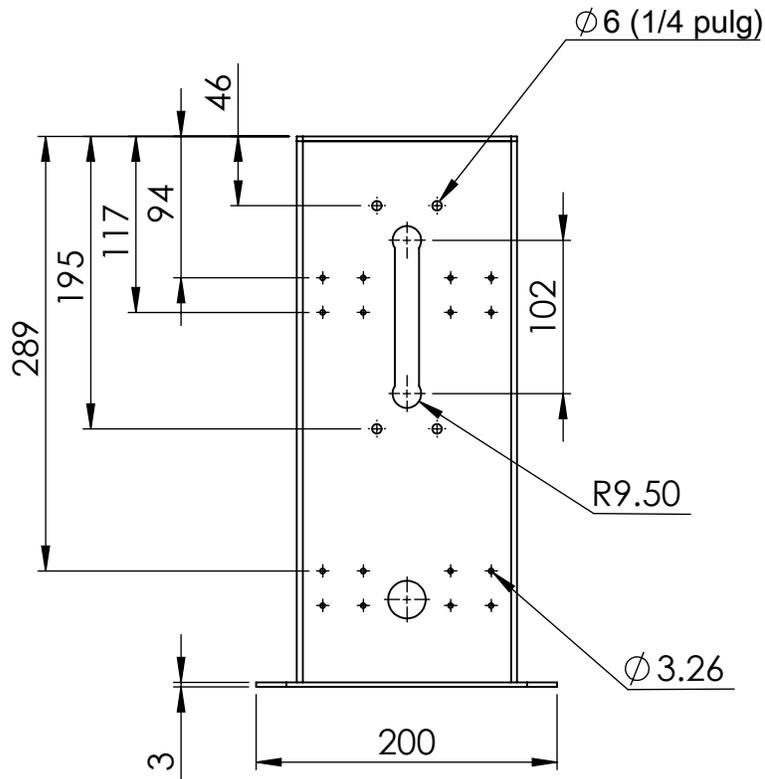
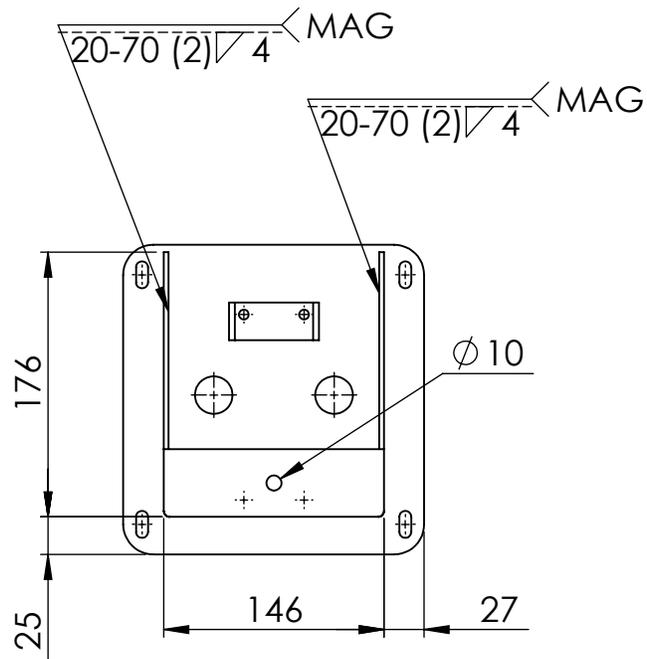
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isaí Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isaí Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B6	FECHA: 08/07/17	SOPORTE 3	



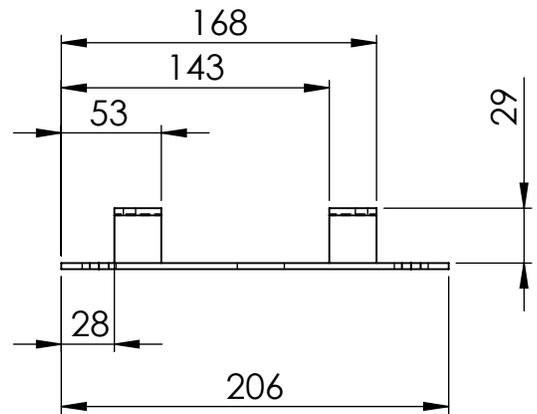
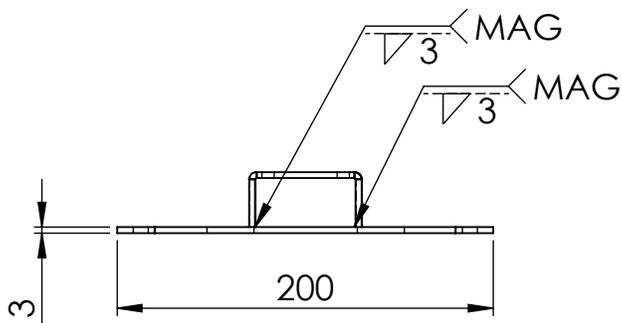
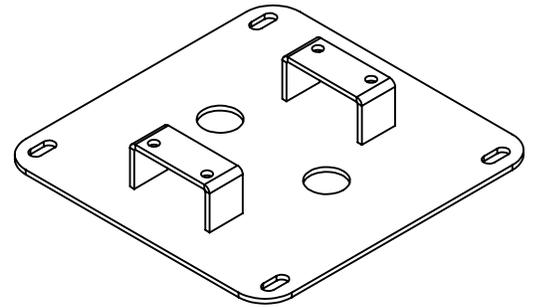
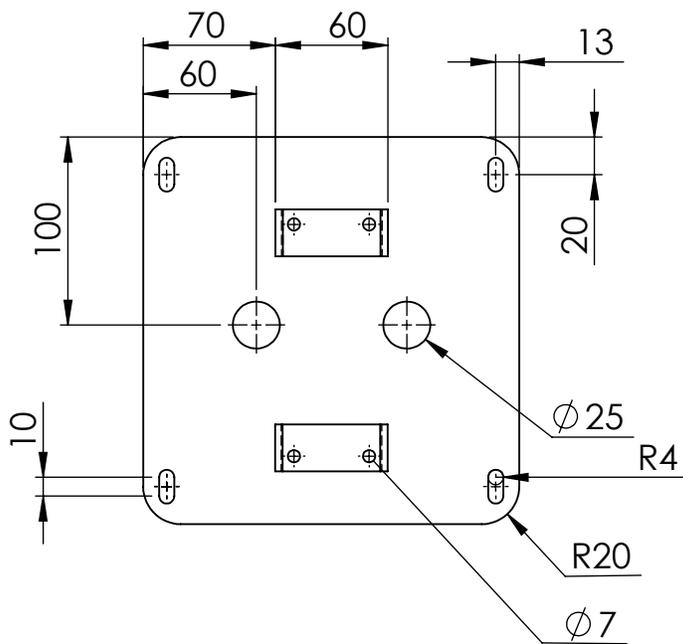
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isaí Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isaí Porfillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B7	FECHA: 07/07/17	SOPORTE TALADRO	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B8	FECHA: 07/07/17	TALADRO	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:5
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO B9	FECHA: 07/07/17	LAMINA ESTACIÓN 1	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO
AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS

ESCALA:
1:4

DOCENTE ASESOR:
Ing. Rigoberto Velásquez Paz

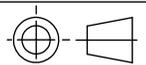
Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña
Br. Gerardo René Castaneda Lara
Br. Guillermo José Nájera Henríquez
Br. Josué Isai Portillo Hernández

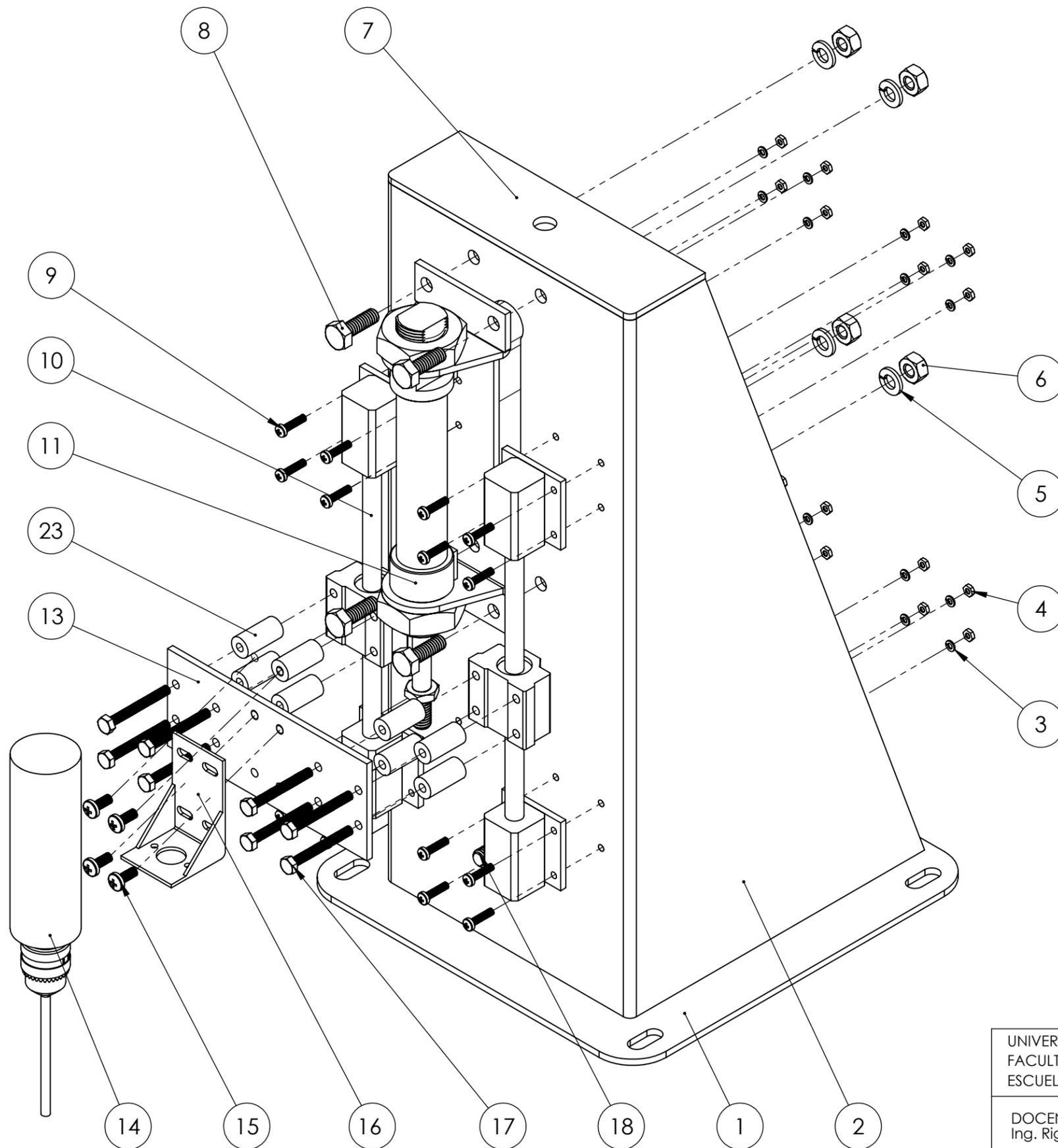
UNIDADES:
mm

N. PLANO
B10

FECHA:
07/07/17

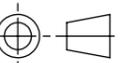
BASE ESTACIÓN TALADRADO

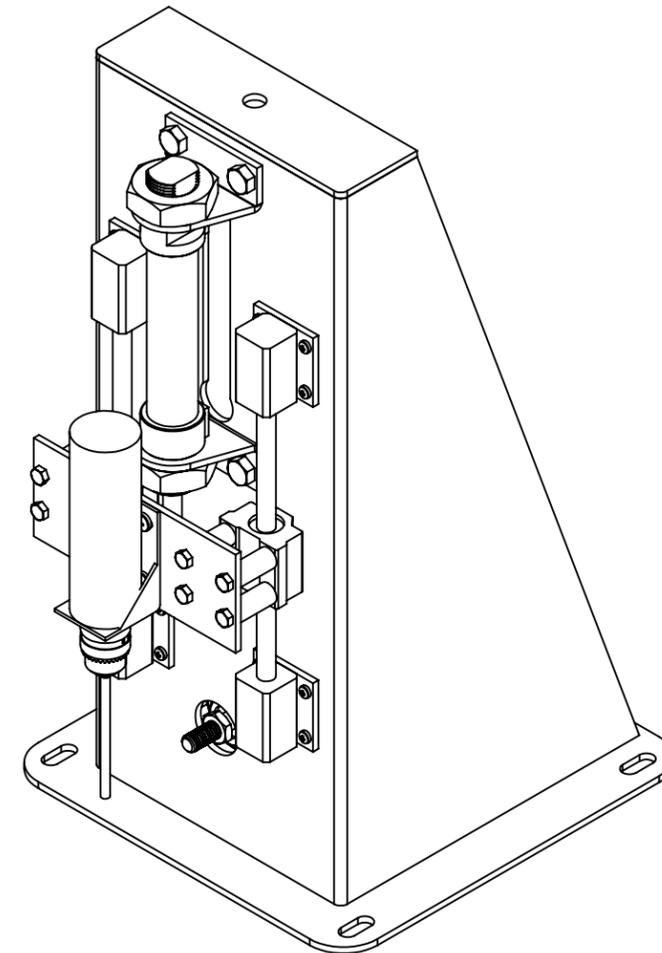
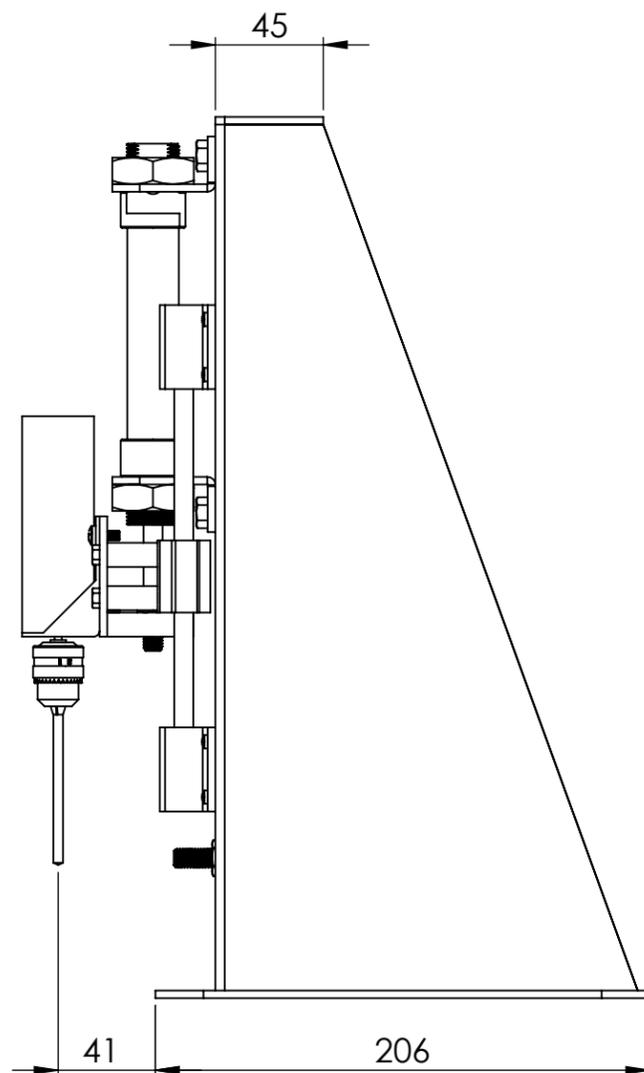
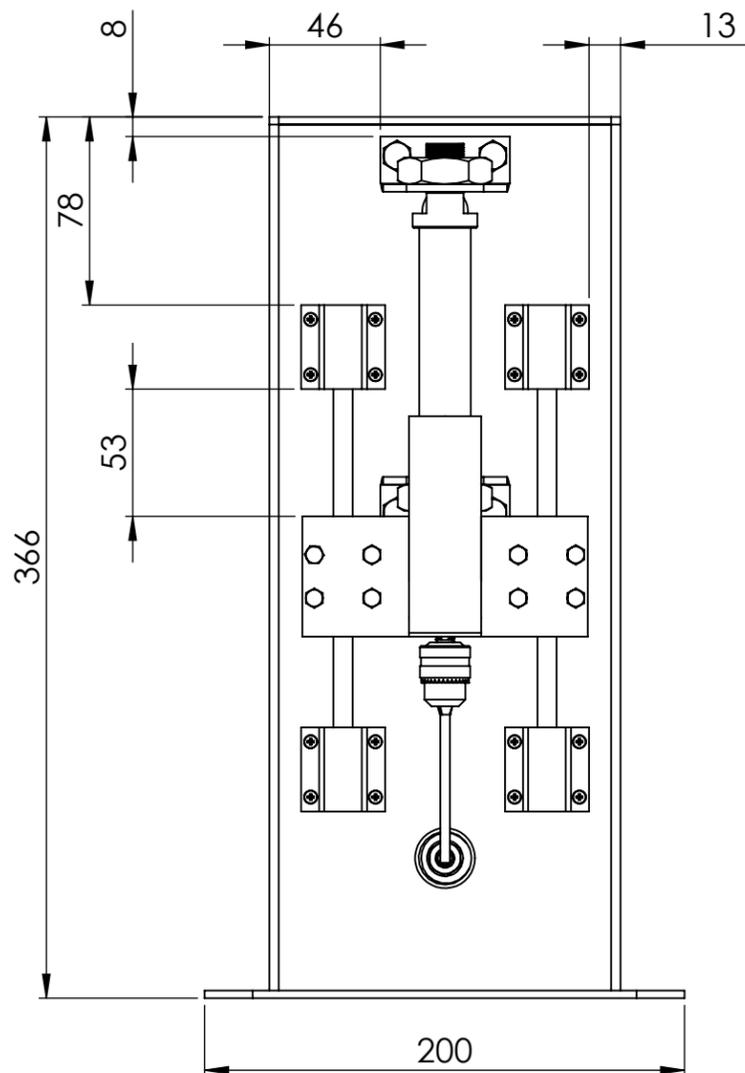
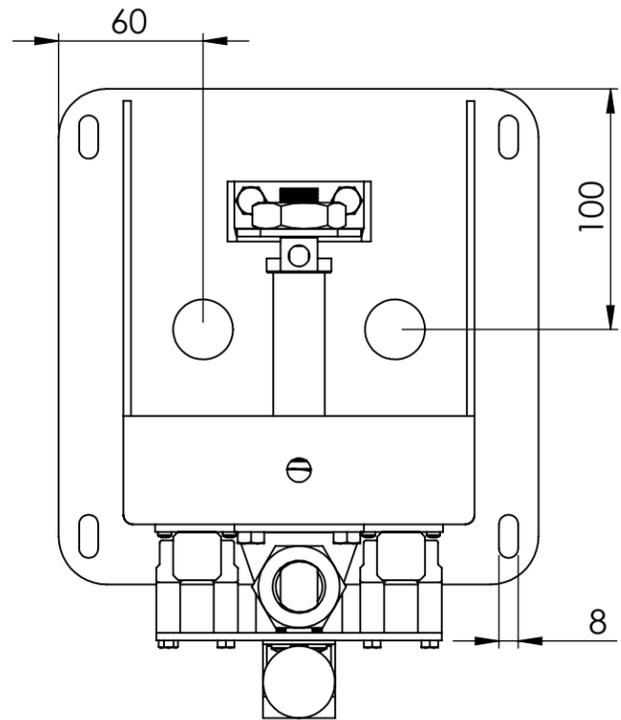




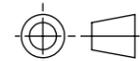
18	Piston MCMI_11_20_25	0.06 - 0.7 MPa	1
17	Perno M4 x 0.7 x 35	Inoxidable	8
16	Soporte taladro	AISI 1020	1
15	Tornillo M4x0.7x13	Inoxidable	
14	Taladro		1
13	Soporte 3	AISI 1020	1
11	Piston MCMI_11_20_50	0.06 - 0.7 MPa	1
10	Conjunto guía		2
9	Tornillo M3 x 0.5 x 13	Inoxidable	16
8	Perno 6 mm (0.25-20x0.75 pulg)	Inoxidable	8
7	Lamina Tapa	AISI 1020	1
6	Tuerca 6 mm (0.25 pulg)	Inoxidable	8
5	Arandela 6 mm (0.25 pulg)	Inoxidable	8
4	Tuerca M3	Inoxidable	16
3	Arandela M3	Inoxidable	16
2	Lamina 3 mm	AISI 1020	1
1	Lamina base 3 mm	AISI 1020	1
N. ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

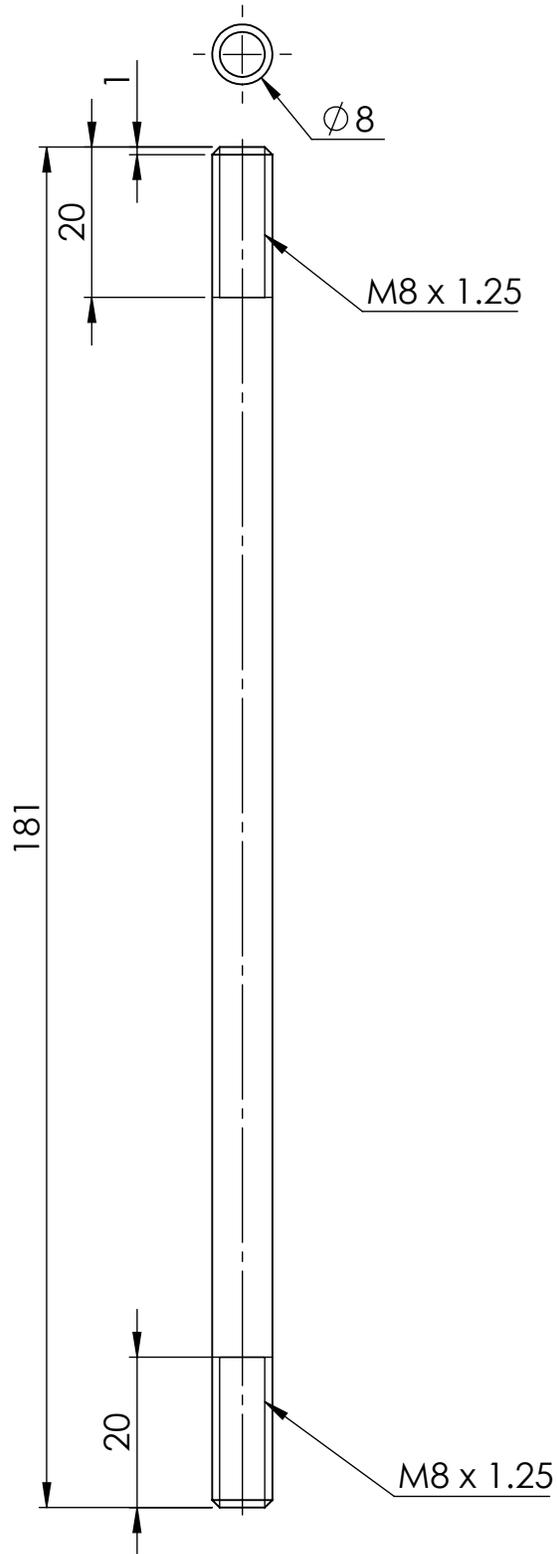
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz	Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO C	FECHA: 17/08/17	ESTACIÓN DE TALADRADO 2

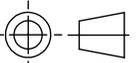


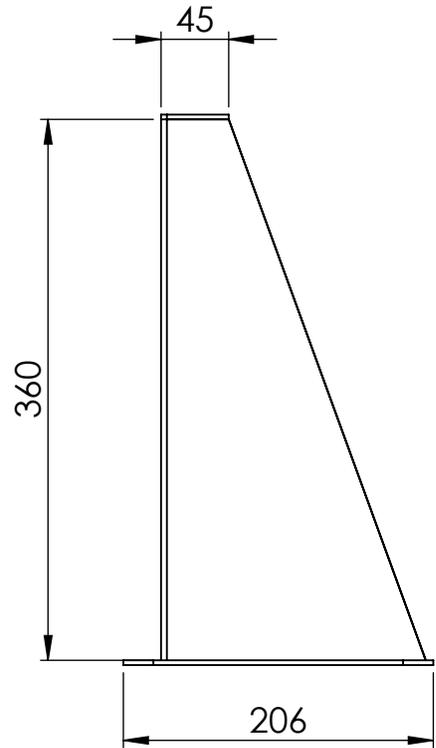
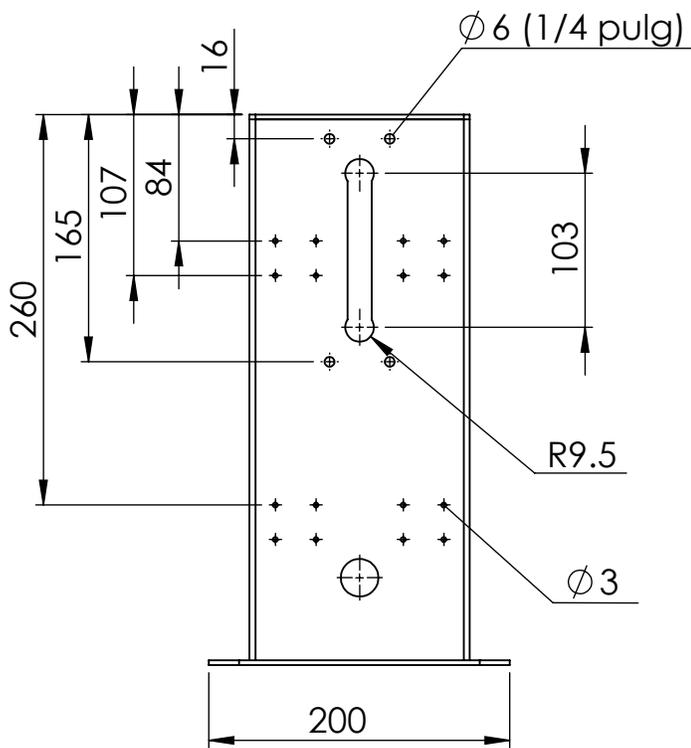
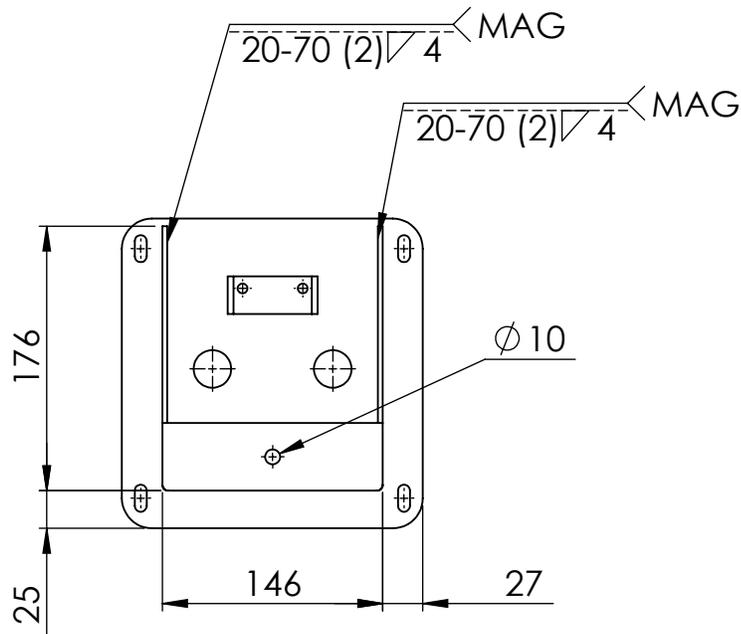


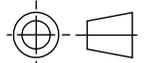
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:3
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO C1	FECHA: 24/07/17	ESTACIÓN DE TALADRADO 2	

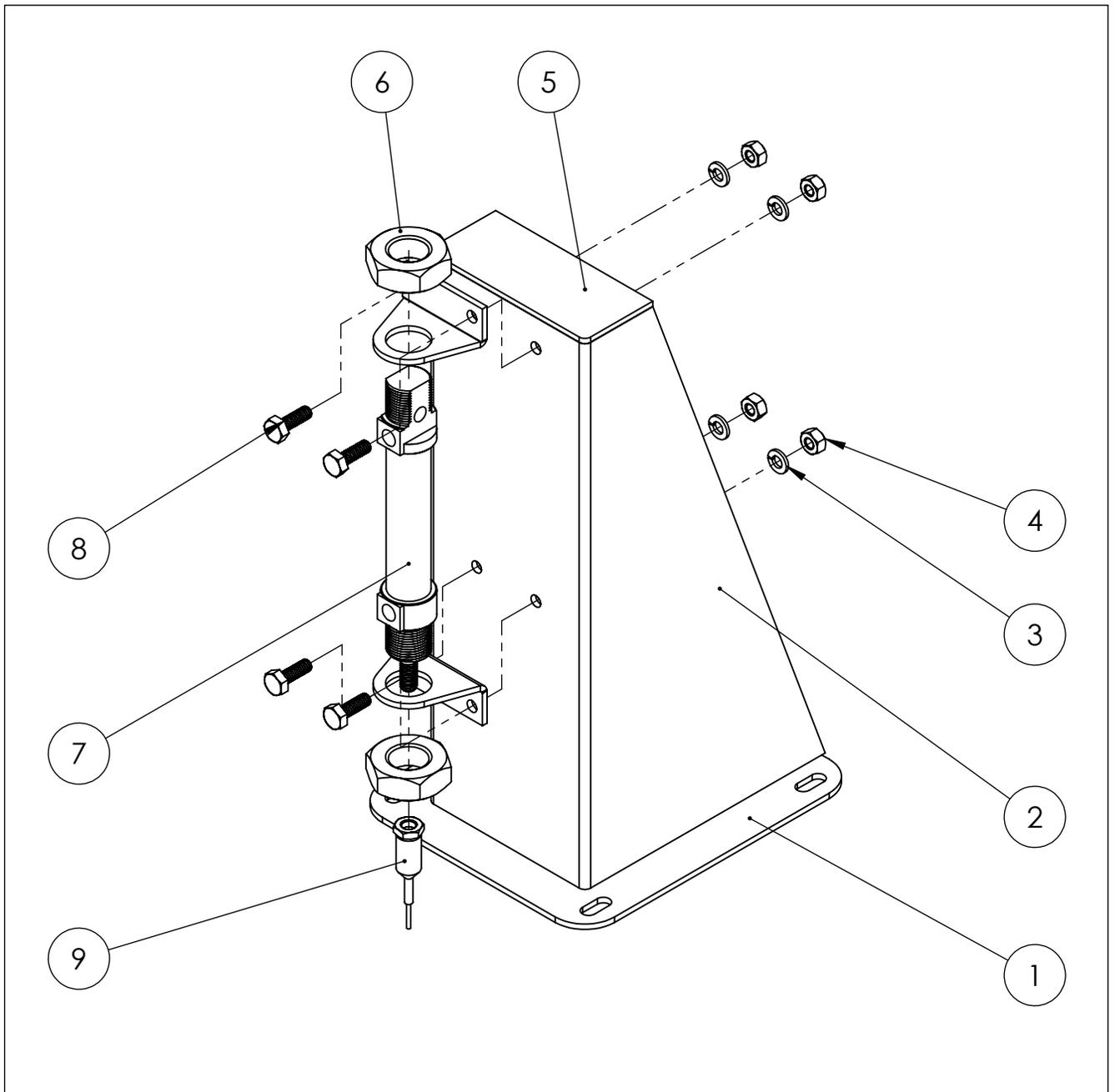




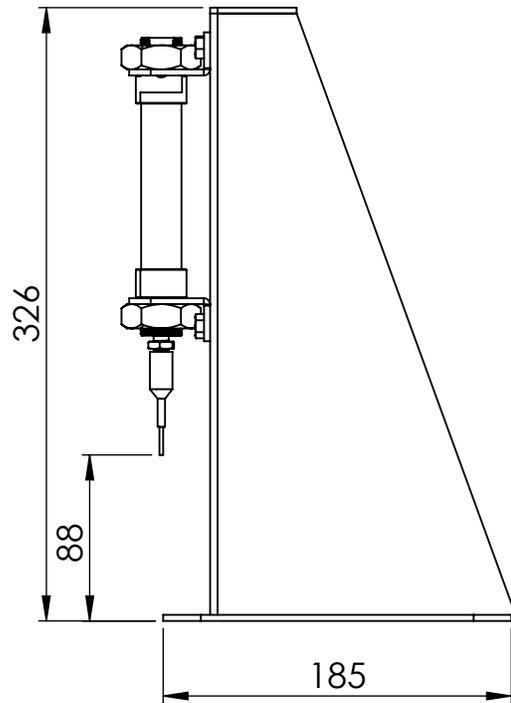
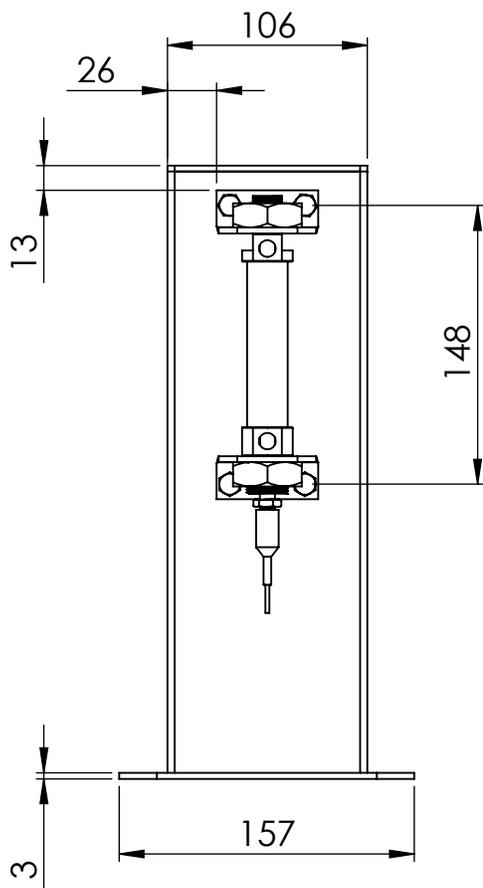
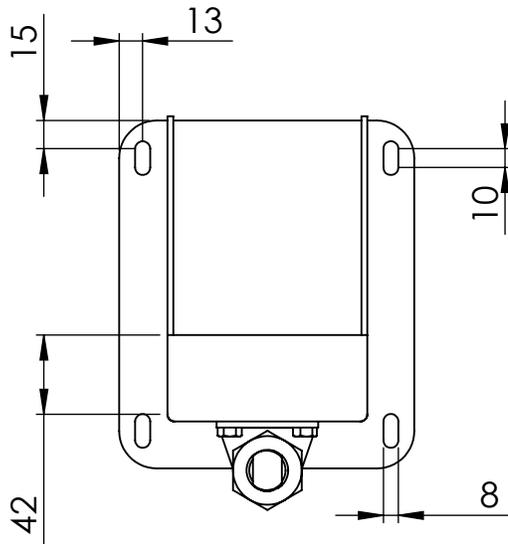
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:1
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO C2	FECHA: 26/07/17	GUÍA ESTACIÓN 2	
			



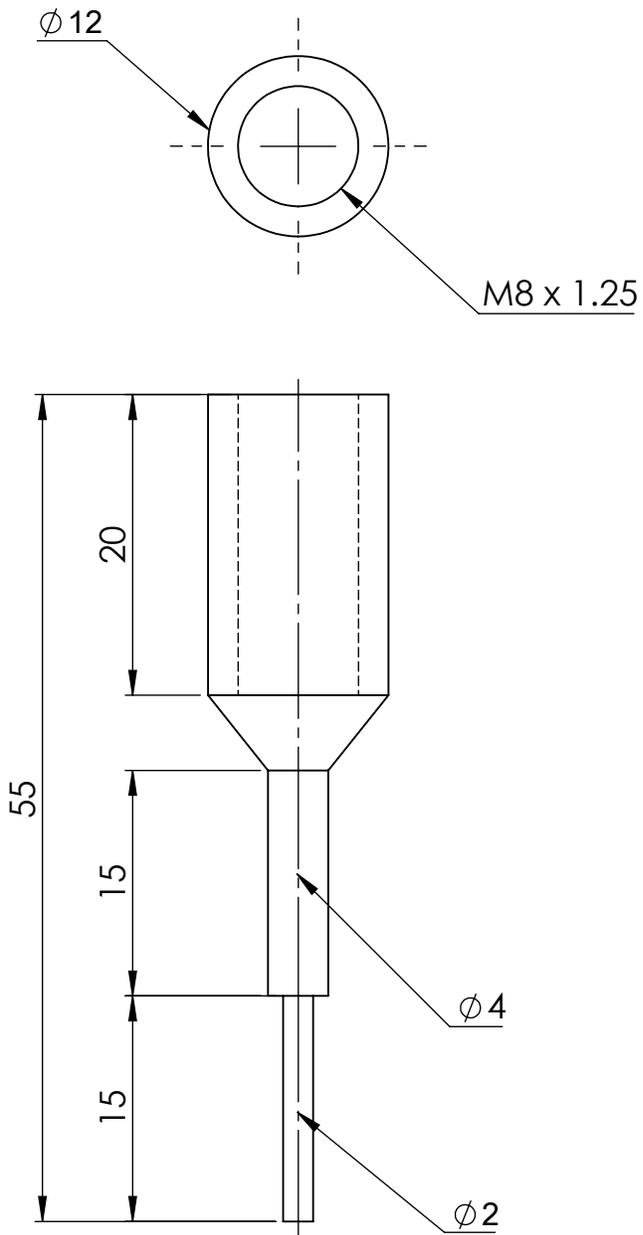
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:5
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO C3	FECHA: 26/07/17	LAMINA ESTACIÓN 2	
			



9	Medidor	Inoxidable	1
8	Perno 6mm (0.25-20x0.75 pulg)	Inoxidable	4
7	Pistón MCMI_11_20_50	0.06 - 0.7 MPa	1
6	Tuerca M22	Inoxidable	2
5	Lamina tapa	AISI 1020	1
4	Tuerca 6 mm (0.25-20 pulg)	Inoxidable	4
3	Arandela 6 mm (0.25 pulg)	Inoxidable	4
2	Lamina 3 mm	AISI 1020	1
1	Lamina base 3 mm	AISI 1020	1
N. ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:3
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO D	FECHA: 27/07/17	ESTACIÓN DE MEDICIÓN	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 1:4
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Portillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO D1	FECHA: 27/07/17	ESTACIÓN DE MEDICIÓN	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TALADRADO AUTOMATIZADO PARA FINES DIDÁCTICOS	ESCALA: 2:1
DOCENTE ASESOR: Ing. Rigoberto Velásquez Paz		Presentado por: Br. Melvin Isai Bermúdez Peña Br. Gerardo René Castaneda Lara Br. Guillermo José Nájera Henríquez Br. Josué Isai Porfillo Hernández	UNIDADES: mm
N. PLANO D2	FECHA: 27/07/17	MEDIDOR	